

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра радіотехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської кваліфікаційної роботи
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

на тему:

**МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРО-
ЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ**
08-36.МКР.003.00.000 ПЗ

Виконав: ст. 2-го курсу, групи РТ-19м
Спеціальність 172 – Телекомунікації та
радіотехніка Освітня програма: Радіотех-
ніка

_____ Пустовий С.Ю.

Керівник: д.т.н., проф. каф. РТ
_____ Осадчук О.В.

« _____ » _____ 2021 р.

Рецензент: к.т.н., доцент. каф. ТКСТБ

_____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

Кафедра Радіотехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма – Радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТ

д.т.н., професор О.В. Осадчук

“ 10 ” 03 2021 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Пустового Сергія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « Мікроконтролерна система вимірювального контролю концентрації газів»
керівник роботи Осадчук Олександр Володимирович, д.т.н., професор, зав. каф. РТ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 03 2021 року №64

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: Номінальна напруга живлення +5 В; споживана потужність не повинна перевищувати 0,15 Вт; струм споживання знаходиться в межах 25-150 мА; діапазон робочих частот становить 150 кГц - 5000 кГц; діапазон робочих температур складає 0...+60 °С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: Вступ. Аналіз сучасного розвитку перетворювачів концентрації газу. Елементи теорії недисперсійного інфрачервоного (NDIR) вимірювання діоксиду вуглецю в оптичному сенсорі. Розробка мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Класифікація перетворювачів хімічного складу газів. Пристрій для аналізу газу. Функціональна схема пристрою. Загальна структурна схема пристрою. Аналоговий варіант газоаналізатора. Мікроконтролерний пристрій вимірювального контролю концентрації газу. Багатоканальний цифровий газоаналізатор. Принципова схема розробленого пристрою.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор Осадчук О.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		
Економічна частина	ст. викл. каф. ЕПВМ к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 11 березня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	03.09.2020-31.12.2021	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021-14.02.2021	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021-10.03.2021	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021-21.03.2021	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021-11.04.2021	
6.	Розділ моделювання	12.04.2021-19.04.2021	
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021-30.04.2021	
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021-14.05.2021	
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021-20.05.2021	
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021-26.05.2021	
11.	Нормоконтроль	27.05.2021-31.05.2021	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021-06.06.2021	
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021-18.06.2021	

Студент

(підпис)

Пустовий С. Ю.

Керівник роботи

(підпис)

Осадчук О.В.

РЕФЕРАТ

УДК 621.397

Пустовий С.Ю. Мікроконтролерна система вимірювального контролю концентрації газу. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 165 с. На українській мові. Бібліогр.: 79 назв; Табл.: 9; Рисунок 46.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз публікацій, присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням перетворювачів концентрації газів, який показує, що розробка оптичних сенсорів концентрації газу є перспективним напрямком у розвитку апаратурних засобів вимірювання фізичних величин для сучасних мікропроцесорних систем контролю і керування.

Розглянуто та оцінено нову конструкцію газового датчика, засновану на принципі NDIR, у стандартному мініатюрному форматі для газових датчиків - циліндр із зовнішніми розмірами діаметром 20 мм x висотою 16,5 мм. Датчик найчастіше налаштований для виявлення вуглекислого газу за допомогою двоелементного детектора. Детектор інтегрує відповідні елементи фотодетектора з смуговими фільтрами, один із яких зосереджений на смузі поглинання CO₂ при 4,2 мкм, а інший - на непоглинаючій опорній смузі при 3,95 мкм.

Розроблено мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю. Основним вимірювальним приладом пристрою є інфрачервоний датчик CO₂ MH-Z19B. Датчик підключений до МК по UART. Програма МК опитує датчик не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. Додатковим вимірювальним приладом є датчик температури і вологості DHT11. Мікроконтролер взаємодіє з датчиком по послідовному одно-провідному двонаправленому інтерфейсу. Розроблено структурну та принципову схему мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю на мікроконтролері ATmega32. Розроблено друковану плату мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю в пакеті програм DipTrace, а також розроблено 3D модель друкованої плати з елементами.

У четвертому розділі описано рекомендації щодо охорони праці та безпеки при роботі з даним пристроєм.

У п'ятому розділі проведено розрахунок кошторису витрат на виробництво пристрою та ефективність вкладених інвестицій.

У роботі проведено розрахунки економічної частини, а також розділу охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: вимірювальний контроль концентрації газу, NDIR сенсор, мікроконтролер, програматор, інтерфейси обміну даними.

ABSTRACT

Pustovy S.Yu. Microcontroller system for measuring gas concentration. Master's work. - Vinnytsia: VNTU, 2021. -165 p. In Ukrainian. Bibliogr .: 79 titles; Figure 46.

The master's thesis analyzes the publications on theoretical and experimental studies of gas concentration transducers, which shows that the development of optical gas concentration sensors is a promising direction in the development of hardware for measuring physical quantities for modern microprocessor control and management systems.

The new design of the gas sensor, based on the NDIR principle, in the standard miniature format for gas sensors - a cylinder with external dimensions with a diameter of 20 mm x height of 16.5 mm is considered and evaluated. The sensor is often configured to detect carbon dioxide using a two-element detector. The detector integrates the corresponding elements of the photodetector with bandpass filters, one of which is focused on the CO₂ absorption band at 4.2 μm, and the other on the non-absorbing reference band at 3.95 μm.

A microcontroller system for measuring the concentration of carbon dioxin has been developed. The main measuring device of the device is the infrared CO₂ sensor MH-Z19B. The sensor is connected to the MK via UART. Program MK polls the sensor no more than once every 10 seconds. An additional measuring device is a temperature and humidity sensor DHT11. The microcontroller interacts with the sensor via a serial single-wire bidirectional interface. The structural and basic scheme of the microcontroller system for measuring the control of carbon dioxin concentration on the ATmega32 microcontroller has been developed. The printed circuit board of the microcontroller system for measuring the concentration of carbon dioxin in the Dip-Trace software package was developed, and a 3D model of the printed circuit board with elements was developed.

The fourth section describes the recommendations for occupational safety and health when working with this device.

The fifth section calculates the cost estimate for the production of the device and the efficiency of the investment.

The calculations of the economic part, as well as the section on labor and safety in emergency situations, were carried out.

Keywords: gas concentration measuring control, NDIR sensor, microcontroller, programmer, data exchange interfaces.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ	12
1.1 Перетворювачі резистивного типу	12
1.2 Плектрохімічні газові перетворювачі	24
1.3 Перетворювачі на основі мдн фазочутливих структур	25
1.4 Газові перетворювачі, чутливі до механічних змін	27
1.5 Оптичні газові перетворювачі	29
1.6 Переносний газоаналізатор «моноліт»	31
1.7 Переносний газоаналізатор «експерт»	35
1.8 Газосигналізатор «страж»	39
1.9 Висновки до розділу	41
2 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ НЕДИСПЕРСІЙНОГО ІНФРАЧЕРВО- НОГО (NDIR) ВИМІРЮВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ОП- ТИЧНОМУ СЕНСОРІ	42
2.1 Недисперсійне інфрачервоне (ndir) зондування газу	42
2.2 Принципи проектування ndir сенсора	48
2.3 Оптичний дизайн ndir сенсора	51
2.4 Ефективність світла ndir сенсорах.....	52
2.5 Експериментальні результати	56
2.6 Висновки до розділу	63
3 РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮ- ВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДІОКСИДУ ВУГ- ЛЕЦЮ	65
3.1 Якість повітря в приміщеннях	65
3.2 Структурна схема пристрою	66
3.3 Вибір датчика концентрації газу	70
3.4 Вибір мікроконтролерів.....	74
3.5 Вибір lcd-дисплея	77
3.6 Опис послідовного інтерфейсу і ² с.....	77
3.7 Сенсори температури та вологості	78
3.8 Розробка принципової схеми та друкованої плати пристрою	79
3.9 Висновки до розділу	88
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	89
4.1 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня нддкр.....	89
4.2 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	90
4.3 Розрахунок витрат на проведення нддкр з дослідження мікроконт- ролерної системи вимірювального контролю	94
4.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки концентрації газів.....	101
4.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	103
4.6 Висновки до розділу	106

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	107
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	107
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	110
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. визначення області працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	116
ВИСНОВКИ	121
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	123
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	129
Додаток Б (обов'язковий) Класифікація перетворювачів хімічного складу газів.....	136
Додаток В (обов'язковий) Пристрій для аналізу газу	138
Додаток Д (обов'язковий) Функціональна схема пристрою	140
Додаток Е (обов'язковий) Загальна структурна схема пристрою.....	142
Додаток Ж (обов'язковий) Аналоговий варіант газоаналізатора	144
Додаток К (обов'язковий) Мікроконтролерний пристрій вимірювального контролю концентрації газу	146
Додаток Л (обов'язковий) Багатоканальний цифровий газоаналізатор	148
Додаток М (обов'язковий) Принципова схема розробленого пристрою	150
Додаток Н (довідниковий) Лістинг програми для мікроконтролера.....	152

ВСТУП

Газові сенсори використовуються для аналізу широкого спектру газів у найрізноманітніших галузях: при вимірюванні атмосферного тиску, для відвернення аварій, для охорони оточуючого середовища від шкідливих впливів; широке застосування мають плівкові сенсори для контролю складу вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання – так звані λ -зонди.

На сьогодні газові сенсори знаходять широке застосування в побутовій техніці. Перш за все, це сигналізатори витікання газу і диму в приміщеннях, вентиляційних системах і кондиціонерах. На практиці вже давно використовуються автоматичні системи, які приводяться в дію за рахунок вихідних сигналів цих сенсорів.

Функціонування сенсорів газу ґрунтується на таких методах контролю: електрохімічних, термохімічних, калориметричних, спектроскопічних методах, що використовують ядерний електронний резонанс, а також механічний резонанс (визначення маси вимірюваного компонента). Для їх виготовлення найчастіше використовуються напівпровідникові матеріали.

Сенсори газу можуть бути побудовані на основі як традиційних напівпровідникових елементів (резисторів, діодів, МДН-транзисторів), так і нетрадиційних – у вигляді первинних перетворювачів у складі гібридних структур (пристрої на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), оптичні сенсори), їх можна класифікувати, наприклад, за характером зміни поверхневих або об'ємних властивостей меж розділу середовище-напівпровідник, середовище-діелектрик і середовище-метал в МДН-структурах в залежності від концентрації аналізованої компоненти.

Каталітичні сенсори працюють за принципом реєстрації кількості тепла, яке виділяється під час каталітичних реакцій на поверхні каталізатора. Як термочутливий параметр звичайно використовують зміну опору плівки самого каталізатора або тонкого платинового дроту, розміщеного поблизу його поверхні, тому каталітичні газові сенсори часто розглядають як сенсори резистивного типу, хоча можливі й інші способи вимірювання температури.

В природі існує дуже багато органічних та неорганічних шкідливих сполук у газоподібному стані – CO, CO₂, NO, NO₂, NH₄, Cl₂, H₂S, CH₄, C₃H₈ та ін. Усі вони небезпечні для дихальних органів і взагалі організму людини, а останні вуглеводні – горючі та вибухонебезпечні. Оскільки всі ці та інші

гази широко використовуються людством в побуті та на виробництві, постає питання про необхідність забезпечити мінімальний людський ризик. Першочергове завдання аналізаторів концентрації газу у повітрі – безперервно стежити за концентрацією шкідливих і отруйних газів в приміщеннях, де знаходяться люди, та одразу сигналізувати про навіть незначне перевищення визначених норм. Впровадження таких пристроїв в повсякдення життя могло б запобігти дуже багатьом нещасним випадкам. Це ж стосується і необслуговуваних людиною виробничих і побутових приміщень, у яких є вірогідність витоку вибухонебезпечних газів. Встановлення систем стеження за концентрацією газів у таких приміщеннях та автоматизації керування виконавчими елементами (автоматичне керування пропускними клапанами, увімкнення примусової вентиляції, тощо) дозволяє мінімізувати матеріальні збитки у разі виникнення аварій.

Метою роботи є покращення метрологічних характеристик та розробка мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів.

Об'єктом дослідження є процес перетворення концентрації газу у електричний сигнал за допомогою недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу та створення мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів.

Предметом дослідження – статичні і динамічні характеристики мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі розв'язуються наступні задачі:

- проаналізувати існуючі сенсори концентрації газу та обґрунтувати переваги радіовимірювальних параметричних сенсорів газу на основі оптичного методу вимірювання по відношенню до існуючих;
- розглянути принципи роботи та побудови оптичного перетворювача на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розглянути основні аналітичні залежності методу недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розробити структурну та принципову схеми мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;

- розробити мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розробити програмне забезпечення мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- виконати експериментальну перевірку математичних моделей і дослідити властивості мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: основних положень теорії функції комплексної змінної для визначення функції перетворення та рівняння чутливості; рівнянь математичної фізики під час розробки математичних моделей параметричних сенсорів газу; диференціального та інтегрального числення для створення математичної моделі; теорії розрахунку нелінійних електричних кіл для визначення основних параметрів сенсорів газу.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розглянуто принципи роботи та побудови оптичного перетворювача концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розглянуто основні аналітичні залежності методу недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- було підраховано за допомогою програмного забезпечення для трасування променів, що 4% випроміненого світла досягало кожного з двох детекторних елементів із загальною пропускною здатністю 0,26 мм² на елемент детектора. Програмне забезпечення для трасування променів не могло врахувати розсіювання всередині комірки та ефект лінії з'єднання між двома оптичними частинами; розрахунки показали, що отримана середньоквадратична потужність модульованого світла на частоті 1 Гц має амплітуду 13 мкВт після проходження через стандартний еталонний смуговий фільтр.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено структурну та принципову схеми мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;

- розроблено мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розроблено програмне забезпечення мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- виконано експериментальну перевірку математичних моделей і дослідити властивості мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газів на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором практично самостійно.

Структура і обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

Функціонування перетворювачів газу ґрунтується на таких методах контролю: електрохімічних, термохімічних, калориметричних, спектроскопічних методах, що використовують ядерний електронний резонанс, а також механічний резонанс (визначення маси вимірюваного компонента). Для їх виготовлення найчастіше використовуються напівпровідникові матеріали.

Перетворювачі газу можуть бути побудовані на основі як традиційних напівпровідникових елементів (резисторів, діодів, МДН-транзисторів), так і нетрадиційних – у вигляді первинних перетворювачів у складі гібридних структур (пристрої на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), оптичні перетворювачі), їх можна класифікувати, наприклад, за характером зміни поверхневих або об'ємних властивостей меж розділу середовище-напівпровідник, середовище-діелектрик і середовище-метал в МДН-структурах в залежності від концентрації аналізованої компоненти. Однак така класифікація не охоплює всієї різноманітності газових перетворювачів, зокрема тих, в яких не використовуються напівпровідникові матеріали. Другий підхід, який розглядає перетворювачі, як низку компонентів (резистор, конденсатор, діод, транзистор, оптрон тощо), дозволяє систематизувати не тільки власне перетворювачі, але й схеми первинної обробки сигналу, що особливо важливо при створенні багатофункціональних приладів. Доцільніше проводити класифікацію відповідно до фізико-хімічної природи процесів, які мають місце в структурі перетворювача (рисунок 1.1).

1.1 Перетворювачі резистивного типу

Даний тип перетворювачів є одним з найбільш поширених. Для перетворювачів на основі окислів металів як чутливий матеріал застосовують SnO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , WO_3 , Co_3O_4 . На поверхні цих напівпровідників при хемосорбції кисню виникає локальний заряд, утворений захопленими електронами, що призводить до збіднення при поверхневої області напівпровідника. Відповідно його повна провідність, в якій домінуючу роль відіграє поверхнева компонента, досить мала. Коли ж сорбується другий аналізований газ, який каталітично взаємодіє з хемосорбованим киснем, провідність припове-

рхневої області напівпровідника суттєво збільшується. Швидкість цих процесів та їх зворотність залежать від температури, яка повинна бути порядку кількох сотень градусів.

У перетворювачах на органічних напівпровідниках як чутливий матеріал в основному використовують плівки фталоціанінів, які мають високу термічну та хімічну стійкість. Ці плівки є напівпровідниками р-типу, причому на механізм їх провідності великий вплив має кисень повітря. Після обробки у вакуумі провідність плівок стає n-типу, але під дією кисню повітря вона збільшується і знову переходить у провідність р-типу. Провідність плівок фталоціанінів змінюється в присутності тих газів, спорідненість до електрона яких більша, ніж у кисню. До них належать галогени та галогеновмісні гази, а також NO_1 . Для пониження повного опору чутливої плівки струмопровідні електроди звичайно мають гребінчасту структуру.

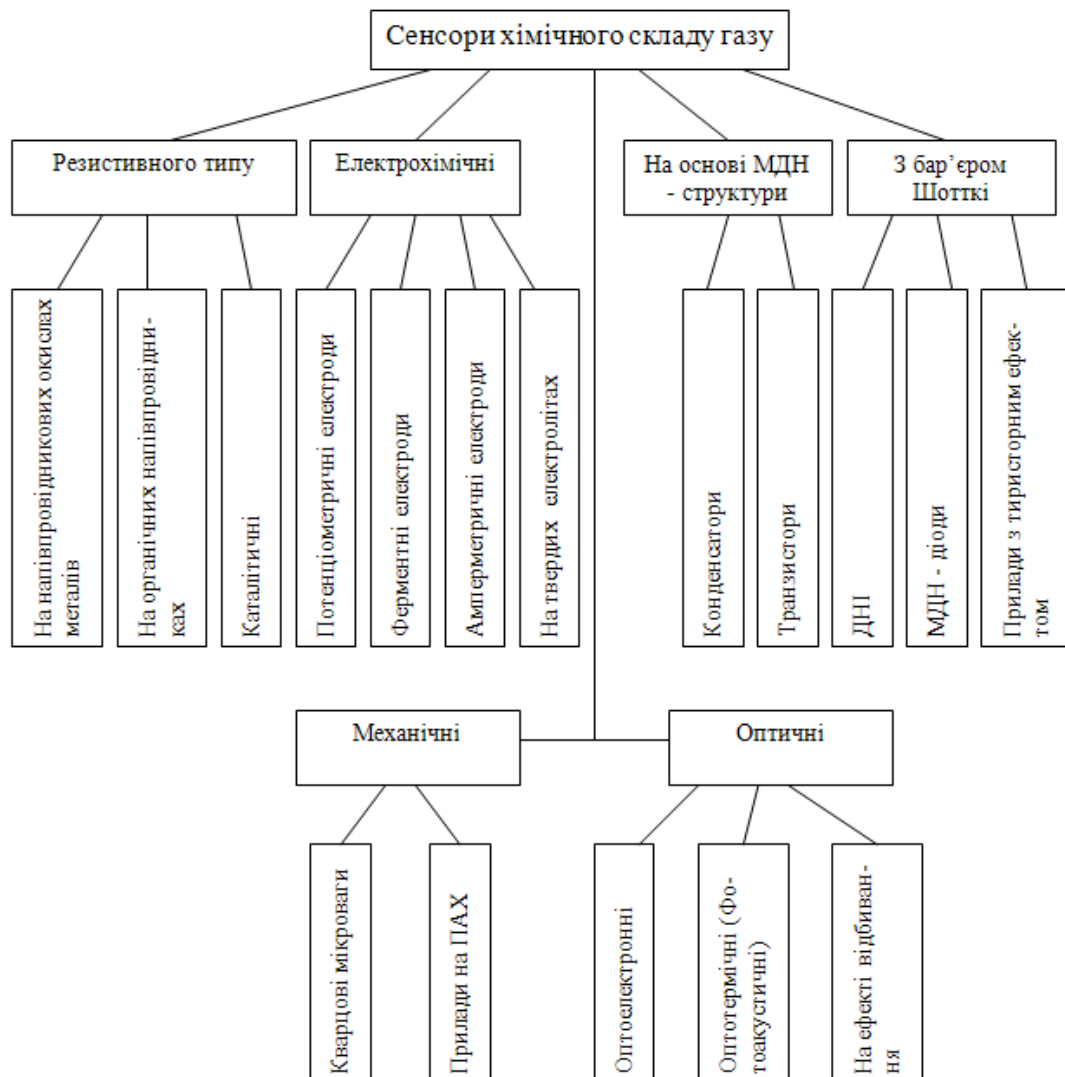


Рисунок 1.1 – Класифікація перетворювачів хімічного складу газів

Найбільша чутливість газових перетворювачів – до NO_2 , причому вона збільшується при легуванні плівок важкими металами (легування магнієм викликає селективну чутливість тільки до парів HCl). В патенті України „Пристрій для аналізу газів (варіанти) та пристрій для взяття проби газу” [9], описується пристрій, який вирішує задачу багаторазового аналізу пари алкоголю у видихуваному повітрі обстежуваного. Схеми приладу показані на рисунках (1.2, та наведена в додатку В), 1.3, 1.4.

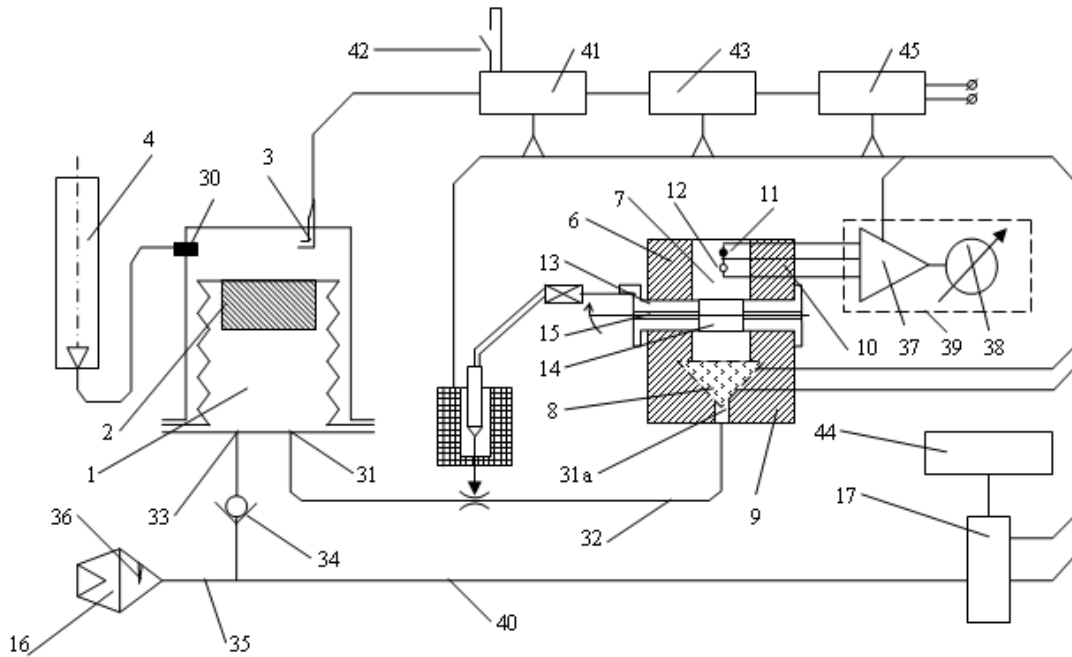


Рисунок 1.2 – Пристрій для аналізу газу

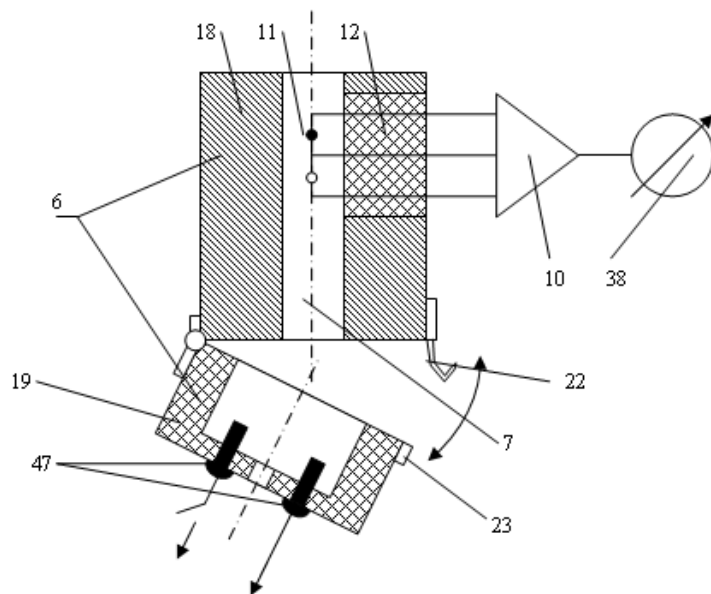


Рисунок 1.3 – Реакційна камера

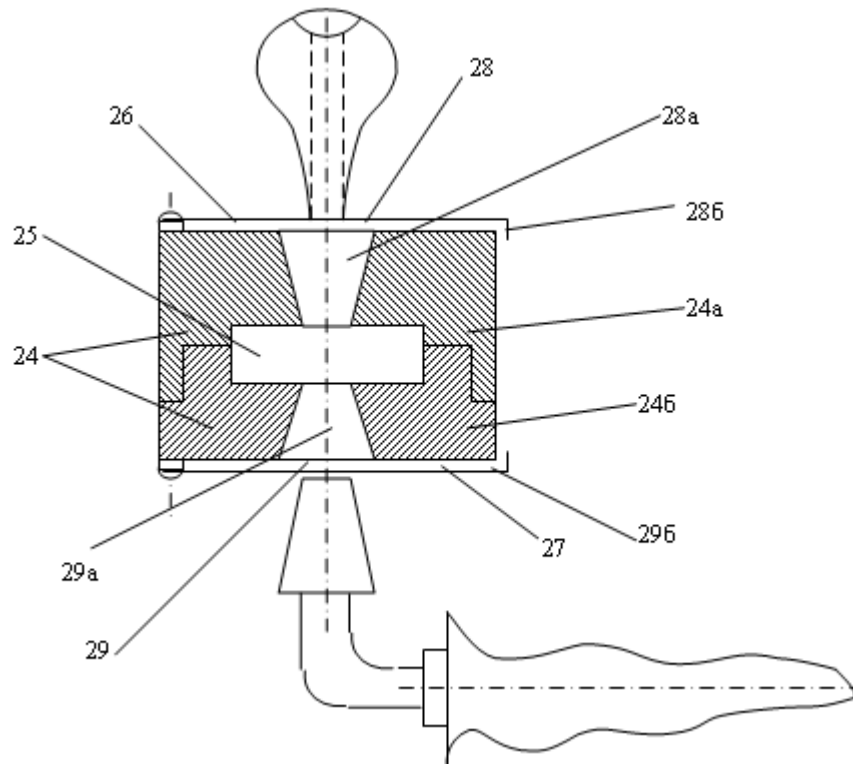


Рисунок 1.4 – Контейнер для взяття проби газу

Пристрій для аналізу газів вміщує зв'язані між собою камеру (1) з сифонним поршнем (2) та мікроперемикачем (3), поплавковий індикатор дози (4), електромагнітний клапан (5), реакційну камеру (6) та засоби керування, а у реакційній камері (6) через яку проходить газовий канал (7) розміщені: абсорбційна касета (8) з абсорбентом, що знаходиться у спіралі (9), датчик (10) з чутливими елементами (11, 12) та розподільник потоку газу, у вигляді циліндричного стрижня (13), що виконаний з можливістю оберту на кут приблизно 90° , в якому виконані отвір (14) і поздовжній паз (15), причому, вісь отвору (14) співпадає з віссю газового каналу (7), а вісь пазу (15) перпендикулярна вісі отвору (14). Рекомендовано, щоб спіраль (9), була заповнена абсорбентом і виконана у вигляді зрізаного конусу, що має менший діаметр у основі. Крім того, доцільно щоби пристрій був обладнаний тримачем мундштуків (16) та мікрокомпресором (17).

Задача винаходу вирішується також тим, що пристрій для аналізу газів, згідно з винаходом, складається з реакційної камери (6), яка має дві частини, через які проходить газовий канал (7), і які з'єднані між собою з можливістю відкриття, причому в одній з частин (18) розміщений датчик (10) з чутливими елементами (11, 12), а у іншій частині (19) розміщена абсорбційна касета (6),

яка виконана з можливістю її витягання і заміни, і яка має абсорбент, що розміщений у спіралі (9) та засоби (20) для підключення спіралі до електромережі.

Доцільно, щоб спіраль (9), в якій розміщений абсорбент була виконана у вигляді зрізаного конусу, що має менший діаметр у основі. Можливо, щоб частини реакційної камери були з'єднані між собою за допомогою шарніру (21).

Пропонується, щоб корпус мав засіб закріплення частин (18, 19) корпусу один до одного. Цей засіб може складатися з гачка (22), який закріплений на одній з частин корпусу і скоби (23), та закріплена на іншій частині корпусу. Задачею винаходу є також створення пристрою для взяття проби газу, в якому використовуються такі конструкційні елементи та їх взаємне розташування, які дозволяють забезпечити можливість взяття проби на наявність пари алкоголю в будь-якому місці, та забезпечити збереження проби до проведення об'єктивного аналізу. Поставлена задача вирішується також тим, що пристрій для взяття проби газу, згідно з винаходом, розбірний корпус (24), який складається з двох частин (24а, 24б), які виконані таким чином, що утворюють між собою внутрішню порожнину (25) для вставляння в неї абсорбційної касети з абсорбентом, причому на протилежних боках (26, 27) корпусу виконані крізні отвори (28, 29), які утворюють вхідний (28а) і відповідно вихідний (29а) канал, що з'єднуються між собою через внутрішню порожнину (25), і на боках (26, 27) з отворами (28, 29) закріплені кришки (28б, 29б) для закриття вказаних отворів. Рекомендовано також, щоб отвори (28, 29) частин корпусу (24а, 24б) були співвісні.

Пристрій для аналізу газів, який показаний на рис. 1.3, виконаний у вигляді реакційної камери (6), яка має дві частини (18, 19), через які проходить газовий канал (7), і які з'єднані між собою з можливістю відкриття. Частини реакційної камери (18, 19) з'єднані між собою за допомогою шарніру (21). На частині (18) змонтовано гачок (22), а на частині (19) змонтовано засіб для зачеплення гачка, наприклад скоба (23). У частині (18) розміщено датчик (10) з чутливими елементами (11, 12), а у частині (19) розміщено абсорбційну касету (8), яка виконана з можливістю її витягання і заміни, і яка має абсорбент, що розміщений у спіралі (9) та засоби для підключення спіралі (9) до електромережі. Засоби для підключення спіралі до електромережі є струмозніма-

чами (47), які підключають до колодок. Спіраль (9) має форму зрізаного конусу, який має менший діаметр у основі.

Пристрій для взяття проби газу (рис. 1.4) має розбірний корпус (24), який складається з двох частин (24а, 24б), які виконані таким чином, що утворюють між собою внутрішню порожнину (25) для вставляння в неї абсорбційної касети (8) з абсорбентом. На протилежних боках (26, 27) корпусу виконані крізні отвори (28, 29), які утворюють вхідний (28а) і відповідно вихідний (29а) канал і з'єднуються між собою через внутрішню порожнину (25), і на боках (26, 27) корпусу з отворами (28, 29) закріплені кришки (28б, 29б) для закриття вказаних отворів. Отвори (28, 29) частин корпусу у переважному втіленні винаходу співвісні.

Пристрій (рис. 1.4), працює наступним чином. Спочатку проводять продувку повітрям газових каналів за допомогою мікрокомпресору (17). Для цього замикають кнопку (42) релейно-логічного блоку (41) і через блок живлення (45) включають мікрокомпресор (17), який очищує повітрям канал (35), яке виходить через отвір мундштуку (49) назовні. Для очищення повітрям камери (1) попередньо закривають отвір мундштуку (46). При цьому повітря від мікрокомпресора (17) починає поступати через зворотній клапан (34) заповнюючи сильфонний поршень (2), який досягнувши верхньої частини камери (1) замикає мікроперемикач (3), що приводить до виключення мікрокомпресору (17) та включення електромагнітного клапану (5), який своїм рухомим якорем відкриває канал (32) та переводить циліндричний стрижень (13) у положення, при якому перекривається простір між датчиком (10) та абсорбційною касетою (8). При опусканні сильфонного поршня (2) повітря по каналу (7) проходить через абсорбційну касету (8) та через паз (15) виходить назовні. При цьому показання вимірювального пристрою (38) не виходять за границю нульової зони.

Після завершення продувки пристрій готовий до роботи. Обстежуваний через мундштук, який встановлений на тримачі (16) дме повітря, яке по каналу (35) поступає у сильфонний поршень (2). Контроль за цим здійснюють поплавковим індикатором (4), поплавок якого повинен досягнути верхньої відмітки. Сильфонний поршень (2) при цьому замикає мікроперемикач (3) і процес йде так, як було описано вище. Час опускання поршня не більше 15 сек., після чого за командою програматора (43) включається нагрів спіралі (9) і відключається електромагнітний клапан (5), переводячи циліндричний

стрижень (13) у початкове положення, відкриваючи отвір (14) через який тепловий потік від адсорбенту поступає до чутливих елементів (11, 12), розбаланс в яких реєструється вимірювальним пристроєм (38). Після завершення вимірювання програматор (43) через визначений період часу вимикає керуючі засоби. Тривалість вимірювання складає 40-45 сек.

На рис. 1.5 схематично представлено пристрій для аналізу газів [4]. Пристрій має вологовідділювач 1, газову магістраль 2, відвідний канал 3, через який газова суміш поступає в камеру 4 попереднього відбору, яка має рухомий розділювач, виконаний з еластичного сільфона 5 та вантажу 6, скріплений з верхньою основою сільфона.

Прилад працює наступним чином. При заповненні камери попереднього відбору газової суміші рухомий розділювач займає крайнє верхнє положення. При цьому в відвідному каналі 3 створюється підвищений пневматичний тиск, а газова суміш через дросель 7, електромагнітний клапан 8 та газову магістраль 9 поступає в камеру 10 відбору проби для газового аналізу. Причому зовнішній діаметр вантажу більше чи рівний зовнішньому діаметру сільфона.

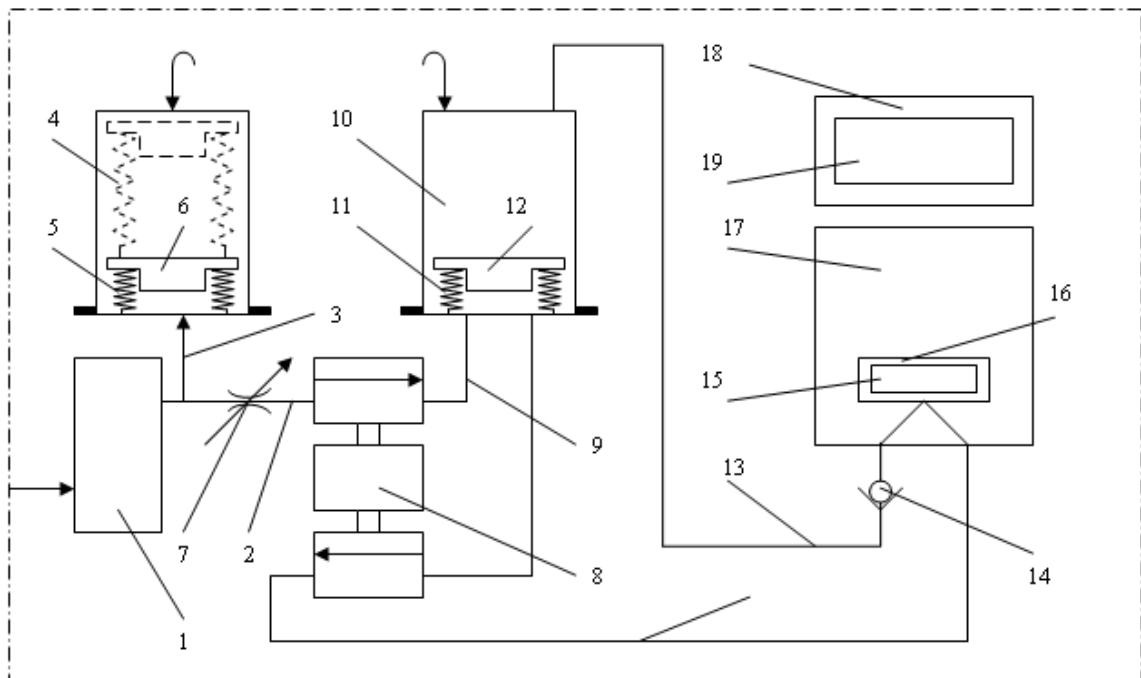


Рисунок 1.5 – Пристрій для аналізу газів

При підйомі розділювача з верхньої частини камери відбору проби витісняється чисте повітря і через повітря провід 13, зворотній клапан 14 пос-

тупає на накопичувач 15 з нагрівачем 16, розташованим в камері 17 газового аналізу, термостабілізованої нагрівальним елементом 18, який керується термомоконтактом 19. Витіснення відібраної дози проходить через повітряпровід 20, котрий відкривається при поступанні керованого сигналу на електромагнітний клапан 8. При цьому критична швидкість витікання аналізованої суміші через калібрований капіляр менше чи рівна швидкості, яка забезпечує ефективну адсорбцію накопичувача 15. Всі функціональні елементи пристрою для аналізу газів після закінчення циклу повертаються в початкове положення.

Авторами в роботі [10] запропоновано спосіб визначення вмісту парів етилового спирту в повітрі. Схема запропонованого пристрою показана на рис. 1.6. На вході пристрою встановлені мундштук 1 та вологовідділювач 2 з внутрішнім відбивачем 3. Електромагнітний клапан 4 відкриває та закриває канали 5 та 6 по команді програмного механізму 7, який подає сигнал на початок аналізу, мікровимикач 8 та джерела 9 і 10 живлення. Блок 11 відбору проби з'єднаний каналом 6 через електромагнітний клапан 12 з реакційною камерою 13. В реакційній камері 13 встановлений термохімічний елемент 14 та додатковий металічний електрод 15. В блоці 16 відбору проби є зворотній клапан 17 та канал 18 для викиду надлишкової кількості газової суміші.

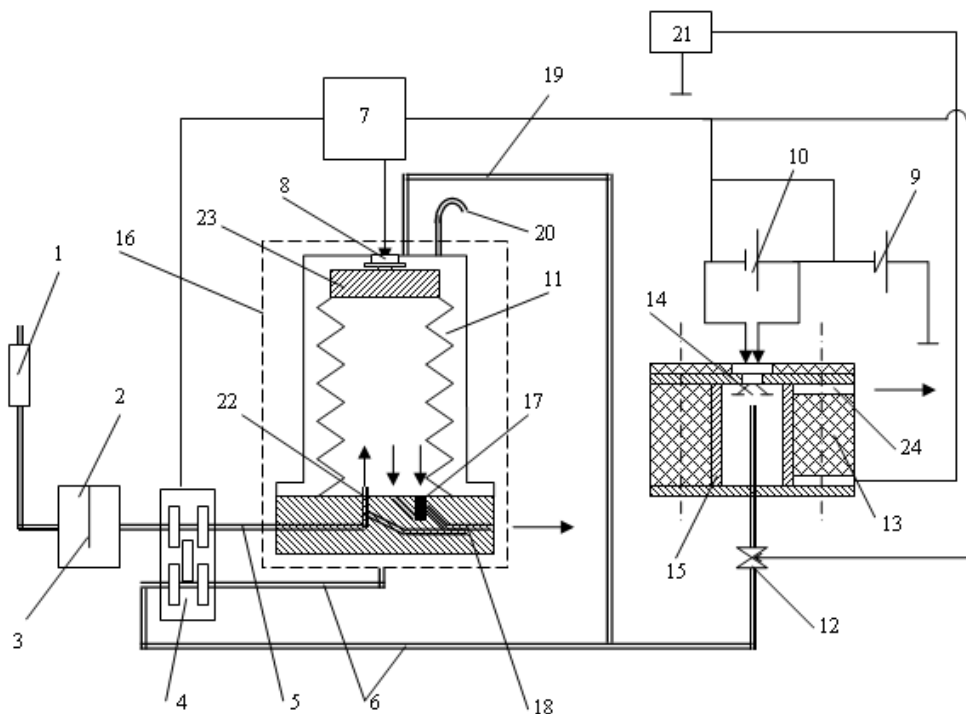


Рисунок 1.6 – Схема вимірювального пристрою

Канал 19 слугує для підведення чистого повітря в реакційну камеру 13. Патрубок 20 використовується для подачі чистого повітря в камеру 16. Живлення термохімічного елемента здійснюється за допомогою джерела 10 живлення постійного струму з напругою 0,5 В, а для створення електричного поля між металічним електродом 15 та термохімічним елементом 14 використовуються високовольтне джерело 9 з напругою 300 В. Сигнал реєструється на реєстраторі 21.

Прилад працює наступним чином. Аналізуєму газову суміш подають через мундштук 1, відділював вологи 2 з внутрішнім відбивачем 3, електромагнітний клапан 4 по каналу 5 та зворотній клапан 22 в блок 11 відбору проби. Сильфон 23 блоку 11 відбору проби по мірі наповнення досліджуванним газом піднімається та замикає мікрореле 8, котрий подає електричний сигнал через програмний механізм 7 на електромагнітний клапан 4, який закриває канал 5 та відкриває канал 6, і на клапан 12, який відкриває реакційну камеру 13 та включає джерела 9 та 10 живлення. Після того, як весь об'єм проби пройде через реакційну камеру 13, в котрій знаходиться чутливий елемент 14, нагрітий до $T=118-122^{\circ}$, програмний механізм видає команду на закриття клапана 12 та відключення джерел 9 та 10 живлення. Проаналізована газова суміш скидується через канал 24. Викид аналізуємої суміші в атмосферу здійснюється через зворотній клапан 17 та канал 18. Сигнал реєструється на реєстраторі 21.

На рис. 1.8, 1.9 проілюстровано пристрій, запропонований авторами в роботі [6]. Схема пристрою для аналізу газів наведено на рис. 1.7 вміщує відділював вологи 1, з'єднаний газовою магістраллю 2 з одним з входів електромагнітного клапана 3, вихід котрого під'єднаний до магістралі 4 вводу аналізуємої газової суміші в блок відбору 5, який вміщує наступні газові магістралі: 6 – для викиду досліджуваного газу в атмосферу, 7 – для подачі аналізуємої суміші через другий вхід електромагнітного клапана 3 на накопичувач 8, розташований в датчику газоаналізатора 9, 10 – для збору чистого повітря з камери 12 газоаналізатора, термостатованої нагрівальним елементом 13, керованим термоконтрактом 14, магістраль проходження продувочного газу вміщує зворотній клапан 15.

Блок відбору аналізуємої газової суміші включає калібрований циліндр – камеру 16, розділений на дві частини – відбору 17 та продувки 18 рухомим розділювачем, виконаним з еластичного сильфона 19 з вантажем 20,

з'єднаним з верхньою основою сиффона. Причому зовнішній діаметр вантажу більше (чи рівний) зовнішньому діаметру сиффона, а далі переходить в діаметр вантажу більше (чи менше) внутрішнього діаметра сиффона, і висота циліндричної частини рівна висоті стисненого сиффона. Корпус каліброваного циліндра – камери 16 вміщує канал 21 магістралі 10 проходження продувочного газу і канал 22 магістралі 11 забору чистого повітря.

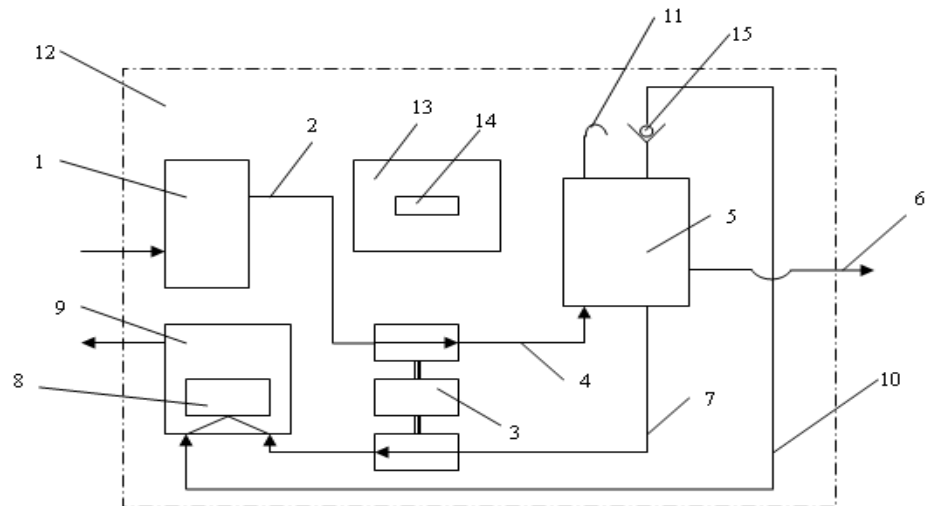


Рисунок 1.7 – Структура аналізатора

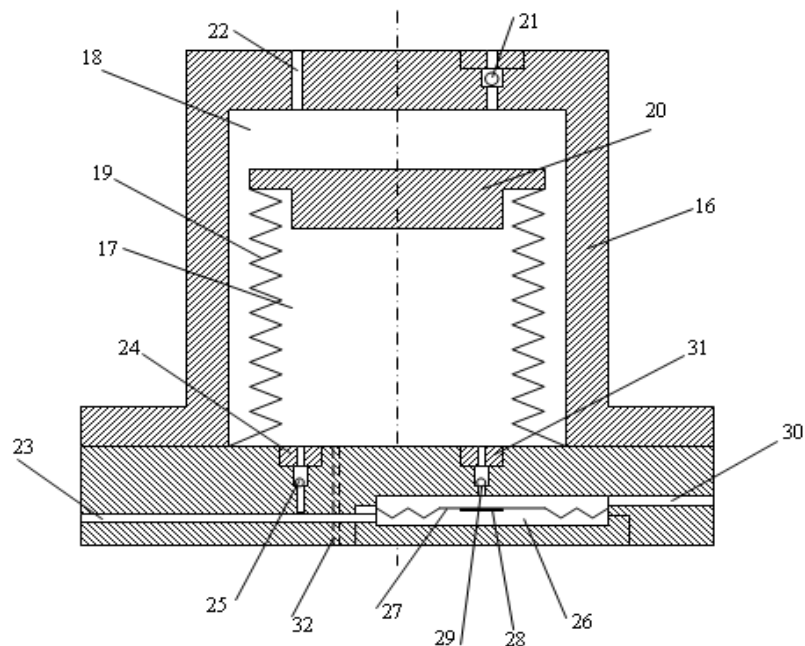


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд блоку відбору аналізованої газової суміші

Основа каліброваного циліндра вміщує канал 23 магістралі 4 вводу аналізуємої газової суміші в камеру відбору 17 через пневматичний опір 24 зі зворотнім клапаном 25. Причому канал 23 з'єднується з вхідною поверхнею пневматичного реле 26, котре включає в себе еластичну мембрану 27, з'єднану з штовхачем 28, взаємодіючим з клапаном 29 для відкриття каналу 30 магістралі 6 викиду аналізуємої суміші в атмосферу через пневматичний опір 31. В якості елементів пневматичного опору використані знімні диски з різними дросельними отворами. Причому пневматичний опір 31 більше пневматичного опору 24, що забезпечує при певному відношенні між ними, наприклад 2:1, одночасно з викидом аналізуємої суміші в атмосферу заповнення відбору цієї суміші.

Для подачі відібраної дози аналізуємої суміші на накопичувач 8 основу каліброваного циліндра вміщує калібрований капіляр 32, величина якого, а отже і критична швидкість витікання аналізуємої суміші з камери відбору, забезпечує ефективну адсорбцію на накопичувачі 8.

Прилад працює наступним чином. Газова суміш, що поступає під тиском на вхід блока відбору відкриває клапан 25 камери відбору 17 з одночасним відкриванням клапана 29 магістралі скиду надлишку аналізуємої суміші в атмосферу. Так, як пневматичний опір магістралі викиду більше пневматичного опору магістралі вводу аналізуємої суміші, то в камері відбору з'єднується тиск, необхідний для протидії силам, протидіючим підйому рухливого розділювача. При підйомі розділювача з каліброваного циліндра витісняється чисте повітря та поступає на накопичувач зі швидкістю, більшою чи рівною швидкості, при якій забезпечується ефективна десорбція.

Витіснення відібраної дози проходить через калібрований капіляр 32, котрий відкривається при поступанні сигналу керування на електромагнітний клапан 3. При цьому критична швидкість витікання аналізуємої суміші через калібрований капіляр менша чи рівна швидкості, яка забезпечує ефективну адсорбцію накопичувача 8.

Ще одним виходом по даній темі є прилад описаний в роботі [7]. На рис. 1.9 представлена схема датчика газоаналізатора. Датчик вміщує робочу камеру 1, в якій розташовані чутливі елементи 2 та накопичувач, виконаний у вигляді знімної касети 3. В останній розташована нагрівна десорбційна спіраль 4, заповнена сорбентом. В верхній частині робочої камери розташований стабілізатор теплового режиму, виконаний у вигляді знімної шайби 5 з

електронагрівачем 6. Нагрівальні спіралі можуть бути під'єднані до загального джерела нагріву 7, який комутується контактом 8. Причому температура, до якої нагрівається стабілізатор теплового режиму, повинна бути менше температури нагріву сорбента. Резистором (коректором нагріву) 9 регулюється струм електронагрівача 6.

Пристрій працює наступним чином. При подачі електроживлення на нагрівальні спіралі сорбовані на адсорбенті молекули газової суміші десорбуються і конвективно переносяться в активну частину робочої камери, де розташовані чутливі елементи. Інтенсивність конвекційного струму регулюється температурою стабілізатора теплового режиму. Незалежно від зміни напруги живлення та температури навколишнього середовища різниця температур всередині камери датчика підтримується постійною, забезпечуючи тим самим постійність десорбційних характеристик.

Для визначення концентрації NH_3 використовують поліпірол. Високу чутливість при кімнатній температурі до суміші $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ і Cl_2 мають плівки тетразанулінів, однак їх характеристики значною мірою залежать від матеріалу підкладки та якості її обробки, від режиму сублімації та товщини плівки, внаслідок чого відтворюваність результатів недостатньо висока.

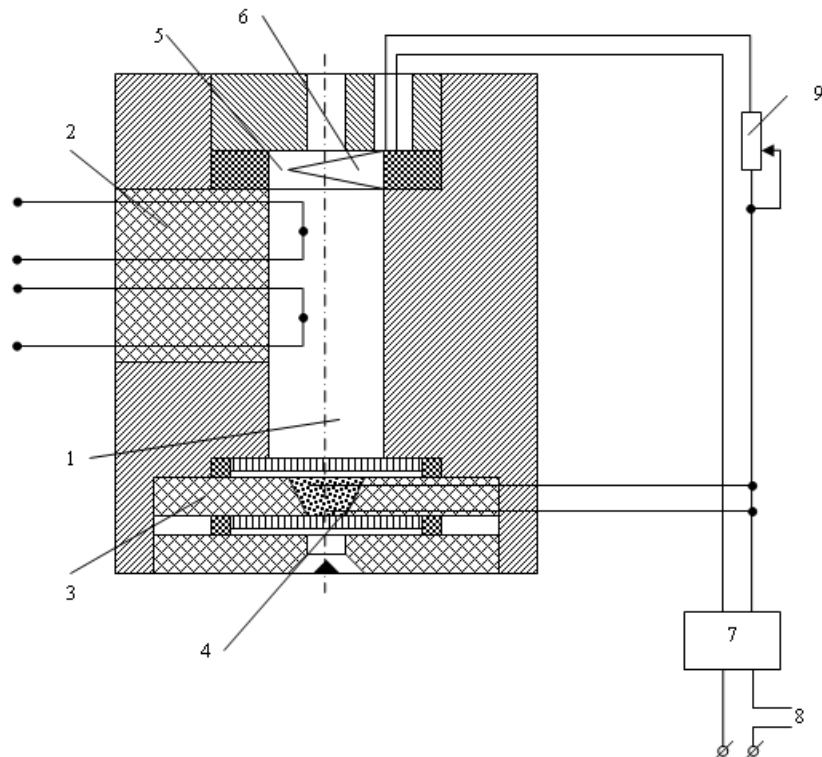


Рисунок 1.9 – Схема пристрою вимірювання концентрації газу

Для визначення концентрації газоподібного йоду використовують плівки поліпарафенілазOMETину. Каталітичні перетворювачі працюють за принципом реєстрації кількості тепла, яке виділяється під час каталітичних реакцій на поверхні каталізатора. Як термочутливий параметр звичайно використовують зміну опору плівки самого каталізатора або тонкого платинового дроту, розміщеного поблизу його поверхні, тому каталітичні газові перетворювачі часто розглядають як перетворювачі резистивного типу, хоча можливі й інші способи вимірювання температури.

1.2 Електрохімічні газові перетворювачі

В основі роботи цієї групи перетворювачів лежать закономірності протікання електричного струму через електрохімічне коло, основними елементами якого є металеві чи напівпровідникові іоноселективні електроди, провідники другого роду (розчини електролітів, їх розплави або тверді електроліти) і межі розділу фаз між металом (напівпровідником) і електролітом, двома різними провідниками першого роду, двома різними електролітами. Різновидом електрохімічного кола є таке, в якому два провідники другого роду розділені мембраною, селективно проникною для певного іона. Струм через таке коло (або різниця потенціалів між електродами) визначається, в основному, характеристиками використовуваних мембран.

Іоноселективні електроди з газопроникною мембраною використовують для вимірювання концентрації CO_2 , NH_3 і деяких інших газів. Ферментні електроди також є модифікацією традиційних іоноселективних. Їхня робота побудована на ферментативних реакціях, які відбуваються в шарі іммобілізованого ферменту, який відокремлює досліджуване середовище від іоноселективного електрода, за допомогою якого реєструють утворені продукти ферментативної реакції.

При використанні амперометричних електродів у електрохімічному колі вимірюють струм, величина якого залежить від концентрації газу, що проникає через мембрану в досліджуване середовище. Амперометричний метод лежить в основі роботи газових перетворювачів на твердих електролітах, які застосовують, як правило, для визначення вмісту кисню, а також окисів сірки. Електролітом звичайно слугує двоокис цирконію з різними домішками.

1.3 Перетворювачі на основі МДН фазочутливих структур

МДН фазочутливі структури, які є базовим елементом конструкції багатьох напівпровідникових приладів та ІС, знайшли широке застосування як перетворювачі, тобто прилади, призначені для перетворення характеристик зовнішнього середовища в електричний сигнал. Принцип роботи МДН-приладів полягає в зміні концентрації носіїв заряду в приповерхневій області напівпровідника під впливом прикладеної напруги.

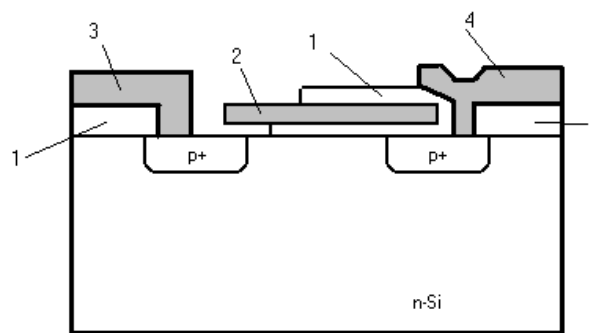
Дослідження показали, що МДН-структури, металевий електрод яких виготовлений з перехідних металів (паладій, платина, нікель), змінюють свої характеристики під дією газів, які є в середовищі. При цьому в МДН-конденсаторах спостерігають зсув CU -характеристики вздовж осі напруг без зміни її форми, а в МДН-транзисторах – зміну порогової напруги i , як наслідок, зсув вольт-амперних характеристик. Такий зсув характерний для МДН-структур з паладієвим заслоном при введенні в середовище газоподібного водню.

Повний відгук МДН-структури складається зі здатної до зворотності зміни роботи виходу електронів з внутрішньої поверхні паладію та складного явища часового дрейфу, зумовленого дифузією водню в глибину діелектрика SiO_1 . Протони, попадаючи в перші шари, не можуть просуватися далі внаслідок сильного наведеного електричного поля. При регенерації в безкисневому середовищі швидко звільняються активні центри поблизу внутрішньої поверхні паладію, після чого повільно починають виходити протони з глибоких шарів SiO_1 . У присутності кисню ефективність цього процесу значно вища, оскільки водень різко видаляється з зовнішньої поверхні паладію в результаті взаємодії з киснем та утворенням води.

Для зменшення повільного часового дрейфу замість SiO_2 використовують двошарові діелектрики $Al_2O_3 - SiO_2$, $Si_3N_4 - SiO_2$, $Ta_2O_5 - SiO_2$, але при цьому помітно знижується і повний відгук перетворювача, тому що протони, за механізмом, який було описано вище, не проникають вглиб діелектрика. Однак серйозною проблемою, яка обмежує термін придатності водневих перетворювачів на основі МДН-структур з паладієвим заслоном, є часткове відшарування в процесі роботи паладієвої плівки від поверхні SiO_1 . Відомі МДН-структури з різними двошаровими металевими заслонами: Pt/Pb, Pd/Pt, Nb/Pd, Pd/Nb, V/Pd, Pd/V, Ti/Pd, Pd/Ti, Au/Pd, Pd/Au.

Селективність газових перетворювачів на основі МДН-структур можна підвищити, наносячи на поверхню металу додатковий шар цеоліту, діаметр пор якого залежить від складу та методу нанесення.

На рисунку 1.10 показана конструкція газового перетворювача, в якій як діелектрик використано повітряний прошарок. При цьому, попадаючи в прошарок між поверхнею напівпровідника та полікремнієвим заслоном, досліджуваний газ може змінювати або діелектричну проникність у заслоні, або, адсорбуючись на поверхні напівпровідника чи заслону, формувати дипольний шар, що кінець кінцем призводить до зміни порогової напруги транзистора.



1 – шар SiO₂; 2 – полікремнієвий заслін; 3, 4 – алюмінієві контакти до витоку і стоку

Рисунок 1.10 – Структура газового перетворювача з повітряним заслоном

Газові перетворювачі з бар'єром Шотткі. Газові перетворювачі на основі діодів Шотткі (ДШ) з контактом з паладію з'явилися одночасно з перетворювачами на основі МДН-структур. З виразів для вольт-амперних характеристик ДШ видно, що струм ДШ сильно залежить від висоти потенціального бар'єра Шотткі. Цим можна пояснити експериментально високу чутливість газових перетворювачів на основі ДШ.

На сьогодні вважають, що водневу чутливість пристроїв на основі ДШ визначають два основні механізми:

- дифузія атомів водню через металевий контакт з паладію (платини, золота) з утворенням на межі розділу метал-напівпровідник дипольного шару, який вили в нас на висоту бар'єра Шотткі;

- зміна заряду поверхневих сигналів на межі розподілу метал-напівпровідник у присутності водню.

1.4 Газові перетворювачі, чутливі до механічних змін

Відомо, що генератори на основі п'єзокристалів надзвичайно чутливі до змін маси електронів, а також сторонніх частинок, адсорбованих на поверхні. Однак самі по собі п'єзоелектричні кристали є абсолютно неселективними приладами. Щоб створити хімічний сенсор на їх основі, необхідно забезпечити переважну адсорбцію молекул досліджуваного газу на поверхні кристала. Для цього її покривають тонким шаром адсорбувального матеріалу. Таким чином, при збільшенні концентрації досліджуваного газу в середовищі збільшується і його маса, адсорбована на поверхні п'єзокристала при цьому пропорційно знижується частота вихідного сигналу генератора, що дозволяє використовувати п'єзокристалічні кристали, як мікровагу у діапазоні нанограмів.

Розрізняють два типи приладів, чутливих до змін маси. У першому випадку використовують об'ємні механічні хвилі в п'єзокристалі кварцу (рис. 1.11), тому прилади називають кварцовими мікровагами. У другому випадку збуджують поверхневі акустичні хвилі (рис. 1.12).

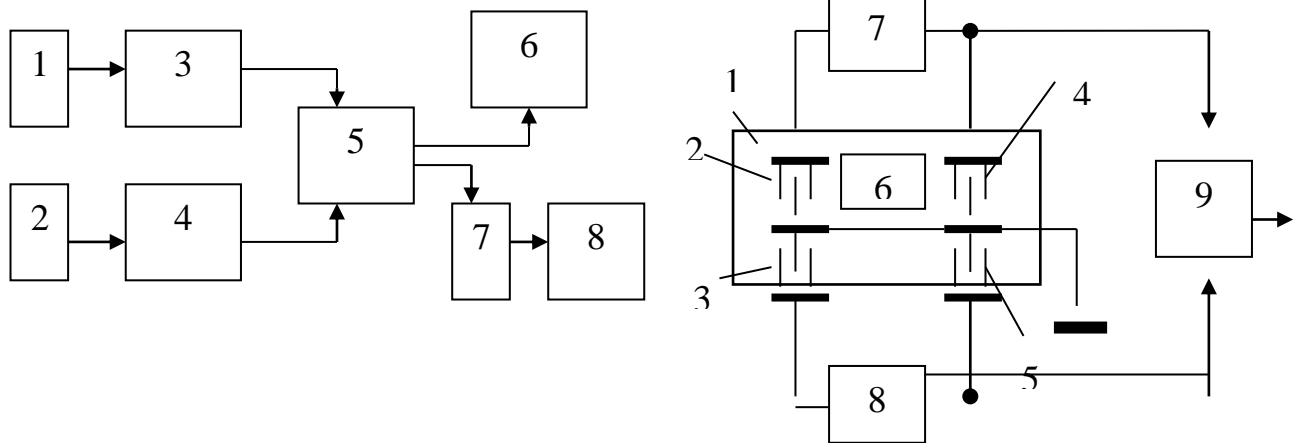


Рисунок 1.12 – Структура

Рисунок 1.11 – Структурна схема диференційного газового перетворювача на ПАХ: 1 – чутливий і допоміжний п'єзокристали; 2,3 – чутливий і допоміжний генератори; 4,5 – детекторні електроди; 6 – чутливе покриття; 7,8 – підсилювачі; 9 – змішувач

Іншою роботою в цьому напрямку є акустичний газоаналізатор [7]. Схема приладу зображена на рис. 1.13. Акустичний газоаналізатор містить акустичний перетворювач 1, встановлений на хвилеводі 2, об'єднаному в загальну трубу постійного перерізу з робочою камерою 3, відбивач 4, встановлений на межі робоча камера – хвилевід, збуджувач 5 витрат газу, встановлений на хвилеводі 2 в місці розташування вихідних газових отворів 6, відбивну решітку 7 з вхідними газовими отворами 8, фільтр 9, датчик 10 температури, електронну вимірювальну схему 11.

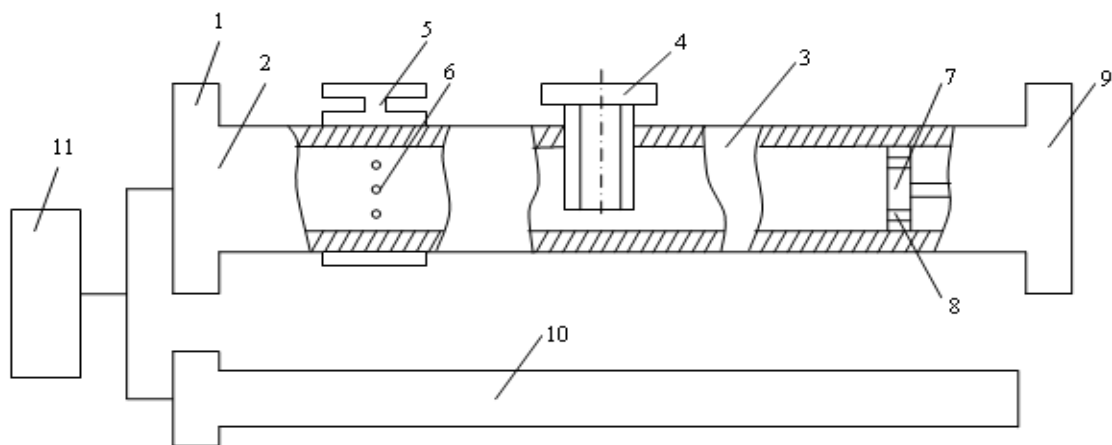


Рисунок 1.13 – Пристрій для визначення концентрації газу

Акустичний газоаналізатор працює наступним чином. Через фільтр 9, вхідні газові отвори 8 відбивної решітки 7, робочу камеру 3, хвилевід 2, вихідні газові отвори 6 неперервно просочується досліджуваний газ за допомогою збуджувача 5 витрат. Звуковий імпульс, який випромінюється акустичним перетворювачем 1, розповсюджується вздовж хвилевода 2 та робочої камери 3. Перше відбиття звукової хвилі відбувається від відбивача 4, друге – через інтервал часу, який визначається довжиною робочої камери, від відбивної решітки. Відбиті перший та другий звукові імпульси вертаються зі зсувом в часі на акустичний перетворювач 1. При заповненні робочої камери досліджуванним газом часовий інтервал між першим та другим відбитими імпульсами збільшується і залежить від концентрації газу. Часовий інтервал вимірюється електронною вимірювальною схемою 11. Для виключення впливу температури газу на точність вимірювання застосовується температурна компенсація за допомогою датчика 10 температури.

1.5 Оптичні газові перетворювачі

Оптичні газові перетворювачі можна поділити на чотири групи. Оптикоелектронні прилади – це комплекс з джерела світла (світлодіод, напівпровідниковий лазер) і фотоприймача (фотодіод, фоторезистор), між якими знаходиться оптично прозоре середовище. Зміна оптичних властивостей середовища при появі в ньому певного газу впливає на вихідний сигнал фотоприймача, що використовується для визначення концентрації цього газу в середовищі. Наприклад, можливе детектування газоподібного водню за допомогою фотодіода з напівпроникною плівкою з паладію.

Оптоволоконні прилади також містять джерело світла (лазер) і фотоприймач, однак поширюється світло між ними вздовж оптоволокна, оптичні властивості якого також залежать від концентрації досліджуваного газу, що викликає зміну вихідного сигналу фотоприймача.

Оптотермічний (або фотоакустичний) прилад містить п'єзоелектричний кристал з наскрізним отвором, через який на сапфірову підкладку подаються імпульси світла. Під дією поглинутого світла змінюються механічні властивості сапфіру, які реєструються п'єзокристалом. Якщо на зовнішню поверхню нанести чутливий шар, то внаслідок поглинання ним світла змінюється температура сапфіру, що призводить до зміни сигналу перетворювача.

До даної теми відноситься патент України „Фотоелектричний спосіб визначення концентрації рідких і газоподібних середовищ” [11]. Функціональна схема пристрою показана на рис. 1.14, та наведена в додатку Д.

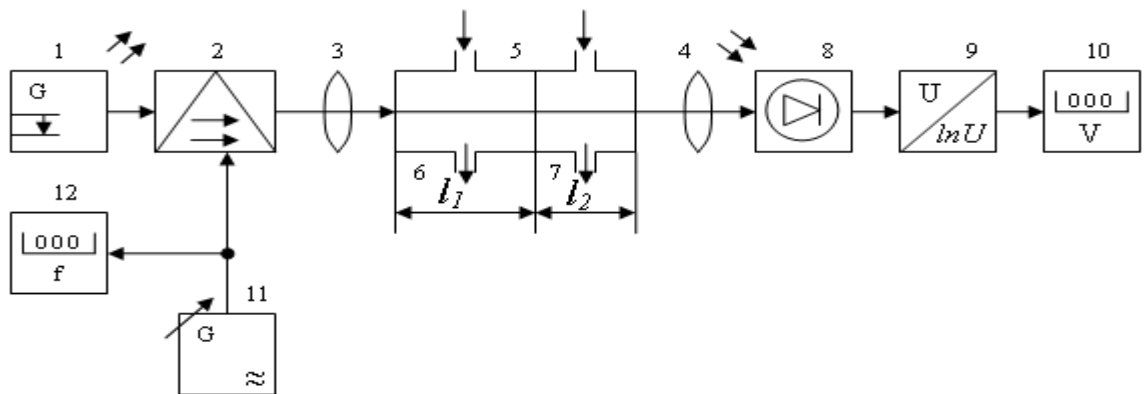


Рисунок 1.14 – Функціональна схема пристрою

Пристрій складається з джерела 1 оптичного монохроматичного випромінювання, електрооптичного модулятора 2, формувачів 3 і 4 оптичного променя, складаної кювети 5 з проточною робочою камерою 6 і проточною камерою порівняння 7, приймача 8 оптичного випромінювання, логарифматора 9, вольтметра 10, радіочастотного генератора переналагоджуваної частоти 11 і частотоміра 11.

Складана кювета 5 встановлюється по ходу оптичного променя, який формується з монохроматичного випромінювання джерела 1, частоту коливань якого регулюють електрооптичним частотним модулятором 1. Випромінювання, що пройшло через кювету 5, попадає на приймач 8, до виходу якого через логарифматор 9 під'єднаний вольтметр 10. Електричний вхід модулятора 2 з'єднаний з виходом радіочастотного генератора 11 з переналагоджуваною частотою, значення якої вимірює частотомір 11.

Пристрій працює наступним чином. Монохроматичним випромінюванням зондують складану кювету, робоча камера якої заповнена досліджуванним середовищем, а камера порівняння – вихідною речовиною порівняння, перетворюють приймачем випромінювання монохроматичне випромінювання, що пройшло, в електричний сигнал, його логарифмують, вимірюють електричну напругу, змінюють довжину хвилі монохроматичного випромінювання, поки не одержать мінімальне значення електричної напруги U_1 , заповнюють камеру порівняння речовиною порівняння, яка має концентрацію, що дозволяє змінити електричну напругу на величину, що перевищує поріг чутливості приймача випромінювання, вимірюють відповідну електричну напругу U_2 і визначають концентрацію за аналітичним співвідношенням, згідно з винаходом, після вимірювання електричної напруги U_2 знову змінюють довжину хвилі монохроматичного випромінювання до значення, при якому електрична напруга збільшиться на величину, що перевищує поріг чутливості приймача випромінювання в число разів, кратне порогу чутливості, вимірюють відповідну електричну напругу U_3 , потім заповнюють камеру порівняння початковою речовиною порівняння, вимірюють збільшену напругу U_4 .

Як видно з описаного вище, існує багато різних методів вимірювання концентрації газів. У своїй розробці радіоінженер повинен керуватись технічними умовами на конкретний пристрій, тобто які функції він буде виконувати, яка необхідна точність вимірювань, в яких умовах буде працювати пристрій, які допустимі фінансові затрати на проектування та виготовлення при-

строю, та ін. Після аналізу даних умов інженер повинен вибрати оптимальний схемотехнічний та конструктивний варіант конкретної розробки.

1.6 Переносний газоаналізатор «Моноліт»

Зовнішній вигляд газоаналізатора «Моноліт» наведено на рис. 1.15.

- Призначення і область застосування

Газоаналізатор МОНОЛІТ - багатофункціональний прилад, призначений для визначення вмісту забруднюючих речовин в промислових викидах паливних установок при проведенні екологічного контролю або оптимізації процесу горіння палива.



Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд газоаналізатора «Моноліт»

- Додаткові можливості

Газоаналізатор МОНОЛІТ володіє рядом додаткових можливостей:

- ✓ збір і статистична обробка результатів вимірювань (обчислення середніх значень) за 20-хвилинний інтервал часу;
- ✓ обчислення об'ємної витрати потоку газів ($\text{м}^3/\text{с}$), що відходять, і масового викиду ($\text{г}/\text{с}$) забруднюючих речовин на основі результатів виконаних вимірювань;
- ✓ передача протоколу вимірювань з пам'яті газоаналізатора на персональний комп'ютер у форматі MS Word.

- Визначувані компоненти і параметри

Газоаналізатор МОНОЛІТ дозволяє визначати зміст всіх основних компонентів, що утворюються в результаті горіння органічного палива: O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , NO_x і SO_2 . Крім того, газоаналізатор вимірює температуру, надмірний тиск (розрідження) і швидкість газового потоку в точці відбору

проби, а також обчислює технологічні параметри контрольованої установки - коефіцієнт надлишку повітря, коефіцієнт втрат тепла і ККД згоряння палива.

- Принцип дії

Принцип дії газоаналізатора заснований на застосуванні комплекту електрохімічних комірок для вимірювання вмісту газових компонентів, термоелектричного перетворювача для вимірювання температури, двохплечового мембранного датчика для вимірювання тиску і трубки Піто для вимірювання швидкості газового потоку.

- Конструкція і базові модифікації

Конструктивно газоаналізатор виконаний в міцному пластиковому корпусі, на лицьову панель якого виведені дисплей, клавіатура і всі комутаційні роз'єми та штуцери. Вимірювальна інформація відображається на рідкокристалічному дисплеї, оснащеному підсвічуванням. Електроживлення газоаналізатора може здійснюватися як від внутрішнього акумулятора, так і від мережі змінної напруги.

Газоаналізатор випускається у восьми базових модифікаціях, при цьому модифікації «Газ» призначені для контролю установок з «низьким» вмістом шкідливих речовин у викидах (що працюють на природному газі), а модифікації «МТ» - для контролю установок з «високим» вмістом шкідливих речовин у викидах (що працюють на мазуті, вугіллі і т. д.).

- Висока точність вимірювань

Завдяки використанню в модифікаціях «Моноліт Газ» датчиків з високою чутливістю, вимірювання низьких концентрацій CO, NO і SO₂ виконуються з максимально можливою для електрохімічного методу точністю.

- Пам'ять даних

Вбудована пам'ять даних газоаналізатора розрахована для постійного зберігання 100 повних блоків даних, кожний з яких може включати результати вимірювань концентрацій газів, температури, тиску і швидкості газового потоку. Згодом записані дані можуть бути роздруковані на принтері або передані на персональний комп'ютер.

- Документування результатів

ІЧ-термопринтер, що поставляється з газоаналізатором, дозволяє роздруковувати протоколи вимірювань як безпосередньо під час проведення вимірювань, так і після їх завершення при зчитуванні даних з пам'яті приладу.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики газоаналізатора «Моноліт»

Вимірюваний компонент/параметр	Принцип вимірювань	Діапазон вимірювань	Похибка вимірювань	Модифікація газоаналізатора
Кисень (O ₂)	електрохімічний сенсор	0-21% об.	±0,2% (об.)	всі
Оксид вуглецю (CO)	електрохімічний сенсор	0-500 мг/м ³ 0-1000 мг/м ³ 0-2000 мг/м ³ 0-5000 мг/м ³ 0-10000 мг/м ³ 0-50000 мг/м ³	±5 мг/м ³ або ±5% ±7,5 мг/м ³ або ±5% ±10 мг/м ³ або ±5% ±25 мг/м ³ або ±5% ±50 мг/м ³ або ±5% ±250 мг/м ³ або ±5%	Моноліт Газ Моноліт Газ Моноліт МТ Моноліт МТ Моноліт МТ Моноліт МТ
Оксид азоту (NO)	електрохімічний сенсор	0-500 мг/м ³ 0-2000 мг/м ³ 0-5000 мг/м ³	±5 мг/м ³ або ±5% ±10 мг/м ³ або ±5% ±25 мг/м ³ або ±5%	Моноліт Газ Моноліт МТ Моноліт МТ
Діоксид азоту (NO ₂)	електрохімічний сенсор	0-200 мг/м ³	±10 мг/м ³	всі
Сірчаний ангідрид (SO ₂)	електрохімічний сенсор	0-500 мг/м ³ 0-2000 мг/м ³ 0-5000 мг/м ³ 0-10000 мг/м ³	±10 мг/м ³ або ±5% ±15 мг/м ³ або ±5% ±25 мг/м ³ або ±5% ±50 мг/м ³ або ±5%	Моноліт Газ Моноліт МТ Моноліт МТ Моноліт МТ
Температура газового потоку	термопара	- 20...+800°C	±2 °C або ±2%	всі
Надлишковий тиск/розрідження газового потоку	мембранний датчик	±(0-50) гПа	±0,2 гПа або ±2%	всі
Швидкість газового потоку	трубка Піто	4-50 м/с	±2 м/с	всі

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики газоаналізатора «Моноліт»

Величини, що розраховуються	об'ємна частка CO ₂ об'ємна частка NO _x коефіцієнт надлишку повітря (1,00-9,99) коефіцієнт втрат тепла (0-99,9%) ККД згоряння палива (0-99,9%)
Одиниці вимірювань	мг/м ³ , ррт, мгО ₂ (приведені до базового вмісту О ₂)
Додаткові можливості	збір статистичних даних розрахунок об'ємних витрат і масового викиду передача даних на ПК
Строк експлуатації сенсорів	кисень— 1,5-2 роки, інші компоненти — 2-3 роки
Калібрування	автоматичне калібрування нуля калібрування чутливості 1 раз на 3 місяці
Відбір газової проби	вбудований мембранний насос (0,8 л/хв)
Електроживлення	Від мережі змінного струму чи від акумулятора
Час роботи без підзарядки акумулятора	не менше 10 год
Дисплей	алфавітно-цифровий, 4 стрічки по 20 символів с підсвічуванням
Пам'ять даних	100 повних блоків
Принтер	зовнішній ІЧ термопринтер
Інтерфейс	послідовний RS 232 C
Габаритні розміри	200 x 76 x 140 мм (Д x Ш x В)
Маса	не більше 2 кг (5 кг з приладдям)
Діапазон робочих температур	від 0 до 45 °С (стандартний) від мінус 30 до плюс 45 °С (розширений)
Вартість	\$1800

1.7 Переносний газоаналізатор «Експерт»

Зовнішній вигляд газоаналізатора «Експерт» наведено на рис. 1.16.



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд газоаналізатора «Експерт»

- Призначення і область застосування

Газоаналізатор «Експерт» – універсальний багатофункціональний прилад, призначений для визначення змісту забруднюючих речовин в промислових викидах паливних установок при проведенні екологічного контролю або оптимізації процесу горіння палива.

- Визначувані компоненти і параметри

Газоаналізатор «Експерт» дозволяє визначати зміст всіх основних компонентів, що утворюються в результаті горіння органічного палива - O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , NO_x і SO_2 і вуглеводнів. Крім того, газоаналізатор вимірює температуру, надмірний тиск (розрідження) і швидкість газового потоку в точці відбору проби, температуру навколишнього середовища, а також обчислює технологічні параметри контрольованої установки – коефіцієнт надлишку повітря, коефіцієнт втрат тепла і ККД згорання палива.

- Принцип дії

Принцип дії газоаналізатора заснований на застосуванні комплексу електрохімічних комірок і оптичного сенсора для вимірювання вмісту газових компонент, термоелектричного перетворювача для вимірювання темпе-

ратури, двохплечового мембранного датчика для вимірювання тиску і трубки Піто для вимірювання швидкості газового потоку.

- Конструкція

Газоаналізатор випускається в шести базових модифікаціях, що відрізняються один від одного переліком визначуваних компонентів, діапазонами і погрішністю вимірювань. Модульна конструкція газоаналізатора дозволяє легко змінювати базові модифікації і комплектувати прилад залежно від вимірювальних завдань замовника. Конструктивно газоаналізатор виконаний в міцному корпусі-валізці, на лицьову панель якого виведені дисплей, клавіатура, принтер і сполучні роз'єми. Вимірювальна інформація відображається на рідкокристалічному дисплеї, оснащеному підсвічуванням. Електроживлення газоаналізатора може здійснюватися як від внутрішнього акумулятора, так і від мережі змінної напруги.

- Висока точність вимірювань

Завдяки використанню двох різнодіапазонних електрохімічних комірок по кожному каналу вимірювань, газоаналізатор «Експерт» володіє високими метрологічними характеристиками як у області вимірювання високих і середніх концентрацій, так і у області вимірювання низьких концентрацій, забезпечуючи потрібну природоохоронними документами точність вимірювань (сумарна відносна погрішність не більше $\pm 25\%$), починаючи вже з 20 мг/м³.

- Вибір одиниць вимірювань

По вибору оператора результати вимірювань змісту визначуваних компонентів можуть виводиться на дисплей не тільки в об'ємних відсотках або ррт, але і в мг/м³, приведених до нормальних умов або відкоректованих по відношенню до точки відліку O₂. При друці протоколу вимірювань результати виводяться одночасно у всіх трьох одиницях.

- Універсальність

Газоаналізатор «Експерт» може застосовуватися для контролю викидів практично від всіх типів паливних установок, що працюють на всіх видах палива (природний газ, вугілля, мазут і т. д.) і експлуатуються на підприємствах теплоенергетики, нафтогазовидобувної, нафтогазопереробної, нафтохімічної, хімічної і інших галузей промисловості.

- Вимірювання вуглеводнів

У модифікаціях «про» газоаналізатор крім електрохімічних комірок оснащується оптичним сенсором, що дозволяє вимірювати вміст вуглеводнів, що є важливим показником повноти згорання палива.

- Вимірювання швидкості

При додатковому оснащенні газоаналізатора трубкою Піто з її допомогою може вимірюватися швидкість газового потоку. Це істотно спрощує подальше обчислення повної маси викидів речовин.

- Захист сенсорів.

З метою збільшення терміну служби електрохімічних осередків газоаналізатор обладнаний додатковим насосом, що забезпечує продування комірок чистим повітрям при перевищенні їх діапазону вимірювань.

- Система осушення газу

У модифікаціях «про» газоаналізатор комплектується зовнішнім електричним блоком осушення газової проби, заснованому на використанні елементів Пельтьє, і що гарантує, що вимірювання проводяться для сухих газів.

- Статистична обробка результатів

Для дотримання вимог за уявленням результатів при екологічному контролі в газоаналізаторі є можливість збору і статистичної обробки результатів вимірювань за будь-який інтервал часу. При цьому по кожному каналу вимірювань обчислюються середнє, максимальне і мінімальне значення за заданий інтервал.

- Розрахунок масового викиду.

У газоаналізаторі є додаткова сервісна функція, що дозволяє розрахувати масовий викид забруднюючих речовин (у г/сек) на основі результатів інструментальних вимірювань.

- Пам'ять даних

Пам'ять даних газоаналізатора розрахована для постійного зберігання 100 повних блоків даних, кожний з яких включає один набір зміряних і розрахованих величин. Згодом, записані дані можуть бути лічені для перегляду, друку або передачі на комп'ютер. Тим самим користувач звільняється від необхідності документування результатів під час проведення вимірювань.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики газоаналізатора «Експерт»

Вимірюваний компонент/параметр	Принцип вимірювань	Діапазон вимірювань	Похибка вимірювань	Модифікація газоаналізатора
Кисень (O ₂)	електрохімічний сенсор	0-21% об.	±0,2% (об.)	всі
Оксид вуглецю (CO)	електрохімічний сенсор	0-10000 мг/м ³ 0-500 мг/м ³ 0-10000 мг/м ³	±5 мг/м ³ або ±5% ±5 мг/м ³ або ±5% ±25 мг/м ³ або ±5%	Універсал Газ МТ
Оксид азоту (NO)	електрохімічний сенсор	0-5000 мг/м ³ 0-500 мг/м ³ 0-5000 мг/м ³	±5 мг/м ³ або ±5% ±5 мг/м ³ або ±5% ±25 мг/м ³ або ±5%	Універсал Газ МТ
Діоксид азоту (NO ₂)	електрохімічний сенсор	0-200 мг/м ³	±10 мг/м ³	всі
Сірчаний ангідрид (SO ₂)	електрохімічний сенсор	0-10000 мг/м ³ 0-10000 мг/м ³	±5 мг/м ³ або ±5% +25 мг/м ³ або ±5%	Універсал МТ
Водень (H ₂)	електрохімічний сенсор	0-1 % (об.)	±50 ррт або ±5%	по замовленню
Вуглеводні (за метаном)	оптичний сенсор	0-5000 мг/м ³	±25 мг/м ³ або ±5%	«про»
Температура газового потоку	термопара	- 20...+800° С	±2 °С або ±2%	всі
Надлишковий тиск/ розрідження газового потоку	мембранний датчик	±(0-50) гПа	±0,2 гПа або ±2%	всі

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики газоаналізатора «Експерт»

Величини, що розраховуються	об'ємна частка CO ₂ об'ємна частка NO _x коефіцієнт надлишку повітря (1,00-9,99) коефіцієнт втрат тепла (0-99,9%) ККД згоряння палива (0-99,9%)
Одиниці вимірювань	мг/м ³ , ppm, мгО ₂ (приведені до базового вмісту О ₂)
Строк експлуатації сенсорів	кисень— 1,5-2 роки, інші компоненти — 2-3 роки
Калібрування	автоматичне калібрування нуля калібрування чутливості 1 раз на 3 місяці
Відбір газової проби	вбудований мембранний насос (1,5-2,0 л/хв)
Електроживлення	від мережі змінного струму чи від акумулятора 12В/7А*ч
Час роботи без підзарядки акумулятора	не менше 10 год
Дисплей	алфавітно-цифровий, 4 стрічки по 20 символів с підсвічуванням
Пам'ять даних	100 повних блоків
Принтер	термопринтер, 25символів у стрічці
Інтерфейс	послідовний RS 232 С
Габаритні розміри	370 x 310 x 180 мм (ДхВ x Ш)
Маса	від 6 до 9 кг (від 8 до 11 кг з приладдям)
Діапазон робочих температур	від 0 до 45 °С (стандартний) від мінус 30 до плюс 45 °С (розширений)
Вартість	\$2400

1.8 Газосигналізатор «Страж»

Зовнішній вигляд газосигналізатора «Страж» наведено на рис. 1.18.



Рисунок 1.18 – Зовнішній вигляд газосигналізатора «Страж»

Газосигналізатор “СТРАЖ” (далі – сигналізатор) призначений для безперервного контролю концентрації природного побутового паливного газу ГОСТ 5542 та/або чадного газу у повітрі побутових і комунальних приміщень та видачі попереджувальних звукових та світлових сигналів при досягненні цими газами концентрацій, які можуть виявитися небезпечними для здоров’я та життя людей і тварин. Сигналізатори „СТРАЖ”: М; УМ; 001М; 001УМ; 010М; 010УМ; 011М; 011УМ; 100М; 100УМ; 110М; 110УМ 101М; 101УМ; 111М; 111УМ також призначені для видачі вказаних попереджувальних сигналів при наближенні концентрації природного побутового паливного газу до рівня, який в суміші з оточуючим повітрям може привести до виникнення вибухонебезпечної суміші.

Конструкцією та схемними рішеннями, що використані в сигналізаторах „СТРАЖ”: 100У; 100М; 100УМ; 101У; 101М; 101УМ; 110У; 110М; 110УМ; 111У; 111М; 111УМ забезпечується управління автоматичними захисними пристроями – вентиляторами, імпульсними відсікаючими електроклапанами, нормально закритими електроклапанами.

Сигналізатор призначений для підключення до мережі змінного струму номінальною напругою 220 або 230 В, номінальною частотою 50-60 Гц.

Сигналізатор складається з трьох основних функціональних складових частин.

Датчик газу розташований всередині корпусу газосигналізатора безпосередньо перед вентиляційними отворами кришки. Забезпечує чутливість сигналізатора до того чи іншого газу або до групи газів.

Під час впливу газу на чутливу ділянку датчика, останній зменшує свій електричний опір. Такі зміни надалі перетворюються в сигнал безпеки, якщо в повітрі навколишнього середовища виникає небезпечна концентрація природного побутового паливного газу та/або чадного газу. При цьому сигналізатор видає світловий (переривчасте світіння червоного сигнального індикатора) і звуковий (подача переривчастого звукового сигналу) сигнали безпеки і команди управління на автоматичні захисні пристрої.

Блок обробки інформації виконує функцію підсилення і порівнювання вихідних сигналів датчика з еталоном (рівень аварійного опору), керування режимом роботи датчика (почергова зміна настроювання чутливості датчика до природного побутового паливного газу та чадного газу), генерування струму змінної напруги для живлення звукового сигнального випромінювача,

генерування імпульсного струму для живлення світлової сигнальної індикації.

Блок живлення перетворює напругу змінного струму мережі живлення (~220 В, ~230 В, 50 Гц) в однополярну стабілізовану напругу для живлення датчика газу і блоку обробки інформації, забезпечує підзарядку батареї аварійного живлення.

Сигналізатор розташований у пластмасовому корпусі з ударостійкого полістиролу, в якому розміщена плата з газочутливим елементом та електро-радіокомпонентами.

1.9 Висновки до розділу

1. Аналіз публікацій, присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням перетворювачів концентрації газів показує, що розробка оптичних сенсорів концентрації газу є перспективним напрямком у розвитку апаратних засобів вимірювання фізичних величин для сучасних мікропроцесорних систем контролю і керування. Подібні перетворювачі концентрації газу представляють високі метрологічні показники поряд з тенденцією до мінітюаризації, поліпшенням вартісних характеристик, можливістю їх інтелектуалізації на основі конструктивної та технологічної сумісності з цифровими пристроями обробки вимірюваної інформації.

2. Аналіз сучасного рівня розробок конструкцій перетворювачів концентрації газів дозволив визначити можливі шляхи поліпшення їх параметрів: чутливості, температурної стабільності, стабільності електричних характеристик перетворювачів, надійності, собівартості тощо.

2 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ НЕДИСПЕРСІЙНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО (NDIR) ВИМІРЮВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ОПТИЧНОМУ СЕНСОРИ

2.1 Недисперсійне інфрачервоне (NDIR) зондування газу

Недисперсійне інфрачервоне (NDIR) зондування газу є одним із найбільш широко використовуваних методів оптичного виявлення газу, і в комерційному виробництві існує широкий спектр конструкцій комірок [1]. Для деяких газів, зокрема діоксиду вуглецю (CO₂), альтернативні (неоптичні) технології непридатні, і тому виявлення CO₂ у недорогих, об'ємних додатках часто включає датчик NDIR. Сюди входять управління опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням повітря (HVAC) [2], промислова безпека, особливо у пивоварній промисловості (CO₂ є задушливим засобом), контроль процесу та капнографія (вимірювання дозволеної в часі концентрації CO₂ у видихуваному диханні) для пацієнта моніторинг, наприклад, під час анестезії [1].

Існує декілька альтернативних сенсорних технологій, здатних визначати CO₂ при концентраціях на мільйон. Прилади розроблені на основі електрохімічного принципу [1], а також тривають дослідження напівпровідників оксидів металів для CO₂. Однак, як відомо, обидві методи реагують на інші види газів, включаючи водяну пару, тоді як датчики NDIR для CO₂ вважаються специфічними лише для цього виду [1].

Крім того, розробка датчиків оксидів металів, здатних виявляти CO₂ нижче 2000 ppm, є "найбільшою проблемою", згідно з недавнім оглядом [3].

За останнє десятиліття комерційний ринок заповнився невеликими датчиками газу за принципом NDIR [4]. Розміри цих датчиків (циліндр діаметром 20 мм x висотою 16,5 мм) відповідають стандартному стандарту для промисловості газових датчиків, який ми будемо називати у цьому документі як стандартний мініатюрний формат. Таким чином, виробникам обладнання не потрібно змінювати розміри своїх корпусів при переході на датчики NDIR.

Ці датчики мають низьку вартість, мають мало компонентів (як правило, це просте джерело світла в мікробульбі, світловідбивний тракт світла із покриттям та детектор) [5]. Мікролампи, що використовуються у звичайних датчиках NDIR, мають дві основні переваги; їх спектральне випромінювання

є відносно високим (2 мВт на стерadian в смузі пропускання ШВМ 0,17 мкм при 4,2 мкм, для одного прикладу [6]), а вартість невисока (1-2 долари [6]). Ключем до мініатюризації цієї технології стала інтеграція декількох детекторів та фільтрів у невеликий єдиний пакет, як правило, банку TO5 діаметром 9 мм [7]. Комерційно доступні конструкції датчиків у стандартному мініатюрному форматі включають подвійний еліпсоїд / відбивач / еліпсоїд [8], довжина шляху розміщена у вигляді спіралі навколо лампочки / детектора [9], а також міні-інтегруючу сферу з шорсткою внутрішньою поверхнею, в якій світло відбивається навколо внутрішньої порожнини навмання, поки воно не поглинеться боковими стінками, зразком газу або детектором [4]. Однак детальний оптичний аналіз цих компактних конструкцій був обмежений, як і використання технології лиття під тиском, яка пропонує потенційно ширший спектр варіантів конструкції. Нещодавня конструкція зі світлодіодним джерелом та фотодіодом, інтегрованими на електронному шасі, використовує інжекційну відбивну оптику [10] з найпростішими оптичними конструкціями, що має як випромінювач, так і детектор якомога ближче до центру півкулі. Однак його використання світлодіода обмежує, оскільки такі пристрої в даний час значно дорожчі, ніж мікролампи.

Дослідження в цій галузі зосереджені на таких вимогах; (1) потреба в компактних елементах, (2) максимізація довжини шляху для оптимізації чутливості, і (3) необхідність максимізації частки світла, що проходить через комірку до детектора, з метою подолання межі шуму детектора.

Fonollosa та співавтори розробили лінзу Френеля з високою числовою апертурою (NA), сформовану в кремнії (пропускаючи в середині ІЧ), щоб зробити світлоєфективний та ультракомпактний двосмуговий детектор [11]. Модуль детектора інтегрований у систему вимірювання етилену в сільськогосподарських сховищах з обмеженням виявлення 30 ppm [12].

Подальша мініатюризація також може бути результатом роботи з інтеграції детекторів та фільтрів на одній базовій підкладці [13].

Ефективність збору світла оптичної системи може бути визначена за допомогою тривимірного трикутника, рівного добутку площі світлового променя та його твердого кута. Частка світла, що проходить від одного елемента системи до наступного, пропорційна етапу, і загальну пропускну здатність (T) можна визначити як [14]

$$T = A\Omega\rho. \quad (2.1)$$

На граничній апертурі A - площа діафрагми, Ω - суцільний кут, а ρ - додаткові втрати в системі, наприклад через відбивну здатність дзеркал менше 100%. Для проектування вискоефективної комірки потрібно підтримувати високий запас ходу по всій системі, що вимагає використання великих отворів та / або високої оптики NA. Отже, обмеження на об'єм комірки впливатиме на оптичну довжину шляху, оптичну ефективність або на те, і те. Саме з цієї причини дизайн компактної, оптично ефективною комірки представляє виклик. Зазвичай в межах датчика діаметром 20 мм x 16,5 мм (зовнішні розміри) є детектор діаметром 9 мм і діаметр 3,2 мм x 6,4 мм довжиною циліндричної мікролампи, що залишає мало місця для маневрування при проектуванні оптичного тракту.

Різні групи повідомляли про дослідження нових конструкцій газових елементів з використанням підходу відстеження променів. Mayrwöger та співавтори використовували пакет програм Zemax для оцінки 3 різних конструкцій комірок, включаючи порожнисту внутрішньовідбиваючу трубку (довжиною 25 мм x діаметр 3 мм), внутрішньовідбивний еліпсоїд (основні осі 55 мм і 20 мм) та спіральну конструкцію в циліндрі розмірів 30 мм діаметр x 10 мм висота [15]. Кожна конструкція включала стандартну мікролампу та одноелементний детектор із балончиком TO-5 діаметром 9 мм. Для останніх двох конструкцій із моделювання трасування променів було повідомлено про середні довжини оптичного пробігу 140 мм та 980 мм. Перша (трубчаста) конструкція була використана у поєднанні з детектором болометра для вимірювання CO₂ з межею виявлення близько 150 ppm [16].

Зібер та ін. Також повідомили про метод оптимізації прослідковуваного променя для камери, що містить криволінійну поверхню, яка фокусує світло від джерела до детектора [17]. Зокрема, вони показали вплив позиціонування джерела на розподіл опромінення в камері та повідомили, як слід моделювати загальну ефективність виявлення газу. Їх камера була довжиною 42 мм із середньою довжиною шляху 60 мм. Також була розроблена оптична комірка зі схожими розмірами та еліптичними відбивачами, яка використовується Хеком та ін. Для виявлення дихання етанолом [18]. Багаторазові відбиття забезпечували довжину шляху 210 мм в упаковці приблизно 40 мм x 40 мм x 14 мм.

Віола повідомила про розробку багатопрохідної клітини NDIR з прийнятним NA 0,22 та площами джерела / детектора 5x5 мм кожна [14]. Ефективність збору становила 3,7 ср мм², а загальна пропускна здатність (враховуючи багаторазові відбиття від золотих поверхонь з відбивною здатністю 95%) оцінювалась як 2,2 ср мм². Загальна фізична довжина газового елемента становила > 120 мм, і багаторазові проходи між двома невісьми параболічними дзеркалами та двома світловідбивачами давали оптичну довжину шляху 940 мм. Оптичні характеристики перевірені, і пристрій був використаний для виявлення аміаку при 10,5 мкм [19].

Незважаючи на цю діяльність, до цього часу жодна з цих повідомлень не застосовувалась до таких маленьких датчиків, як стандартний мініатюрний формат. У цій роботі ми повідомляємо про моделювання та реалізацію нової конструкції газових елементів, яка підходить для цих зовнішніх розмірів циліндра з діаметром 20 мм x 16,5 мм, перекладаючи внутрішні розміри для оптики діаметром 17,5 мм і висотою 10,5 мм.

Для монохроматичного світла закон Біра-Ламберта дає рівень світла, яке я пропускав через поглинаюче середовище, таке як газ [20]

$$I = I_0 \exp(-\alpha l), \quad (2.2)$$

де I - світло, що проходить через газовий елемент, I_0 - світло, що падає на газовий елемент, α - коефіцієнт поглинання зразка (одиниці см⁻¹) і l - оптична довжина шляху клітини (одиниці см). Коефіцієнт поглинання α є добутком концентрації газу (наприклад, парціального тиску в атм) та питомої поглинаючої здатності газу ϵ (наприклад, в см⁻¹атм⁻¹). При низьких значеннях αl це наближається до лінійного співвідношення наступним чином

$$I \approx I_0(1 - \alpha l), \quad (2.3)$$

На рисунку 2.1 представлена принципова схема простого газового датчика NDIR. Як правило, випромінювання від широкосмугового джерела (наприклад, мікролампи [21]) пропускається через два фільтри, один з яких охоплює всю смугу поглинання цільового газу (в активному каналі), а інший охоплює сусідню область, що не поглинається (посилальний канал). Типові характеристики фільтра для вимірювання CO₂ показані на рисунку 2.2 поряд

із спектром поглинання газу. За умови, що вибрані фільтри активного та еталонного каналів не перекриваються суттєво з смугами поглинання інших видів газу, що є в заявці, перехресна чутливість до інших газів лежить нижче межі виявлення. На щастя для зондування CO_2 фільтри, показані на малюнку 2, спектрально розташовані далеко від смуг поглинання потенційних інтерференцій, таких як водяна пара або вуглеводні, при типово зазначених концентраціях. Спектроскопічний ефект розсіювання пилу є потенційною проблемою при низьких межах виявлення [1], але пилові фільтри зазвичай використовуються для захисту оптики, тому для закритих або дифузійних комірок проблему уникають.

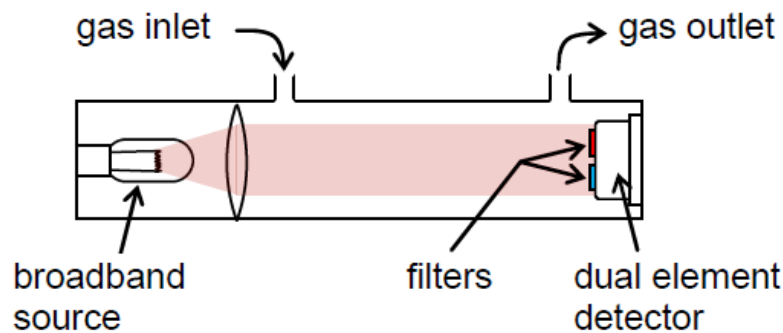


Рисунок 2.1 – Принципова схема лінійного недисперсного газового датчика з оптичною довжиною шляху в діапазоні 3-20 см. Джерело та детектор, як правило, розміщуються всередині комірки, щоб уникнути дрейфу базової лінії, який інакше був би спричинений зміною фонові концентрації CO_2 у зовнішньому оптичному тракті

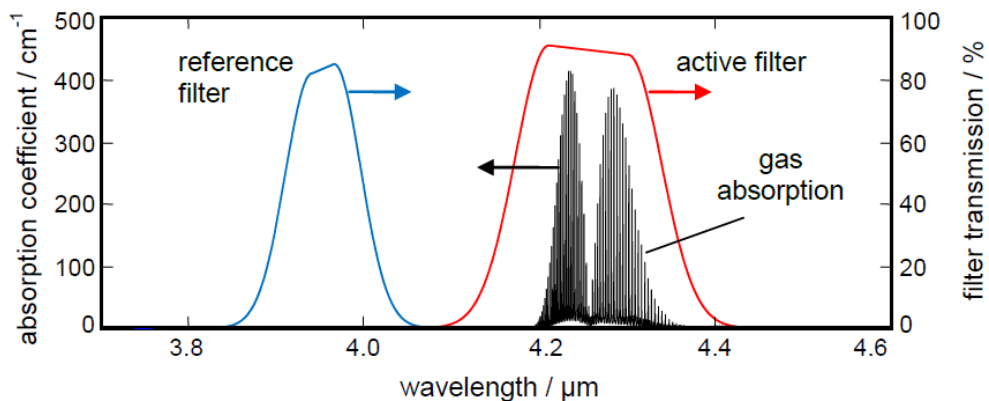


Рисунок 2.2 – Ілюстрація принципу вимірювання NDIR. Спектр поглинання CO_2 (розрахований з бази даних HITRAN [22]) накладається на спектри пропускання активних та опорних каналних фільтрів (наближено з посилання

[7])

Зондування газу NDIR залежить від сили оптичного поглинання в середній ІЧ-області, яка може бути в порядок у 100 разів більша, ніж у ближній ІЧ-області [5]. Таким чином, навіть при короткій довжині шляху (3-10 см), використовуючи відносно нехитрі джерела (мікролампи) та неохоложені детектори (піроелектричні або термоелектричні), можна досягти поважних меж виявлення (наприклад, 2-10 проміле для CO₂ [2]), і межі виявлення від 0,1 ppm можна отримати за допомогою більш досконалого обладнання [23].

Передача через активний канал включає в себе інтегроване поглинання газу

$$I = I_0 \int E_S(\lambda) T_A(\lambda) \exp[-\alpha(\lambda)\ell] d\lambda \quad (2.4)$$

де E_S - оболонка випромінювання джерела, а T_A - передача фільтра активного каналу. Для низького $\alpha\ell$ рівняння (2.4) знову лінійне з α , а отже, і з концентрацією газу.

В області лінійної роботи ми можемо адаптувати рівняння (2.3) для отримання поглинання

$$\alpha'\ell = 1 - \frac{I_A}{I_{0A}} \quad (2.5)$$

де індекс А позначає активний канал, а α' - псевдокоефіцієнт поглинання, що впливає з рівняння (2.4). Ефективність систем NDIR можна оцінити з точки зору мінімальної виявленої зміни оптичної сили, $\Delta I/I_0$. Для NDIR цей показник відповідає поглинанню, еквівалентному шуму (NEA), де “поглинання” є інтегрованою ефективною поглинанням у діапазоні вимірювань. Александров та ін. Стверджували, що NEA перевищує 10^{-3} а.е. (час відгуку 100 мс) [24]. У цьому випадку була розрахована мінімальна концентрація CO₂, яку можна виявити, 25 ppm, використовуючи довжину шляху 4 см.

Опорний канал використовується для компенсації змін у випромінюванні джерела, які, як передбачається, впливають на довжини хвиль опорного та активного каналів у однаковій пропорції. У випадку джерел розжарювання, ці зміни, як правило, є результатом або (1) коливань температури нитки розжарення, або (2) поступового почорніння внутрішньої частини скляної оболонки та втрати зони випромінювання, спричиненої випаровуванням нитки; в будь-якому випадку припущення справедливо для першого порядку.

Таким чином, ми вимірюємо інтенсивність опорного каналу IR як замінник I_0 і визначаємо нормалізований сигнал поглинання S як

$$S = 1 - \frac{I_{0R}}{I_{0A}} \frac{I_A}{I_R} \quad (2.6)$$

де нижній індекс R позначає опорний канал. S є одиничним, але зазвичай описується в "одиницях поглинання" (AU). Значення I_{0R}/I_{0A} можна визначити, промивши комірку для зразка чистим повітрям, що не містить CO_2 . Саме цю величину, S , виправлену на дрейф за допомогою еталонного каналу, ми повідомляємо в наших результатах нижче.

Оскільки широкопasmові джерела світла часто сильно розходяться, межі виявлення на великих довжинах проміжків залежать від потужності джерела, що випромінюється в межах певного спектрального вікна, і шуму детектора. Для останнього може бути використаний нормований показник достовірності, питома детективність або D^* [20], рівний співвідношенню сигнал / шум (SNR) при рівномірному опроміненні, нормований для області детектора A_d та пропускної здатності вимірювання Δf

$$D^* = \frac{\sqrt{A_d \Delta f}}{NEP}, \quad (2.7)$$

де NEP - потужність, еквівалентна шуму. Одиниці виміру D^* зазвичай виражаються як $\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$.

2.2 Принципи проектування NDIR сенсора

Датчик був розроблений для виявлення газу CO_2 через його добре відому смугу поглинання з центром на 4.2 мкм, як показано на рис.2.2, за допомогою стандартних компонентів джерела та детектора. Вибрано двоелементний детектор з активними та опорними каналами, визначеними смуговими фільтрами з центром 4,26 мкм та 3,95 мкм. Типові спектри пропускання виробника показані на малюнку 2 (фільтри Perkin Elmer G2 та G20). Також був обраний широкопasmовий випромінювач (Gilway 1600), що складався з спіральної нитки розжарення в скляній колбі. Передбачається, що вольфрамова

нитка має випромінювання сірого кольору (випромінювальна здатність <1) з температурою нитки розжарення близько 3000K. Відомо, що скляна колба має приблизно 40% пропускання при 4,2 мкм, падаючи до нульового пропускання вище 5 мкм [25]. Оскільки і випромінювач, і детектор використовуються стандартно, наша робота зосереджена на проектуванні оптичного тракту в комірці.

Джерелом випромінювання була нитка розжарювання. Оскільки відомо, що скляна колба поглинає частину світла, випромінюваного ниткою розжарювання, можливо, вона могла нагріватися і охолоджуватися на частоті модуляції джерела. Якщо це так, то він знову випромінює світло у вигляді сірого тіла, утворюючи більш ефективне джерело. Ми перевірили наше припущення, вимірявши зовнішню температуру скляної колби за допомогою термопари, припаяної до скла, в хорошому тепловому контакті, під час руху джерела з квадратною хвилею 0-5 В при низькій частоті 1,5 Гц. Ми не спостерігали жодних вимірюваних синхронних змін середньої температури 40,8 °C та невеликих несинхронних коливань $\pm 0,1^\circ$ C. Це виключає значне синхронне випромінювання огинаючої колби.

Для процесу проектування ми використовували комерційний пакет Zemax [26]. Подібно до Maugwöger та співавт. [15], ми вимагали використання послідовного трасування променів у трьох вимірах, при якому промені можуть вражати будь-який об'єкт у будь-якому порядку. Ця функція збільшила час обробки таким чином, що стало неможливо використовувати низку функцій автоматизованої оптимізації та толерантності, проте це було дуже важливо для нашого аналізу. Непослідовне випромінювання променів автоматично враховує багатовідбивні пучки та пучки, які, наприклад, залишають джерело, а потім відбиваються назад до нього, що, як ми побачимо пізніше, справді трапляється в нашій конструкції. Ми також використали можливість цього пакету експортувати та імпортувати комерційне програмне забезпечення САПР, що використовується у виробничому дизайні.

Для проектування оптично ефективної комірки NDIR ми прагнули підтримувати високу напругу на всіх етапах оптичного шляху. В ідеалі граничну апертуру забезпечував би детектор, конструкція якого була фіксованою. Ми розробили для стандартного двоелементного піроелектричного детектора від Perkin Elmer (PYS3228), однак конструкція також потрібна для врахування потенційного використання альтернативних детекторів, як піроелектричних

(наприклад, Infratec LIM 122, HL Planar TS 105, Pyreos PY-ITV-DUAL), так і термоелектричних (наприклад, Perkin Elmer TPS 2534, Infratec LIM 212, Dexter DR34). Стандартний детектор мав два елементи фотоприймача розміром 1,5 мм x 1,5 мм, центри, розділені на 3,4 мм, і приймальний напівкут 38,5, що дало індивідуальний тривимірний тривимір 3,5 мм² для кожного. Однак нам потрібно було створити рівномірний рівень освітленості для обох детекторів, тому, якщо ми визначимо діафрагму прийому як прямокутну площу 1,5 мм x 4,9 мм, що охоплює обидва елементи фотоприймача, відстань збільшується до 11,4 мм². Наслідком цього є те, що якщо світловий шлях не розділений, існує мінімум 40% втрат світла між двома елементами детектора.

Для того, щоб зібрати якомога більше світла від джерела в межах просторових обмежень датчика, джерело складалося з розширеної лампи розжарення (нитка розжарювання довжиною 1,3 мм, радіус 0,2 мм, спіральна котушка з 6 основними котушками), що випромінювала у всіх напрямках. Спрощення цього для циліндра з ізотропним випромінюванням дає максимальний тривимірний 3D-випромінювання 6,5 мм², тому в принципі теоретично може бути можливим перенести весь випромінювання від цього випромінювача в прямокутну область, що охоплює обидва елементи детектора, що дає ідеальне значення 2,0 мм² на елемент детектора.

В приладі використано складний параболічний колектор (CPC), також відомий як позаосний параболоїд, для збору випромінюваного вперед світла. Ці пристрої, що не мають зображення, мають властивість підтримувати відстань по своїй довжині та частково колімітувати випромінювання від джерела за рахунок збільшення апертури для випромінювання [27]. В ідеалі ми використовували б більш тривалий CPC з вихідною апертурою, обмеженою до $\pm 10^\circ$, однак цьому перешкодили два фактори, (1) вимога до додаткового простору навколо джерела, щоб забезпечити толерантність до розмірів та регулювання тепла (зовнішня скляна оболонка джерела гаряча), та (2) просторові обмеження, що обмежували тривалість КПК.

Виробничі допуски щодо положення вихідної нитки в зовнішній оболонці обмежують положення нитки з боку в сторону до $\pm 0,5$ мм, а крім того, існує можливість переміщення або вигину нитки в результаті теплового розширення або переміщення якщо датчик схильний до ударів або вібрації. Щоб зменшити ефекти цих рухів, ми розмістили напівсферичний відбивач позаду нитки розжарювання, щоб зібрати випромінюване назад світло і повернути

його в еквівалентну точку на нитці розжарювання, але на протилежній стороні. Рекомендується використовувати такі пристрої з неосьовими нитками в системах освітлення [27], однак обмеження простору перешкоджали використанню позаосної конструкції.

Одне з найважливіших конструктивних міркувань, посиляючись на рівняння (2.6), полягає в тому, що відносні пропорції світла, що падають на два елементи детектора (за відсутності газу), повинні залишатися незмінними між зануленням та використанням. З цією метою оптичний шлях був спроектований так, щоб бути симетричним відносно дзеркальної площини, що проходить між двома елементами детектора, таким чином, що вони будуть дзеркальними зображеннями один одного в цій площині. Напівсферичний відбивач позаду джерела підвищував рівень симетрії світла, що випромінюється з тієї чи іншої сторони нитки розжарення. Симетрію датчика також потрібно було підтримувати, враховуючи виробничі допуски.

Остаточним розглядом проекту стала технологічність. Сенсорний пристрій був побудований з литого під тиском термопластика із золотим відбивним покриттям, що робить його недорогим пристроєм для об'ємних застосувань. З цієї причини оптичний тракт повинен складатися з обмеженої кількості деталей, що піддаються литтю, тобто частин без проміжків, що входять знову, що в ідеалі вимагає дуже простого вирівнювання.

2.3 Оптичний дизайн NDIR сенсора

Оптичний дизайн показаний на рис.2.3 у вигляді креслення лінії та знімка екрана програмного забезпечення Zemax [26] для трасування. Він був реалізований як дві ін'єкційні формовані половини, з'єднані між собою під час виготовлення у вигляді оболонки молюска. Джерело та детектор були розміщені спиною до спиною, а оптичний шлях складений навколо циліндра від одного до іншого. Вбудовані об'єкти Zemax використовувались для моделювання всіх оптичних елементів, включаючи нитку розжарення, СРС та дзеркала. Для багаторазового моделювання цієї конструкції (тобто з мінімальними різницями між променями трасування променів із різними насінням генератора випадкових чисел) з використанням не послідовного відстеження променів потрібно 106 променів від джерела; для простоти на малюнку показано лише 100 «будівельних променів». Для відбивної здатності поверхні зо-

лота була використана консервативна оцінка 95%, однак для простоти ми припустили, що в клітині відсутнє розсіяння. Ми також не робили спроб кількісно оцінити ефект лінії з'єднання між двома половинками розкладачки, що, як очікувалося, матиме сильний ефект розсіювання.

Дизайн експортувався із Zemax за допомогою вбудованих об'єктів Zemax, які потім були перетворені в 3D-механічну конструкцію, що заповнює простір, з різними конструктивними елементами, включаючи заголовок, на який встановлені лампочка та детектор. Цю конструкцію було повторно імпортовано до Zemax та перемодельовано для підтвердження того, що процес механічного проектування не вплинув на оптичну конструкцію, а також що допуски на поверхневу САПР були достатніми. Результатом було незначне (на 2%) зменшення частки світла, що падає на детектор.

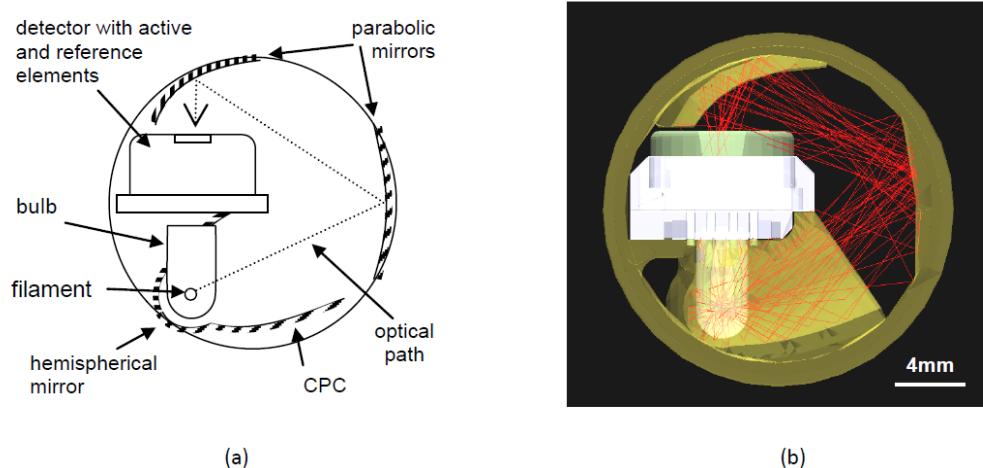


Рисунок 2.3 – Конструкція датчика, вид зверху. (а) Схематичне креслення лінії, (б) знімок екрана Zemax збірки САПР, показаний зі 100 будівельними променями та двоелементним піроелектричним детектором. Нитка розжарювання спрямована вертикально на сторінку, а активні та опорні елементи детектора розташовані вздовж лінії

2.4 Ефективність світла NDIR сенсорах

Загальну частку світла, що падає на кожен детекторний елемент, оцінювали методом трасування променів. Ми не враховували втрати в детекторі або відбиття від детекторних фільтрів, оскільки вони враховуються у даних виробників, що визначає передачу фільтра, а також чутливість детектора від-

повідно до інтенсивності світла на зовнішній апертурі. Потрібно було зробити ряд дизайнерських компромісів, перелічених нижче, які зменшили ефективність світла від того, що було досяжним в іншому випадку.

(I) Положення нитки було змінено емпірично (злегка переміщаючи її вперед), щоб забезпечити кращу толерантність до руху нитки вперед або назад. Це призвело до зниження ефективності збору, оскільки нитка розжарення вже не була точно на вході в КПК.

(II) Мікроламба була вставлена в СРС через отвір, що призвело до появи ділянки, яка більше не могла відображати світло в оптичному тракті. Положення отвору було змінено, щоб полегшити виготовлення, що знизило ефективність передачі СРС.

(III) Лампочка та детектор були розташовані на заголовку, який також забезпечував їх електричні контакти. Фізичний розмір заголовка представляв значну тінь в оптичному тракті, видному на малюнку 3, де заголовок виступає крізь СРС.

(IV) Як зазначалося вище, для ідеально рівномірного розподілу світла по детектору існує мінімум 40% втрат світла через те, що потрапляє між двома елементами.

(V) Використання золотого покриття з відбивною здатністю 95% призвело до 15% пропорційного зменшення загального зібраного світла в промінній моделі, з 4,7% до 4,0% на кожен елемент детектора.

Ці втрати зменшили пропускну здатність до $6,5 \text{ см}^2 \times 4\% = 0,26 \text{ мм}^2$ на елемент детектора, або загалом $0,52 \text{ мм}^2$. Остаточні кути прийняття, розраховані для стандартного детектора з моделі raytrace, становили приблизно $\pm 25^\circ$ (вид зверху) та $\pm 17^\circ$ (вид збоку). Те, що ми не змогли досягти збору світла за повного потенційного поля зору детектора, пояснюється загальними обмеженнями простору пристрою. Однак є певна перевага у обмеженому діапазоні кутів: ми воліємо мати якомога більше світла, зосередженого у вузькому конусі навколо нормального падіння. Фільтри перешкод, що використовуються в комплекті детектора, розроблені для нормальної частоти падіння; позаосні промені в іншому випадку сприяли б зміщенню центральної довжини хвилі смуги пропускання, і їх кутовий розподіл призвів би до розширення смуги пропускання.

Подальші ефекти зменшать оптичну ефективність реальних пристроїв. По-перше, на справжніх золотих поверхнях може спостерігатися деяке роз-

сіювання, спричинене дефектами формування, залишковими обробними лініями на прес-формах або розсіяним пилом. Очікується, що таке розсіювання переважно відведе світло від передбачуваного оптичного шляху. По-друге, конструкція вимагає зварювальної лінії між двома половинками оболонки молюска, що формуються литтям під тиском.

Оцінка довжини шляху оптичного випромінювання

Оптичний шлях був виведений з інформації про простежені промені, збережені Zemax у текстовий файл, включаючи місце розташування, довжину та відносну інтенсивність сегмента кожного променя, а також коди для ідентифікації об'єктів, від яких промінь відбивався або передавався. Кількість променів, які може зберегти Zemax, обмежена 10000. Можна було націлити лише на промені, які впали на той чи інший елемент детектора, даючи загальну пробу 20000 променів.

Отриманий таким чином текстовий файл було проаналізовано за допомогою програми Mathcad [29], написаної спеціально для цієї мети. Програма визначила сегменти променя, які можуть зіткнутися з газом, і підсумувала їх довжину вздовж променя. Наприклад, промінь, що проходить від нитки розжарювання через порожнину колби, не буде зустрічати жодного газу в камері, поки він не покине скляну оболонку колби. Багато променів згодом пройшли назад через порожнину колби та / або скляну оболонку.

Після розрахунку загальної ефективної довжини та відносної інтенсивності кожного променя була побудована функція розподілу ймовірностей, показана на рис.2.4. Середня ефективна довжина шляху була розрахована на 32 мм. На рис.2.4 показано дві пари піків у розподілі довжини шляху, центри яких розділені приблизно на 1,7 мм, при цьому пік довшої довжини шляху трохи ширший. Це пояснюється використанням напівсферичного відбивача позаду джерела, який знаходився на відстані 0,5 мм від огинаючої колби в найближчій точці, як правило, додаючи додаткову довжину шляху 1,4-1,5 мм. Вважається, що друга, набагато менша пара піків демонструє більш сильно перекошені промені, в обох випадках зазвичай вражаючи півсферичний відбивач.

Пік 30,4 мм складається в основному з променів, відбитих 3 рази, від СРС, правого дзеркала і верхнього дзеркала (на рис.2.3 (а)), з невеликою кількістю променів, які були спрямовані вперед і не потрапляли в СРС. Другий пік на 32,3 мм складається переважно з променів, які спочатку вразили півс-

феричне дзеркало, а потім виявили подібну поведінку, загалом із 4 відбиттями. Решта піки на 35,0 мм і 36,4 мм також складаються в основному з променів, що мають в цілому 4 відбиття.

Довжина шляху близько 30 мм не є нетиповою для пристроїв такого розміру [8,9]. Для вимірювання слідової концентрації вуглекислого газу бажано мати якомога довшу довжину шляху. Однак багато датчиків CO₂ повинні працювати в широкому динамічному діапазоні, щоб вимірювати концентрації до

100%, наприклад, у програмах управління процесами. Нелінійність, властива таким пристроям, що впливає з рівняння (2.2), обмежує роздільну здатність при високих концентраціях у поєднанні з шумом детектора. Пристрої з більшою довжиною шляху можуть досягти рівня насичення, якщо використовувати їх при більш високих концентраціях. Високий ступінь нелінійності виявляється в експериментальних результатах для пристрою, показаних на рис.2.4.

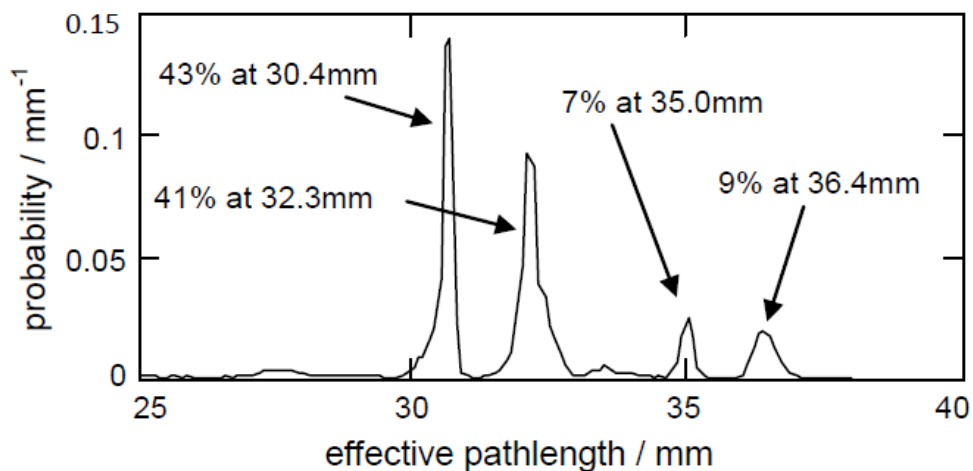


Рисунок 2.4 – Функція розподілу ймовірностей ефективних довжин пробігів для датчика NDIR, змодельована Zemax [26]

Конструкція NDIR сенсора

Описана вище оптична конструкція була експортована із Zemax як модель автоматизованого проектування (CAD), яка використовувалася для виготовлення інструмента для лиття під тиском, призначеного для об'ємного виробництва. З цього термопластичні деталі, що формуються литтям під тис-

ком, були створені як дві половини конструкції оболонки молюска та покриті золотом для середнього ІЧ-відбиття. На рисунку 5 представлена розібрана схема конструкції датчика. Дві половини, що визначають оптичний шлях, були з'єднані між собою під час виготовлення, щоб закрити джерело та детектор. У верхній частині циліндра (поза оптичним трактом) були розташовані ряд отворів і пиловий фільтр, що дозволяє зразку газу дифундувати на весь корпус датчика. Внизу була друкована плата (друкована плата) із з'єднувальними штифтами.

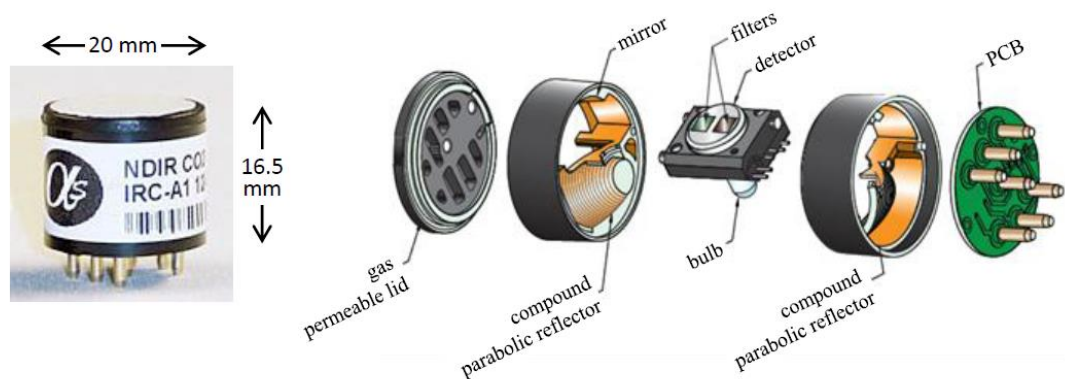


Рисунок 2.5 – Фотографія та розібрана схема виготовленого пристрою датчика NDIR, що показує дві симетричні оптичні деталі із золотим покриттям, які визначали оптичний шлях.

Оскільки перші пристрої із стандартним виробничим інструментом для лиття під тиском, первинне оптичне тестування було репрезентативним для остаточних датчиків, виготовлених як виготовлені. Експериментальні випробування, представлені тут, проводились із використанням стандартних компонентів, а саме мікролампи (Gilway 1600) та піроелектричного детектора з неохолоджуванним елементом (Перкін Елмер PYS3228).

2.5 Експериментальні результати

2.5.1 Оптична та електронна характеристика

Для вимірювання кількості світла, зібраного на детекторі, мікролампу спочатку модулювали на частоті 1 Гц з квадратною хвилею 0-5 В. Частоту модуляції 1 Гц було обрано, оскільки детектори були охарактеризовані на цій частоті виробником. Детектор, який включає внутрішній підсилювач на ос-

нові транзистора, був керований джерелом живлення 5 В. Ефективну середньоквадратичну напругу детектували за допомогою блокувального підсилювача (Stanford SR850) окремо на опорному та активному каналах.

Виробник зазначає, що чутливість детектора становить $3,5 \times 10^3$ В/Вт (типовий показник) для нефільтрованих елементів детектора на частоті 1 Гц, що визначається рівнем світла, що падає в місці фільтра. Це дає середньоквадратичну модульовану інтенсивність на елементі детектора 13 мкВт (опорний канал), що передається через еталонний смуговий фільтр із типовою смугою пропускання ШВМ 0,10 мкм і піковою передачею 80%.

Шум детектора вимірювали за допомогою аналізатора спектра ШПФ (Stanford SR780) і виявили, що він приблизно рівний в діапазоні від 0,2 - 12,5 Гц. Обидва канали демонстрували шум детектора в цій частотній області приблизно $1,25 \text{ мкВ Гц}^{-1/2}$. Дотримуючись рівняння (2.6), це призвело б до комбінованого шуму детектора $1,8 \text{ мкВ Гц}^{-1/2}$, якщо нульові показники були встановлені з незначним шумом (протягом більш тривалого періоду часу), або $2,5 \text{ мкВ Гц}^{-1/2}$, якщо вони були встановлені з однаковими рівнями шуму, як і фактичні вимірювання. Модулюючи наше джерело світла на частоті 2 Гц (як в тестах пристроїв нижче), ми реєстрували середньоквадратичні сигнали 20 мВ, тому, якщо загальний шум датчика був обмеженим, шум детектора ми б побачили найкращий варіант $NEA 1,3 \times 10^{-4} \text{ Гц}^{-1/2}$.

2.5.2 Газова реакція та межа виявлення

Датчик був протестований за допомогою експериментальної конфігурації, показаної на рис.2.6. Для цих тестів ми використовували частоту модуляції 2 Гц, яка рекомендована для використовуваного пристрою, керуючи мікролампюю з піковою піковою хвилею 0-5 В через генератор сигналів (Стенфорд DS345). На рис.2.7 показано типовий записаний слід. Лабораторне джерело живлення (Weir 413D) забезпечило джерелом живлення 0-5 В для попередніх підсилювачів детектора, і сигнали відновлювались з кожного каналу за допомогою підсилювача, що замикається (Stanford SR850). Блокування були підібрані з однаковими налаштуваннями (константа часу 10 с, відкат 24 дБ/октава), що дало кожному еквівалентну смугу пропускання (ENBW) 7,8 мГц. Постійна часу замикання $\tau = 10$ с відповідає часу відгуку, щоб досягти

90% від кінцевого значення (t_{90}) 23 с, припускаючи тимчасовий відгук у формі $1 - \exp(-t/\tau)$.

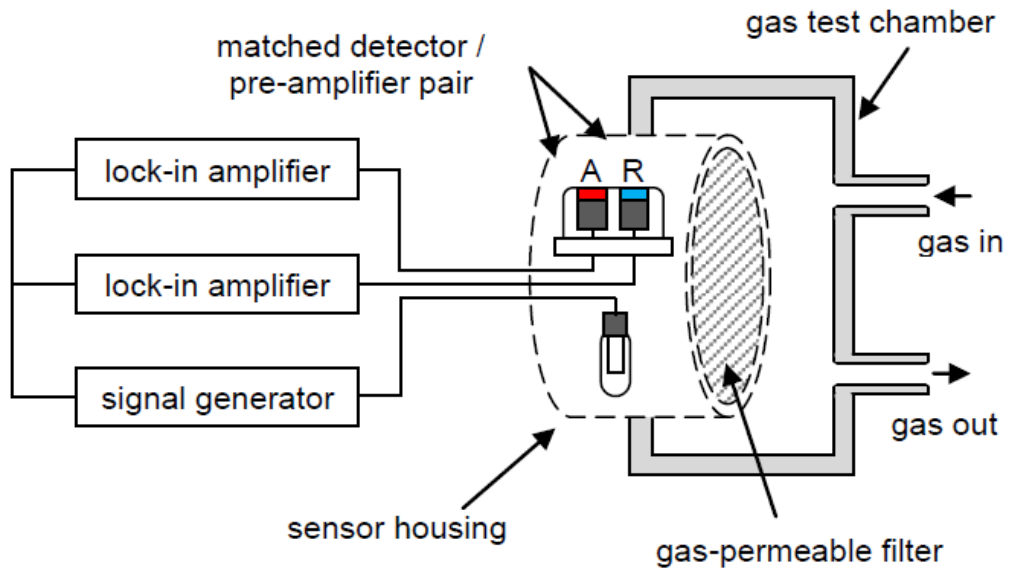


Рисунок 2.6 – Схематична конфігурація для тестування датчиків із використанням блокуючих підсилювачів (без масштабу) Оптичну конфігурацію сенсорної комірки див. рис.2.3. А та R відносяться до активного та опорного каналів відповідно

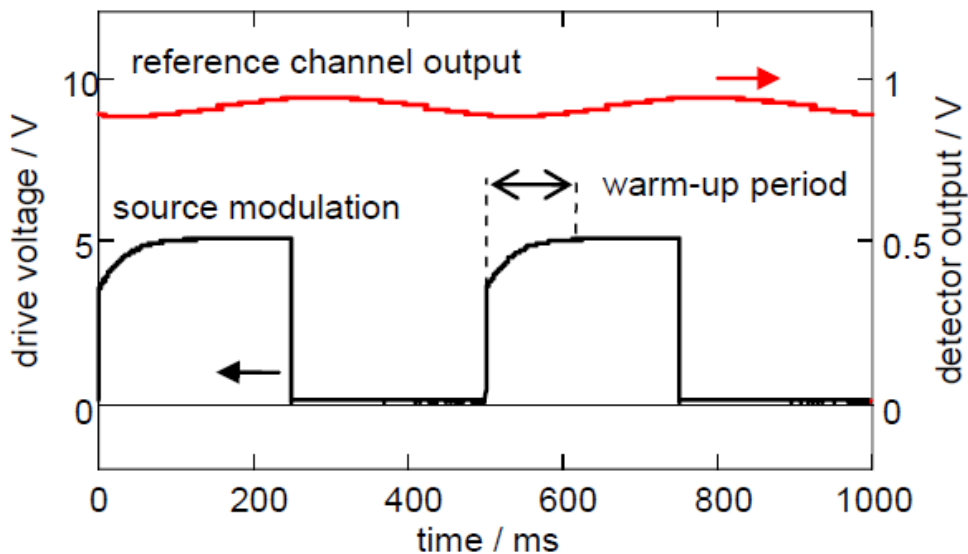


Рисунок 2.7 – Трасування сигналу та модуляція джерела, безпосередньо записані за допомогою цифрового осцилографа. Верхній трас: вихід детектора (опорний канал показаний лише для наочності), нижній трас: напруга приво-ду джерела

Випробувальні гази подавались із сертифікованих балонів (спеціальні гази Скотта) з концентрацією CO_2 0 ppm (+1/-0, НС і повітря без CO_2), 2006 ppm (± 1 ppm) CO_2 у повітрі та 19,9% (199 000 ppm) CO_2 в повітрі. Тут "повітря" означає синтетичну суміш азоту та кисню без будь-якого рівня CO_2 (навоколишнє повітря містить фон близько 380 ppm CO_2). Газ з балонів подавався в банк регуляторів масового потоку (Teledyne Hastings HFC-302 з контролером THPS-400) з діапазоном (i) 0-1000 $\text{cm}^3/\text{хв}$, (ii) 0-1000 $\text{cm}^3/\text{хв}$, (iii) 0-100 $\text{cm}^3/\text{хв}$ та (iv) 0-10 $\text{cm}^3/\text{хв}$. Ця система використовувалась для регулювання швидкості потоку з двох балонів, при змішуванні за течією генерувала серію сумішей різної концентрації в діапазоні 0-2006 ppm CO_2 у повітрі або 0-19.9% CO_2 у повітрі. Для кожної застосованої зміни концентрації застосовано загалом 3 хвилини для пропуску газу по сполучній трубопроводі, дифузії в камеру та відстоювання заблокованих підсилювачів перед початком зчитування. На кожному етапі концентрації одночасно реєстрували сигнали з активного та опорного каналів, а нормований сигнал S обчислювали за рівнянням (2.6). Значення I_{OR} та I_{OA} , які використовувались для нормалізації вимірювань, встановлювали однаково, подаючи нуль повітря (вільного від CO_2) у випробувальну камеру перед кожним вимірюванням газу та знову зчитуючи показники одночасно на обох каналах.

Результати показані на рис.2.8 і демонструють характерну нелінійність, що впливає з рівняння (2.2) при високих концентраціях. При низьких концентраціях (нижче приблизно 500 ppm) реакція є лінійною і може бути використана для оцінки межі виявлення. Короткотермінове поглинання шумового еквівалента (NEA) для датчика було оцінено як 3×10^{-5} AU за результатами аналізу нульової стійкості (див. рис.2.9), еквівалентне 3×10^{-4} Гц^{-1/2}. Коротка екстраполяція наших даних у лінійній області призводить до оцінки межі виявлення приблизно 1 ppm.

Ця оцінка невизначеності вимірювань приблизно в 3 рази гірша, ніж у випадку, якщо датчик був би суто обмежений шумом детектора, і це передбачає наявність інших факторів. Дійсно, за нашим досвідом, ефективність датчика змінюється з часом. Для кількісної оцінки цього ефекту ми провели вимірювання нульової базової лінії датчика протягом приблизно 60 годин (протягом вихідних, коли лабораторія не була зайнята), протягом цього часу через тест-камеру з низькою швидкістю пропускали нульове повітря (без CO_2) (100 куб/Хв).

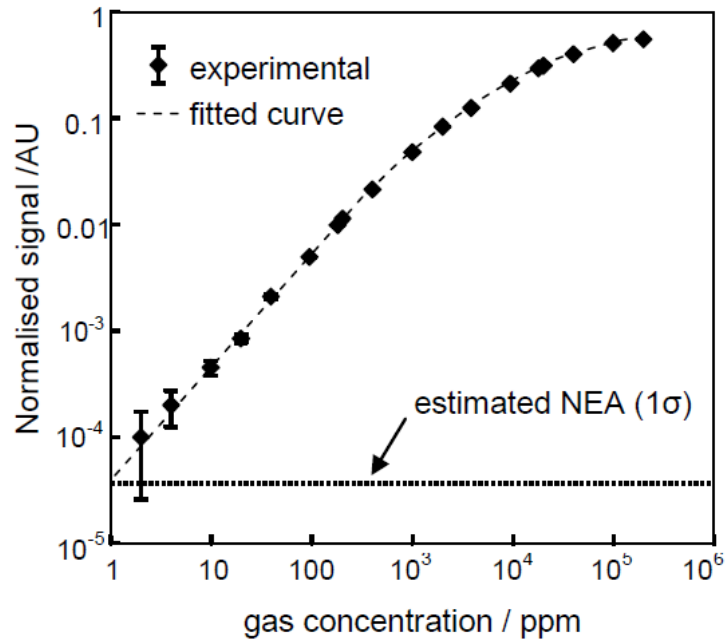


Рисунок 2.8 – Нормалізований сигнал (S згідно з рівнянням (6)) як функція концентрації газу в діапазоні 0-200 000 ppm (0-20% об.). Оцінений шум передбачає межу виявлення приблизно 1 ppm

Результати представлені у вигляді часових рядів на рис.2.9 і вказують на деякі масштабні зміни в S , які ми приписуємо змінам температури в лабораторії протягом періоду (лабораторія не мала контролю температури).

Використовуючи ці дані, ми склали графік відхилення Аллана для S згідно методу, встановленого Werle та співавт. [30] (відхилення Аллана σ є квадратним коренем дисперсії Аллана σ^2). Середні зміни σ як функції періоду усереднення показані на рисунку 10 і показують, що для періодів інтегрування перших декількох хвилин межа виявлення (1σ) залишається приблизно 3×10^{-5} AU. Протягом більш тривалих періодів у роботі датчика переважає дрейф. Ми вважаємо, що це в першу чергу результат температурних змін (ми не застосовували температурну компенсацію під час цього тесту), що спричиняють зміни в базовій роботі детектора. Наприклад, це може бути спричинено недосконалим збігом між елементами виявлення та еталоном. Відхилення Аллана досягає максимального значення близько 3×10^{-4} а.е., що відповідає 10 ppm CO₂, що в 10 разів гірше, ніж короткочасна межа виявлення.

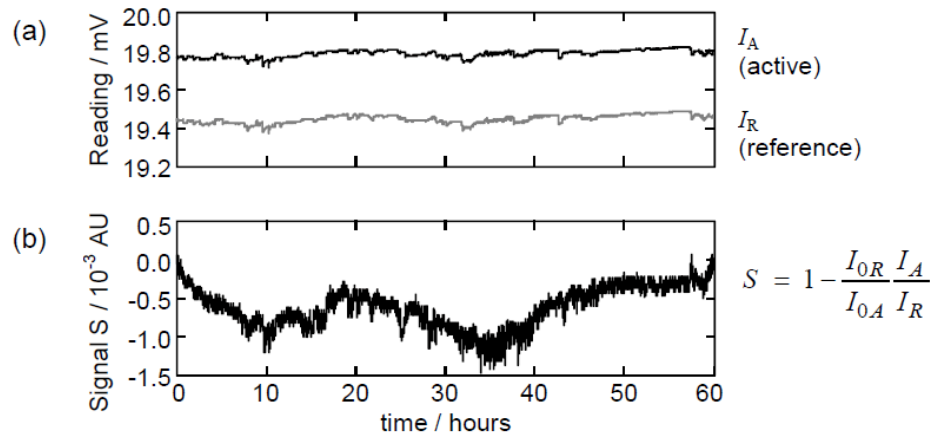


Рисунок 2.9 – (а) Демодульована напруга часових рядів від активного та опорного каналів, що реагують на нульове повітря протягом 60 годин. (б) Результат дрейфу в S (рівняння (6)), обчислений з (а), приймаючи I_{0A} та I_{0R} в момент часу $t = 0$

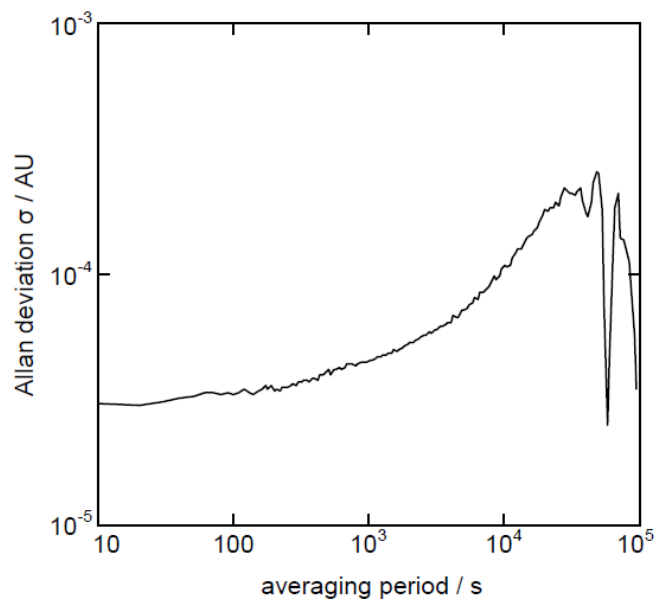


Рисунок 2.10 – Відхилення Аллана, розраховане з використанням даних, отриманих для S на рис.2.9

Датчик також був протестований з використанням власної електроніки Alphasense для керування джерелом та відновлення сигналів від двох елементів детекторів. Тут частота приводу становила 2,25 Гц, а джерело знову модулювалося квадратною хвилею з висотою піку до піку 5 В. Відновлення сигналу в цьому експерименті не передбачало використання блокувального підсилювача, проте використовувало аналогічну постійну часу ($t_{90} = 40$ с). (Зверніть увагу, що застосований вище підсилювач з обмеженим вибором

констант часу, тому нам не вдалося вибрати точно порівнянні значення t_{90} .) Електроніка розроблена для зменшення сприйнятливості до певних ефектів дрейфу у джерела, затримуючи сигнал відновлення до кінця кожного циклу, щоб на нього не впливали зміни часу розігріву, показано на рис.2.7. Після періоду прогріву в межах кожного циклу модуляції проводиться серія вимірювань сигналу. Електроніка та подальша обробка сигналів також забезпечує температурну компенсацію ефектів дрейфу, що спостерігаються на рис.2.9.

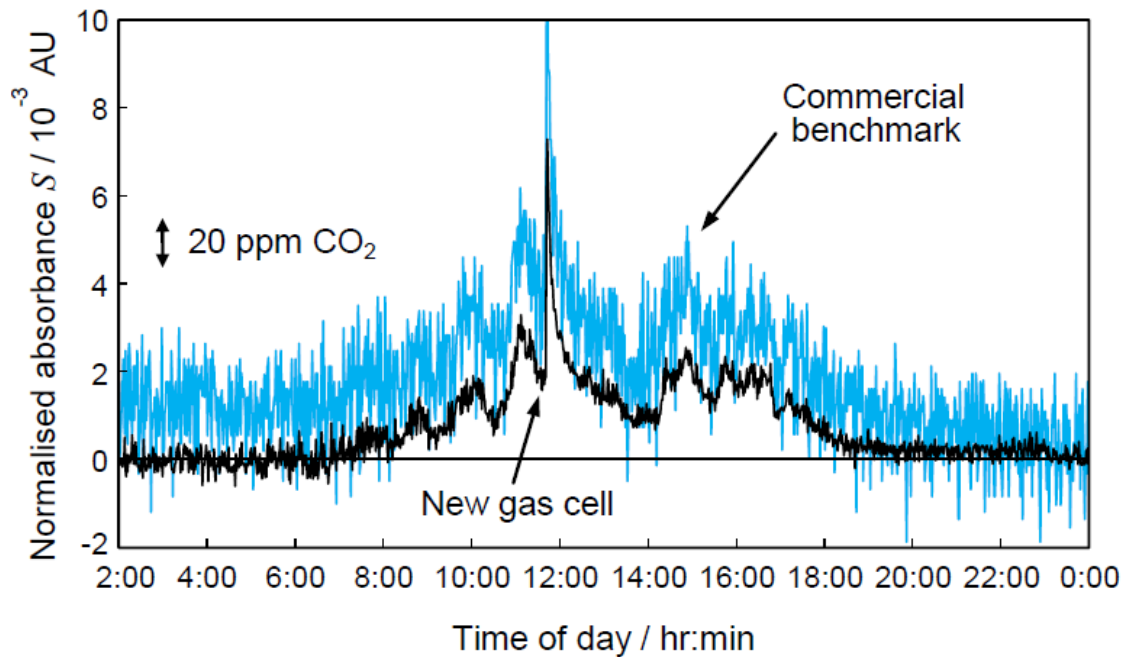


Рисунок 2.11 – Сигнали часових рядів S протягом однієї доби, виміряні в лабораторії (відхилення від рівня фону). Наш пристрій порівнюють із еталонним датчиком, провідним комерційним датчиком CO_2 того самого формату. Обидва датчики були обнулені о 02:00 в атмосферному повітрі

Ефективність пристрою в режимі реального часу вимірювання CO_2 з датчиком NDIR з однаковими зовнішніми розмірами, який є провідним комерційним пристроєм. І еталон, і розглянутий датчик використовують однакові компоненти, а саме мікролампку та двоелементний детектор, описані вище. Обидва пристрої залишали в лабораторних умовах і вимірювали навколишнє повітря протягом однієї доби. Результати показані на рис.2.11 і показують, що два пристрої давали схожу реакцію часового ряду, а також те, що наш новий пристрій демонстрував нижчий рівень шуму.

2.6 Висновки до розділу

Розглянуто та оцінено нову конструкцію газового датчика, засновану на принципі NDIR, у стандартному мініатюрному форматі для газових датчиків - циліндр із зовнішніми розмірами діаметром 20 мм x висотою 16,5 мм. Цей формат широко використовується, наприклад, у напівпровіднику з оксиду металу або електрохімічних приладах, однак така технологія в даний час не може надійно виявляти CO₂ при концентраціях на мільйон. Розглянута конструкція приділяє особливу увагу питанням підтримки належної оптичної довжини шляху, а також високої оптичної пропускну здатності. На сьогоднішній день мало повідомлень про аналіз цих проблем для пристроїв NDIR у стандартному мініатюрному форматі.

Усередині датчика розташовані двоелементний детектор з балончиком TO-5 діаметром 9 мм і джерело світла з мікроскопом лампи розжарювання. Було підраховано за допомогою програмного забезпечення для трасування променів, що 4% випроміненого світла досягало кожного з двох детекторних елементів із загальною пропускну здатністю 0,26 мм² на елемент детектора. Програмне забезпечення для трасування променів не могло врахувати розсіювання всередині комірки та ефект лінії з'єднання між двома оптичними частинами; очікується, що обидва вони знизять ефективність. Тим не менше, розрахунки показали, що отримана середньоквадратична потужність модульованого світла на частоті 1 Гц має амплітуду 13 мкВт після проходження через стандартний еталонний смуговий фільтр (FWHM 0,10 мкм, 3,95 мкм центр, 80% передача).

Датчик найчастіше налаштований для виявлення вуглекислого газу за допомогою двоелементного детектора. Детектор інтегрує відповідні елементи фотодетектора з смуговими фільтрами, один із яких зосереджений на смузі поглинання CO₂ при 4,2 мкм, а інший - на непоглинаючій опорній смузі при 3,95 мкм. Оптична довжина шляху для клітини була оцінена в 32 мм за допомогою програмного забезпечення для трасування променів, яке є достатнім для додатків, що вимагають вимірювання концентрації в широкому динамічному діапазоні, від низьких рівнів проміле до 20 об.%. Продемонстровано короткочасну концентрацію виявлення еквівалентного шуму 1 ppm CO₂ (1σ), еквівалентну NEA 3 x 10⁻⁵ а.е. Пристрій було запатентовано [31] та комерціалізовано як Alphasense IRC-A1, коли налаштовано для вимірювання

вуглекислого газу [32], із заданою нульовою повторюваністю в діапазоні умов ± 10 ppm CO₂.

Висока оптична ефективність пропонує ряд потенційних переваг для пристроїв цього типу. Високе відношення сигнал / шум забезпечує низьку межу виявлення, допомагаючи подолати шум детектора та базовий зсув при використанні неохладжених піроелектричних детекторів, які є стандартними компонентами для цього застосування. Крім того, можна зробити два компроміси для забезпечення адекватної продуктивності в чутливих до ціни або енергочутливих додатках. По-перше, можна використовувати пристрій з неохолоджуваними термоелектричними детекторами, які, як правило, мають більш високий рівень шуму, ніж їх піроелектричні аналоги [7], але є менш дорогими. По-друге, мікролампочка може працювати при меншій напрузі приводу (2 В, а не 5 В), зі зниженою інтенсивністю випромінювання, але покращеною стабільністю вихідної сили лампи, тривалістю життя та енергоспоживанням. Високе відношення сигнал / шум може компенсувати підвищений рівень шуму за цих обставин.

3 РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДІОКСИНУ ВУГЛЕЦЮ

Структура газоаналізатора залежить від багатьох факторів. Це, насамперед, метод вимірювання концентрації газу та принцип дії датчика, який перетворює концентрацію газу в деякий інформативний параметр. Здебільшого це вихідний опір, вихідна напруга, ємність, тобто параметри аналогові. Але, наприклад, для вимірювання температури сучасні фірми-лідери випускають навіть датчики в єдиній невеликій конструкції, яка передає інформацію про температуру одразу в цифровому послідовному коді. Вибір датчика, інших елементів та розробка конкретної структури газоаналізатора проведена в наступних пунктах.

3.1 Якість повітря в приміщеннях

Якість повітря в приміщеннях житлових і громадських будівель забезпечується необхідний рівень вентиляції, що підтримує допустимі значення вмісту вуглекислого газу в приміщеннях. У Росії діє міждержавний стандарт ГОСТ 30494-2011 «Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях », в якому вказані чотири класи приміщень, в залежності від обсягу вуглекислого газу, виміряного в см^3 в 1 м^3 повітря.

- 1 клас - Висока якість повітря - 400 см^3 і менше.
- 2 клас - Середня якість повітря - $400-600 \text{ см}^3$.
- 3 клас - Допустиме якість повітря - $600-1000 \text{ см}^3$.
- 4 клас - Низька якість повітря - 1000 см^3 і більше.

У міжнародній практиці прийнято вимірювати концентрацію вуглекислого газу в «ppm» (partspermillion - частин на мільйон). Тобто 1 ppm - це одна мільйонна частка. Концентрація CO_2 в 1 ppm означає, що в 1 м^3 повітря міститься 1 см^3 вуглекислого газу. Наприклад, на вулиці рівень CO_2 становить 350 ... 400 ppm

Рівень концентрації CO_2 в приміщенні служить основним показником якості повітря. Він виступає як індикатор, за яким можна судити не тільки про інших забруднювачі, а й про те, наскільки добре працює вентиляційна

система в будівлі. Дослідження вчених-екологів показують, що якщо в повітрі присутні, крім вуглекислого газу, леткі органічні сполуки і формальдегіди, то досить стежити тільки за CO₂. Якщо вентиляція справляється з ним, то інші забруднювачі також залишаються на низькому рівні. Більш того, по CO₂ можна судити і про кількість бактерій в повітрі. Чим більше вуглекислого газу, тим гірше справляється вентиляція і тим більше в повітрі різних бактерій і грибків. Особливо чітко це помітно взимку, коли інтенсивність вентиляції падає, а кількість респіраторних інфекцій зростає.

Рівні концентрації CO₂ і їх вплив на людину зображені на малюнку (Рис.3.1).

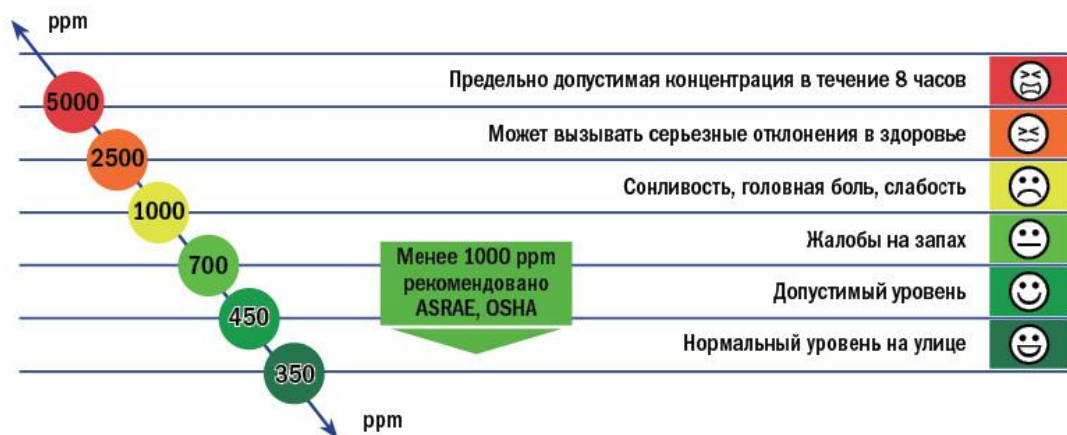


Рисунок 3.1 - Вплив концентрації CO₂ на людину

На рисунку: ASRAE - American Society_of_Heating, Refrigeratingand Air-Conditioning Engineers (Американське Товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря). OSHA – Occupational Safetyand Health Administration (Федеральне агентство США, яке регулює охорону праці). Як видно з рисунка дані українського і американського стандарту по мікроклімату в приміщенні практично збігаються.

3.2 Структурна схема пристрою

Розроблюваний мікроконтролерний пристрій вимірювального контролю рівня вуглекислого газу в приміщенні. Даний пристрій повинен проводити періодичні вимірювання концентрації вуглекислого газу в приміщенні з контролем рівня отриманого значення на РК-дисплеї. Пристрій аналізує отримане значення концентрації вуглекислого газу, класифікує його ступінь за трьома встановленими класами стану повітря («свіже повітря», «норма»,

«душно») і сигналізує про якість повітря світлодіодними індикаторами. Кожному класу якості повітря відповідає світлодіод певного кольору світіння: зелений - свіже повітря, жовтий - норма, червоний - душно. При цьому якщо пристрій визначив, що концентрація CO_2 в приміщенні перевищила значення «душно», то додатково до світлодіоду червоного кольору світіння включається переривчастий звуковий сигнал.

Загальна структура пристрою впливає з самого призначення пристрою, з дій, які він повинен виконувати. Оскільки пристрій повинен кількісно оцінити концентрацію газу та подати сигнал тривоги у випадку перевищення норми концентрації, виникає наступний порядок дій: сигнал, який надходить з датчика, необхідно проаналізувати та подати на індикатор та сигналізатор результати аналізу. Загальна структурна схема, яка відповідає такій послідовності роботи, наведена на рис. 3.2, та наведена в додатку Е.

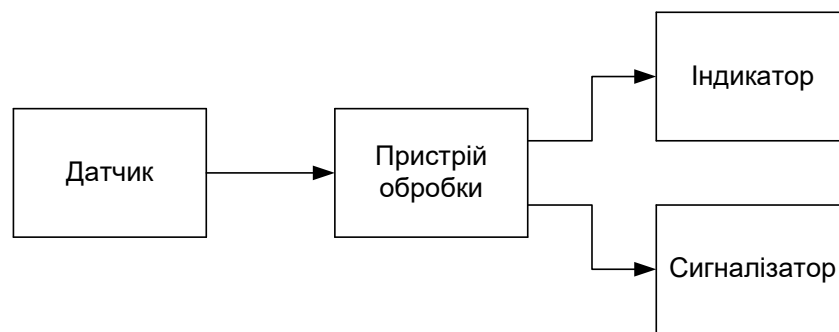


Рисунок 3.2 – Загальна структурна схема пристрою

Це лише загальна структура пристроїв даного типу. Конкретизувати її можна, наклавши певні умови на види перерахованих складових та сигналів.

Даний пристрій можна виготовити в аналоговому варіанті. В такому випадку індикатор буде магнітоелектричним стрілочним приладом, сигналізатор являтиме собою генератор НЧ (можна генератор НЧ, керований ще одним генератором інфранизьких частот чи ключем для переривчастого звуку), який буде запускатись сигналом з пристрою обробки. Пристрій обробки в даному разі буде містити перетворювач інформативного параметра датчика в напругу, підсилювач для нормальної роботи індикаторного пристрою та аналоговий компаратор з джерелом опорної напруги на одному з його входів для запуску сигналізатора в разі перевищення норми концентрації газу.

Варіант структурної схеми аналогового газоаналізатора показано на рис.3.3, та наведена в додатку Ж.

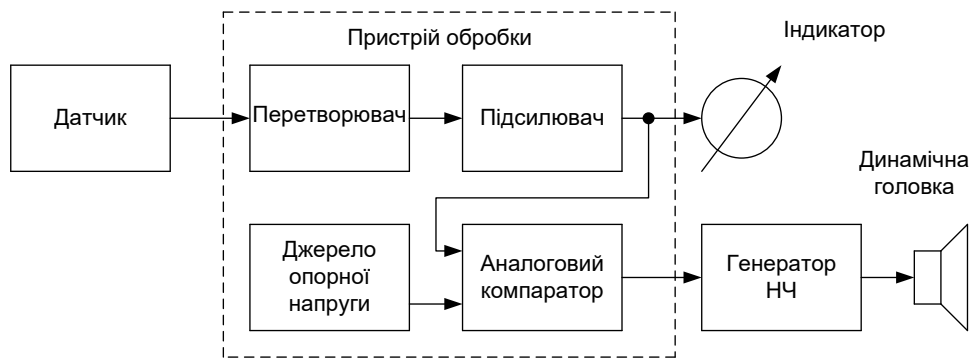


Рисунок 3.3 – Аналоговий варіант газоаналізатора

Дана робота присвячена розробці мікроконтролерного цифрового пристрою, тому щоб пристрій став цифровим, необхідно замінити аналоговий компаратор на цифровий; видалити джерело опорної напруги – замість нього подати на цифровий компаратор код порогу спрацювання сигналізації; замість стрілочного індикатора використати семисегментний або рідкокристалічний; замінити генератор НЧ на підсилювач в ключовому режимі – прямокутні імпульси, які будуть надходити на динамічну головку, багаті гармонічними складовими, тому звук буде октавного забарвлення. І головне, якщо датчик передає аналоговий сигнал, що і виконується в даній роботі, потрібен АЦП для перетворення цього сигналу в цифровий.

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що в якості пристрою обробки цифрового газоаналізатора доцільно використати мікроконтролер. По-перше, пристрій обробки в такому випадку буде складатись з єдиної мікросхеми – мікроконтролера, а крім нього до складу аналізатора будуть входити лише датчик, індикатор та динамічна головка з ключем; по-друге, мікроконтролер має в своєму складі розвинену периферію, з якої можна використати АЦП. Слід відмітити, що необхідність в апаратній реалізації цифрового компаратора в такому випадку відпаде: порівняння кодів буде здійснюватись програмно.

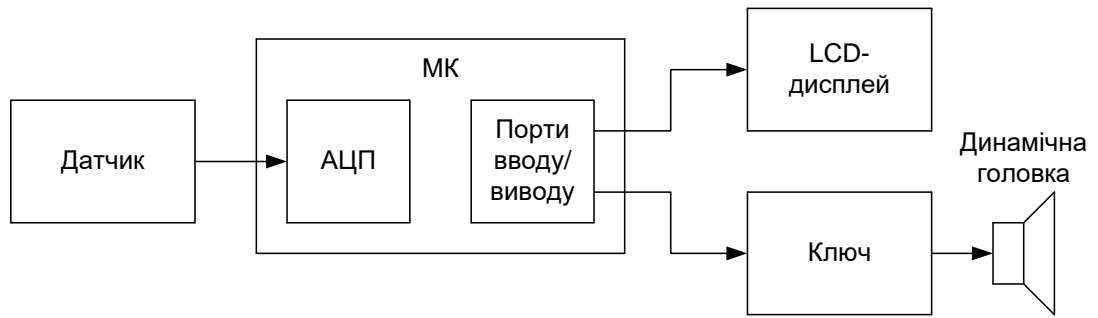


Рисунок 3.4 – Мікроконтролерний пристрій вимірювального контролю концентрації газу

На рис. 3.4 показаний варіант цифрового вимірювача концентрації газу з мікроконтролерним керуванням. Для індикації поточного рівня концентрації газу використовується LCD-дисплей. Слід відмітити, що у більшості мікроконтролерів до входу АЦП підключений мультиплексор на n входів (для восьмибітних МК – вісім). Це дає змогу розширити функціональність пристрою і підключити до мультиплексора n датчиків, та в процесі виконання програми опитувати їх по черзі. Але в такому разі доведеться їх і на індикаторі відображати послідовно, або використати індикатор більших розмірів. Багатоканальний цифровий газоаналізатор показано на рис. 3.5, та наведена в додатку Л.

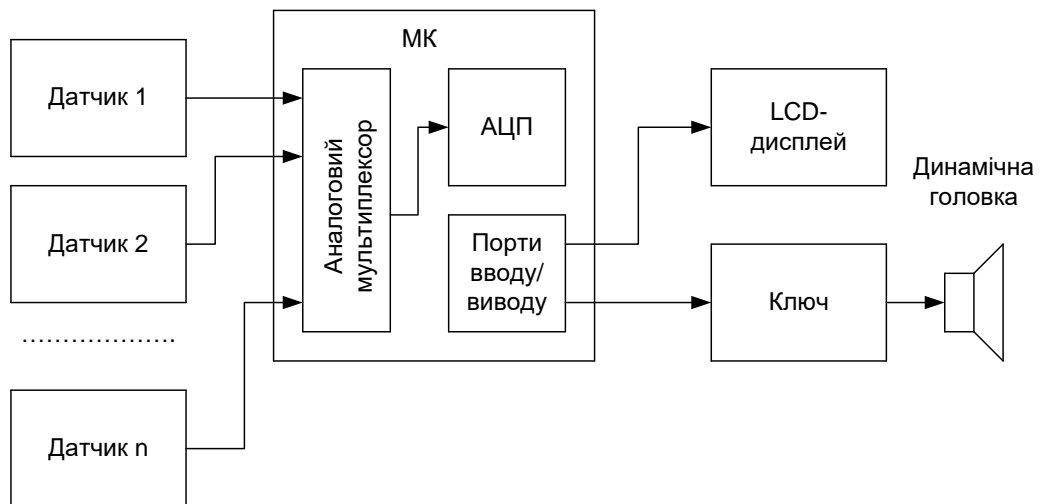


Рисунок 3.5 – Багатоканальний цифровий газоаналізатор

Крім вимірювання рівня CO_2 , пристрій також вимірює і відображає на РК-дисплеї ще два важливих кліматичних параметра: температуру і вологість повітря в приміщенні. Принципова схема багатоканальної системи вимірювання концентрації газу, що розробляється в даній магістерській кваліфіка-

ційній роботі, наведена на рисунку 3.6. Вона включає базовий блок та блоки датчиків, що зв'язані між собою та базовим блоком за допомогою послідовного інтерфейсу UART та I²C.

3.3 Вибір датчика концентрації газу

На сьогоднішній день промисловість випускає великий асортимент датчиків концентрації газу. На вибір одного з них для використання у даній розробці вплинули, в першу чергу, невисока вартість датчика, розповсюдженість його на ринку, невеликі габарити, маса та інші параметри. Необхідно обрати датчик, який реагує на CO₂.

Основним вимірювальним приладом пристрою є інфрачервоний датчик CO₂ MH-Z19B (рис.3.6). Датчик підключений до МК по UART (лінії RXD, TXD). Програма МК опитує датчик не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. У відповідь на запит концентрації CO₂ (команда 0x86) датчик посилає послідовно 9 байт, які записуються в буферний масив програми. 2-й і 3-й елементи масиву містять значення концентрації CO₂, останній елемент масиву містить контрольну суму. Згідно з документацією на датчик, потрібно близько трьох хвилин, щоб він вийшов на робочий режим. Перший час після включення він буде видавати неточні значення.

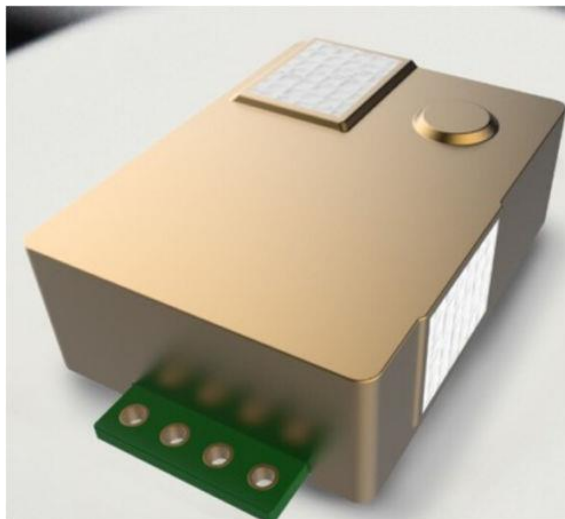


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд інфрачервоного датчика CO₂ MH-Z19B

Інфрачервоний газовий модуль MH-Z19 NDIR - це малогабаритний датчик, що використовує недисперсний інфрачервоний (NDIR) принцип для

вимірювання концентрації діоксиду вуглецю (CO_2) у повітрі, з хорошою селективністю, яка не залежить від концентрації кисню та з тривалим терміном служби. Вбудований датчик температури може виконувати компенсацію температури і він має цифровий вихід та аналоговий вихід напруги. Інфрачервоний газовий модуль MH-Z19 NDIR широко використовується в системах охолодження та кондиціонування повітря HVAC та контролю якості повітря в приміщеннях.

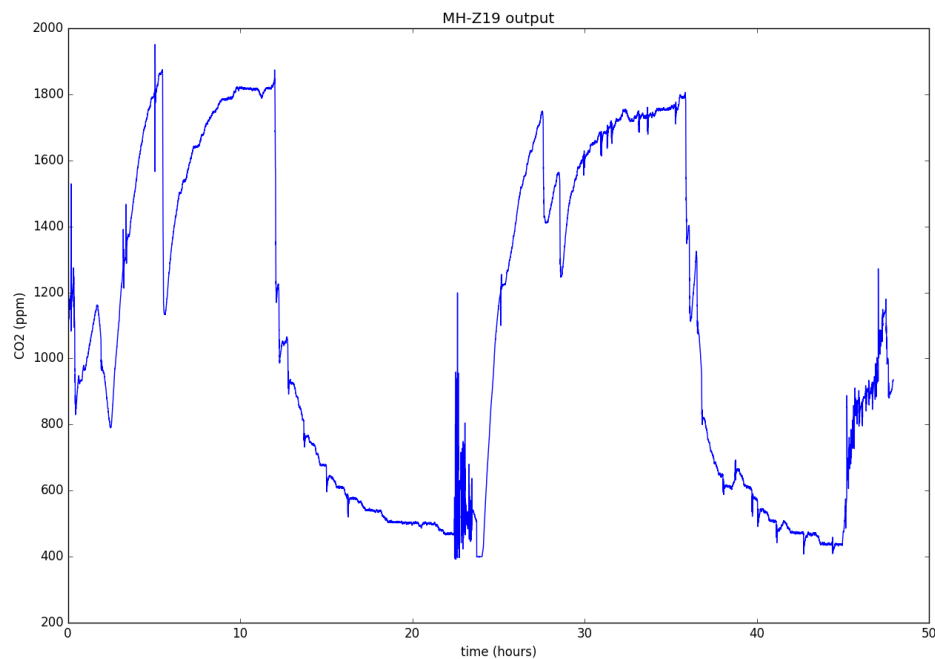


Рисунок 3.7 – Вихідні данні датчика

На відміну від старих датчиків CO_2 , MH-Z19 не вимагає специфічної напруги або високої потужності і передає вимірювальні дані через UART і PWM.

Nd - калібрування нуля почнеться, якщо на Nd більше 7 секунд подається рівень LOW. Калібрування проводити не потрібно.

SR - не використовується

Tx - рівень сигналу - 3.3В

Rx - теж 3.3В (працює і з 5 В)

Vo - вихідна напруга 3.3В, не більше 10 мА

PWM, дані знімаються наступним чином: довжина циклу 1004мс, перші 2 мс завжди HIGH, останні - завжди LOW, а «середина» пропорційна концентрації CO₂ в межах 0 - 5000ppm (а не 2000 ppm як в документації)

$$C_{ppm} = 2000(T_H - 2ms) / (T_H + T_L - 4ms), \quad (3.1)$$

де C_{ppm} – розрахована концентрація CO₂, одиниця вимірювання на мільйон;

T_H – час високого рівня під час вихідного циклу;

T_L – час низького рівня під час вихідного циклу.

V_{in} - напруга живлення 3,3 – 5,5В (сенсор працює і видає ті ж значення при живленні 3,3 В, але виробник рекомендує дотримуватися 3,3 В).

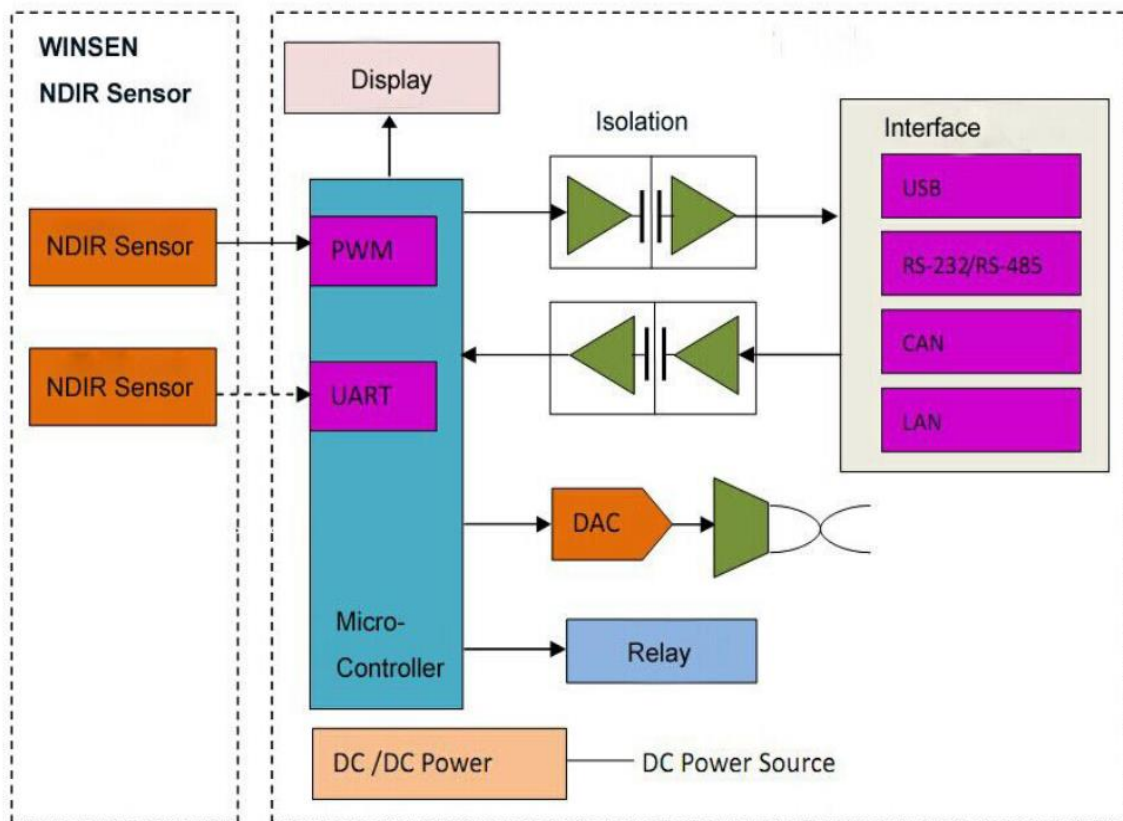


Рисунок 3.8 – Внутрішня будова MH-Z19

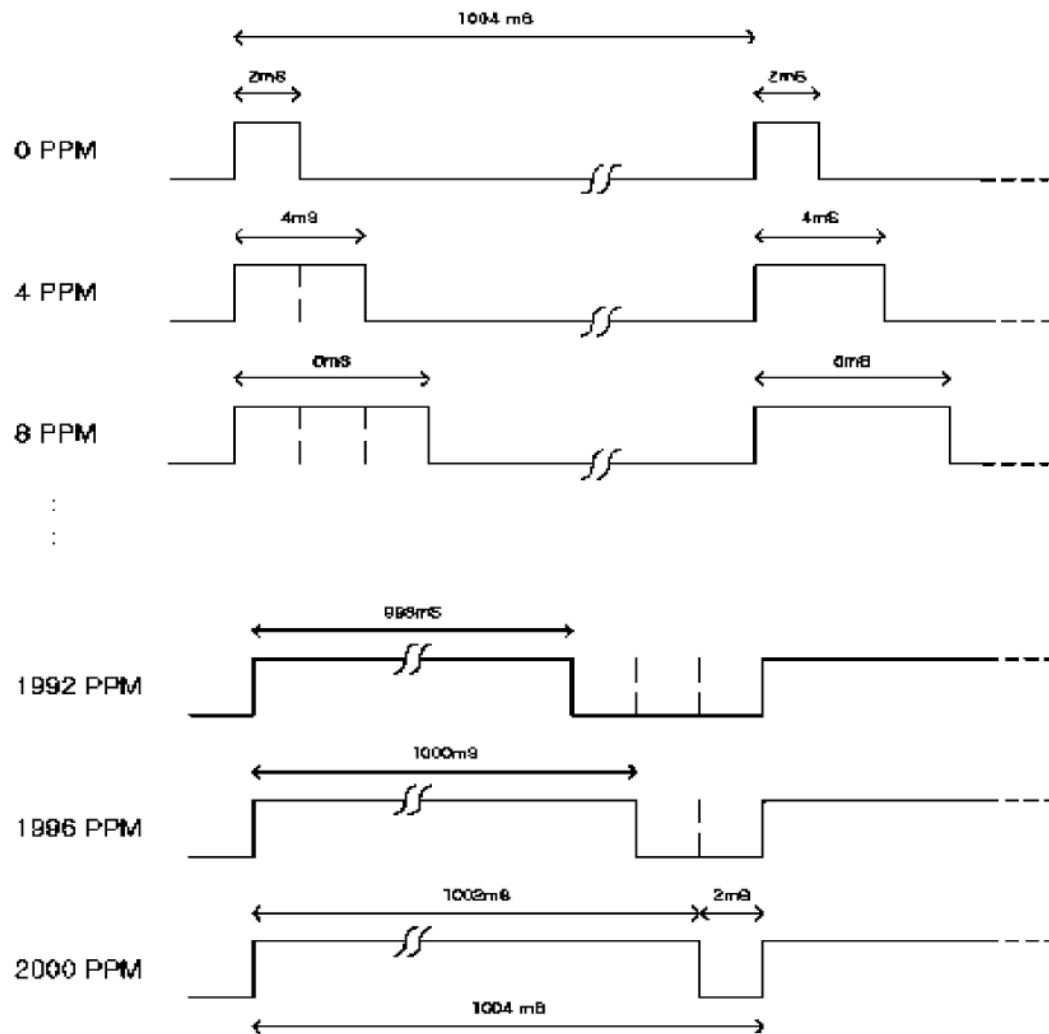


Рисунок 3.9 – PWM вихід MH-Z19

В нашому приладі ми будемо отримувати дані по UART, тобто в цифрі і з контрольною сумою. UART дозволяє отримувати рівень концентрації CO₂ і займатися двома видами калібрування. Калібрування в датчику відбувається автоматично, тому розглянемо передачу даних про вимірювану концентрацію. Для цього на швидкості 9600 (8 bit, stop - 1, parity - none) потрібно відправити наступні дев'ять байт:

- 0xFF - початок будь-якої команди
- 0x01 - перший сенсор (він всього один)
- 0x86 - команда
- 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 - дані
- 0x79 - контрольна сума.

У відповідь прийдуть наступні данні:

- 0xFF - початок будь-якої відповіді

- 0x86 - команда
- 0x01, 0xC1 - старше і молодше значення ($256 * 0x01 + 0xC1 = 449$)
- 0x3C, 0x04, 0x3C, 0xC1 - в документації сказано, що має приходити дані типу 0x47, 0x00, 0x00, 0x00.
- 0x7B - контрольна сума.

Контрольна сума вважається таким чином: беруться 7 байт відповіді (все крім першого і останнього), складаються, інвертується, збільшуються на 1: $0x86 + 0x01 \dots + 0xC1 = 0x85$, $0x85 \text{ xor } 0xFF = 0x7A$, $0x7A + 1 = 0x7B$.

Command List

0x86	Gas Concentration
0x87	Calibrate zero point (ZERO)
0x88	Calibrate span point (SPAN)

Gas concentration reading

Send command								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Starting byte	Sensor No.	command	-	-	-	-	-	Check value
0xFF	0x01	0x86	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x79

Рисунок 3.10 – Лістинг команд

Згідно з документацією сенсора потрібно близько трьох хвилин, щоб вийти на робочий режим. Перший час після включення він буде видавати або 5000 ppm, або 400 ppm.

Сенсор реагує на зміну концентрації CO₂ з затримкою близько хвилини. При перевищенні концентрації в 5000 ppm (наприклад, ви хвилину інтенсивно на нього дихали), він деякий час буде видавати помилкові дані, занижуючи рівень CO₂.

3.4 Вибір мікроконтролерів

Для використання у даному пристрої оберемо один з мікроконтролерів ATmega32 Atmel. Можна багато сказати про переваги мікроконтролерів даної фірми у порівнянні з іншими у швидкодії, архітектурі, системі команд та ін. Але головним чином вибір саме Atmel-мікроконтролера пов'язаний з осо-

бистим досвідом роботи з цими контролерами. До того ж фірма Atmel являється в даний момент світовим лідером з продажу восьмибітних мікроконтролерів.

Мікроконтролер ATmega32. Мікроконтролер являє собою 8-бітний RISC процесор, на базі AVR архітектури ядра процесора, що випускається фірмою Atmel. Мікроконтролер - основа, невід'ємна частина пристрою для вимірювання артеріального тиску, без якого неможлива реалізація пристрою в цілому. Мікроконтролер виконує програму, яка зберігається в його flash пам'яті, і у відповідності до неї проводить отримання/обробку/візуалізацію даних. ATmega32 містить досить широкий набір інтегральної периферії (контролер UART, SPI, JTAG, I2C), що дозволяє не використовувати додаткові мікросхеми, тим самим зменшити кількість необхідних комплектуючих, місце на друкованій платі, що позитивно відбивається на вартості комплектуючих. В реалізації даної системи, центральний контролер працює на частоті 16 МГц, що забезпечує зовнішній кварцовий резонатор. Основні параметри та вбудована периферія ATmega32:

- багатofункціональний, з малою напругою живлення 8-бітний AVR мікроконтролер;
впроваджена RISC архітектура забезпечує: 133 команд, які виконуються за один машинний цикл; 32 8-розрядних регістра загального призначення; виконання 16 мільйонів операцій процесора при частоті 16 МГц.
- енергонезалежна пам'ять даних і програм: 4 КБ flash-пам'яті програм з 10 000 циклів перезапису; широкий спектр Look Bits для обмеження доступу до Flash і EEPROM; 128КБ EEPROM з 100 000 циклів перезапису; 4 КБ внутрішнього SRAM.
- JTAG (сумісність з стандартом IEEE1149.1) інтерфейс: граничне сканування в відповідності до стандарту JTAG; розширена підтримка функцій вбудованої відладки; програмування flash-пам'яті, EEPROM, біт конфігурації і захисту через інтерфейс JTAG.
- Два 8-бітових Таймера/Лічильника з окремим подільником частоти, два розширених 16-розрядних Таймера/Лічильника з окремим подільником частоти, за реальний час відповідає окремий генератор, два 8-бітних каналами PWM, 6 каналів PWM с програмуємою роздільною здатністю від 2 до 16 бітів, 10-бітний аналого-цифровий перетворювач з 8 каналами, 8 асиметричних каналів, 7 диференціальних каналів. програмований послідовний USART, програмований сторожовий таймер

з програмованим генератором.

вбудований аналоговий компаратор та калібрований RC-генератор.

зовнішні і внутрішні джерела переривань.

- робоча напруга - 4,5 + 5,5 В.

Всі інші функціональні блоки підключені до мікроконтролера і працюють під його повним контролем.

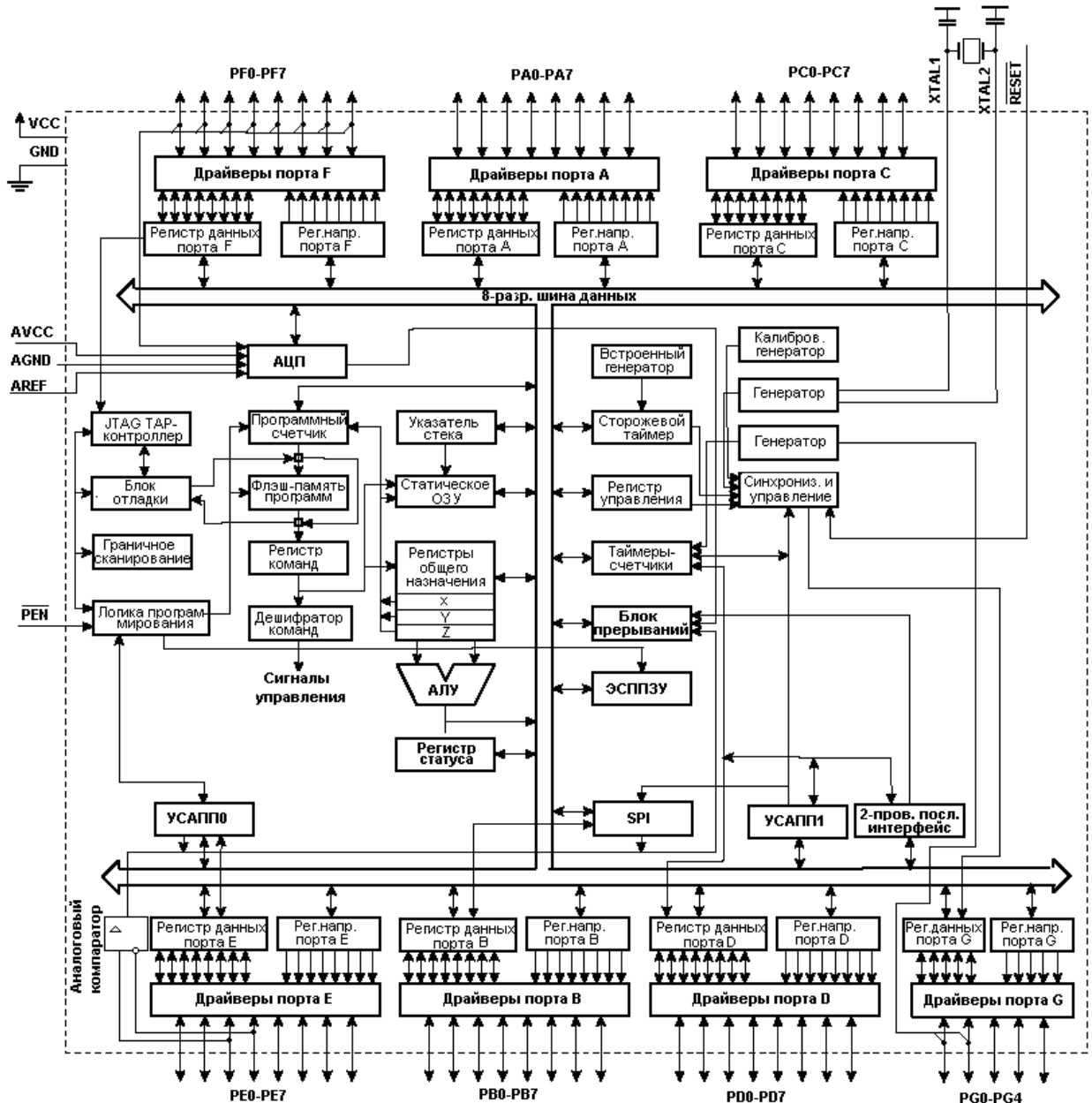


Рисунок 3.11 – Функціональна схема мікроконтролера ATmega 128.

3.5 Вибір LCD-дисплея

Щоб відображати інформацію про поточну концентрацію газу та перевищення норми концентрації, не потрібно великої площі дисплея. Оберемо символний дисплей WH1602, який представляє собою дві стрічки по шістнадцять символів – достатній для відображення необхідної кількості інформації. Це водночас мінімізує його вартість. Даний дисплей має у своєму складі мікроконтролер HD44780 для керування відображенням інформації. Код символу або команда керування передається до його пам'яті через чотирибітний паралельний порт, керування здійснюється трьома провідниками – команда/символ(RS), читання/запис (R/W), та дозвіл(E).

3.6 Опис послідовного інтерфейсу I²C

Перевагою послідовного інтерфейсу I²C є можливість передавати дані по локальній шині усього з двох ліній, оскільки адреса пристрою входить у посилку. По одній з ліній передаються дані, а друга служить для передачі синхросигналу. Кожна лінія «підтягнута» через резистор 1-10 кОм до потенціалу шини живлення.

Швидкість обміну по каналу I²C визначається частотою синхросигналу SCLOCK, що формує ведуче пристрій.

Передача починається стартовим бітом, що ідентифікується в тому випадку, коли на лінії даних має місце перехід "1" - "0", а лінія синхронізації має потенціал "1". За стартовим бітом ведуче пристрій посилає байт (у який першим впливає старший біт MSB), що містить адресу відомого пристрою і біт керування R/W#. Цей біт керує напрямком передачі: при R/W# = 0 ведуче пристрій буде записувати дані у відомий, а при R/W# = 1 буде читати.

Операція читання/запису буде мати місце, якщо буде отриманий правильний біт підтвердження від відомого пристрою. Усі відомі пристрої порівнюють послану ведучим пристроєм адресу зі своєю власною і пристрій, що визначив адресу як свою, посилає біт підтвердження. Біт підтвердження являє собою "0" під час 9-го імпульсу синхронізації і повинний посилатися відомим пристроєм наприкінці кожного байта обміну.

При відсутності біта підтвердження і наприкінці обміну ведучий пристрій формує умову «STOP». Цією умовою є перехід "0" - "1" на лінії даних при "1" на лінії синхронізації.

У мікроконтролері ATmega32 порт I²C забезпечує апаратну реалізацію режиму відомого та ведучого. Після включення живлення чи ініціалізації порт I²C настроєний на режим відомого.

Регістр I2CDAT є регістром даних, регістр I2CADD є регістром адреси, а регістр I2CCON – регістром керування порту I²C.

Регістр I2CCON керує режимом роботи порту I²C, а також містить прапор переривання. Цей регістр керування має індивідуально програмовані біти.

Відомий пристрій використовує три молодших біти регістра I2CCON. Оскільки цей режим підтриманий апаратно, ідентифікація біта START, видача біта підтвердження, визначення кінця передачі і формування запиту переривання виконуються автоматично.

3.7 Сенсори температури та вологості

Додатковим вимірювальним приладом є датчик температури і вологості DHT11, який також опитується не частіше ніж 1 раз в 10 секунд (опитування відбувається в єдиному циклі з опитуванням датчика CO₂ MH-Z19B). МК взаємодіє з датчиком по послідовному одно-провідному двонаправленим інтерфейсу. У відповідь на запит датчик повертає 5 байт. Перші два байта містять значення вологості, ціла і десяткова частини. Наступні два байта є значенням температури за Цельсієм, ціла і десяткова частини. Останній байт - це контрольна сума, яка є сумою перших чотирьох байтів. Слід зазначити, що на точність показань датчика DHT11 по вологості - дуже багато нарікань в середовищі користувачів. Для наближення показань датчика до прийнятних значень в програму введена коригувальна поправка, яка задається користувачем під час експлуатації пристрою і зберігається в EEPROM. Цю поправку слід вводити після порівняння показань відносної вологості між своїм пристроєм і приладом, показаннями якого прийнято довіряти. Лінія інтерфейсу DATA датчика DHT11 «підтягнута» до живлення VCC резистором R7.

3.8 Розробка принципової схеми та друкованої плати пристрою

Принципова схема мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксину вуглецю показана на рис.3.12, та наведена в додатку М.

Компоновку друкованої плати виконують з урахуванням наступних критеріїв:

- а) мінімальна довжина провідників, що з'єднують елементи схеми;
- б) максимальне виключення впливу сусідніх елементів одне на одне;

До таких елементів відносять елементи із великим розкидом теплових, частотних, масогабаритних та інших параметрів. Так як такі елементи в проєктованому стенді відсутні то основним критерієм при компоновці друкованої плати є мінімізація довжини провідників і як наслідок, зменшення паразитних зв'язків між провідниками.

Виходячи із аналізу параметрів рисунку провідників та компоновки, доцільно обрати односторонню друковану плату другого класу точності.

При трасуванні друкованої плати необхідно користуватись такими критеріями:

- клас точності виготовлення друкованої плати;
- електричні параметри схеми;
- найменша відстань між вхідними та вихідними провідниками;
- найбільша відстань між провідниками;
- обмежена кількість вузьких місць;
- провідники розташовуються відповідно лініям координатної сітки.

Визначення габаритних розмірів друкованої плати

Застосування плат великих розмірів та складної геометричної форми небажано внаслідок низької механічної міцності та складності обробки. Тому використовуються плати прямокутної форми, що підвищує технологічність виготовлення пристрою.

Відповідно до ГОСТ 10317–79 співвідношення сторін не можуть перевищувати 3:1, розмір кожної сторони друкованої плати повинен бути кратним 2,5 мм при довжині до 100 мм, відхилення від прямокутності не більше 0,2 мм на 100 мм довжини. Крок координатної сітки відповідно до ГОСТ 10317–79 обираємо 2,5 мм.

Габаритні розміри друкованих плат не перевищуватимуть 150 мм на

330 мм. Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу та обирається в залежності від елементної бази та дійсного механічного навантаження. В якості вихідного матеріалу обрано склотекстоліт СФ2–50, товщиною 1,5 мм.

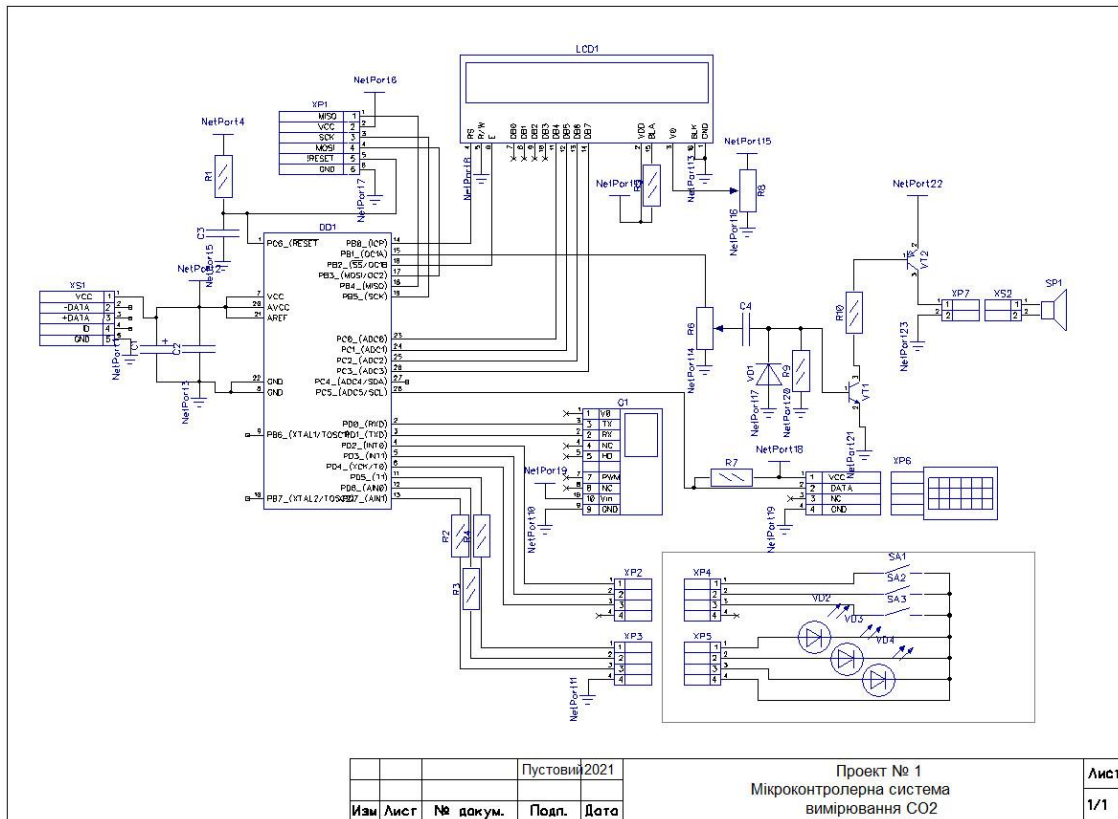


Рисунок 3.12 – Принципова схема розробленого пристрою

Розрахунок параметрів електричних з'єднань

Виходячи із технологічних можливостей виробництва друкованої плати обрано комбінований позитивний метод виготовлення і перший клас точності.

Мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом визначається за формулою

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}} \cdot t},$$

де I_{\max} – максимальний постійний струм в провідниках, А; $j_{\text{дон}}$ – допустима густина струму, А/мм²; t – товщина провідника, мм.

Визначаємо, що при $t = 35 \mu\text{м}$ допустима густина струму $j_{\text{дон}} = 48$

$A/\text{мм}^2$. Тоді, при $I_{\max} = 0,1A$, мінімальна ширина провідника дорівнює

$$b_{\min 1} = \frac{0,1}{48 \cdot 0,035} = 0,06(\text{мм}).$$

Мінімальна ширина провідника, виходячи із допустимого падіння напруги на ньому визначається за формулою

$$b_{\min 2} = \frac{p \cdot I_{\max}}{l \cdot U_{\text{дон}}},$$

де p – питомий об'ємний опір матеріалу провідників. $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; l – довжина провідника, м; $U_{\text{дон}}$ – допустиме падіння напруги, В.

Тоді, при $p = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, $l = 0,3\text{м}$, $U_{\text{дон}} = 0,3\text{В}$ отримаємо мінімальну ширину

$$b_{\min 2} = \frac{0,0175 \cdot 0,1 \cdot 0,3}{0,035 \cdot 0,3} = 0,05(\text{мм}).$$

Мінімальна ширина провідників для односторонніх друкованих плат, що виготовлені комбінованим позитивним методом при фотохімічному способі отримання рисунку визначається за формулою

$$b_{\min} = b_{\min 1} + 1,5 \cdot t + 0,03.$$

Таким чином

$$b_{\min} = 0,06 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,143(\text{мм}).$$

Приймаємо ширину провідників $b = 0,4$.

Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів d за формулою

$$d = d_g + d_{\text{н.в.}} + r,$$

де d_g – максимальний діаметр виводу встановлюваних елементів, мм;
 $d_{н.в.}$ – нижнє відхилення від номінального діаметру отвору, мм; r – різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу елемента, мм.

Прийнявши, що $d_{н.в.} = 0,05 \text{ мм}$ та $r = 0,2 \text{ мм}$. Встановлювані у приладі елементи мають такі діаметри виводів:

- конденсатори – $0,5 \text{ мм}$,
- резистори та провідники – $0,7 \text{ мм}$.

Тому для конденсаторів номінальне значення діаметрів отворів буде дорівнювати

$$d_1 = 0,5 + 0,05 + 0,2 = 0,785(\text{мм}).$$

Для резисторів та провідників номінальне значення діаметрів отворів буде дорівнювати

$$d_2 = 0,7 + 0,05 + 0,2 = 0,905(\text{мм}).$$

Розраховані значення d зводимо до переважного ряду отворів і приймаємо $d_1 = 0,8 \text{ мм}$, $d_2 = 1,0 \text{ мм}$.

Мінімальний діаметр контактних площадок для односторонніх друкованих плат, які виготовляються комбінованим позитивним методом при фотохімічному способі отримання рисунка, визначається за формулою

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot t_\phi + 0,03,$$

де t_ϕ – товщина фольги, мм; $D_{1\min}$ – мінімальний ефективний діаметр площадки. Мінімальний ефективний діаметр площадки можна визначити за формулою

$$D_{1\min} = 2 \left(b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_d + \delta_p \right),$$

де b_m – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки, мм; δ_d та δ_p – допуски для отворів та контактних площадок, мм;

d_{\max} – максимальний діаметр просвердленого отвору.

Максимальний ефективний діаметр площадки можна визначити за формулою

$$d_{\max} = d + d_{н.в.} + (0,1 \dots 0,15),$$

де d – діаметр отвору, мм.

Так як $t_{\phi} = 0,035 \text{ мм}$, $b_m = 0,035 \text{ мм}$, $\delta_d = 0,08 \text{ мм}$, $\delta_p = 0,2 \text{ мм}$, то максимальні діаметри отворів для виводів конденсаторів становлять

$$d_{\max 1} = 0,8 + 0,05 + 0,15 = 1(\text{мм}),$$

а максимальні діаметри отворів для виводів резисторів та провідників становлять

$$d_{\max 1} = 1,0 + 0,05 + 0,15 = 1,2(\text{мм}).$$

Мінімальні діаметри контактних площадок

$$D_{1\min 1} = 2 \left(0,035 + \frac{1,0}{2} + 0,08 + 0,2 \right) = 1,63(\text{мм})$$

$$D_{1\min 2} = 2 \left(0,035 + \frac{1,2}{2} + 0,08 + 0,2 \right) = 1,83(\text{мм}).$$

Тоді, діаметри контактних площадок дорівнюють

$$D_{\min 1} = 1,63 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,71(\text{мм})$$

$$D_{\min 1} = 1,83 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,91(\text{мм}).$$

Максимальні діаметри контактних площадок

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06).$$

Тобто, максимальні діаметри контактних площадок складають

$$D_{\max 1} = 1,71 + 0,02 = 1,73(\text{мм})$$

$$D_{\max 2} = 1,91 + 0,02 = 1,93(\text{мм}).$$

Визначаємо мінімальну відстань між двома контактними площадками за формулою

$$S_{\min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_p),$$

де L_0 – відстань між центрами контактних площадок, мм.

$$S_{\min} = 2,5 - (1,73 + 2 \cdot 0,2) = 0,37(\text{мм}).$$

Таким чином, параметри друкованого монтажу відповідають вимогам, що ставляться до плат 1-го класу точності.

Для розробки друкованої плати пристрою вибираємо програмний пакет DipTrace. Програмний пакет DipTrace є повнофункціональну систему для розробки принципів схем і друкованих плат. Він включає в себе чотири програмних продукта:

1. Schematic - створення принципів схем з подальшою можливістю переведення їх в друковані плати.
2. PCB Layout - проектування плат зі зручною інтерактивним та автоматичним трасуванням.
3. ComEdit - редактор корпусів для друкованої плати.
4. SchemEdit - редактор компонентів. Рисування символів електронних компонентів і зв'язування їх з корпусами.

Робота супроводжується підсвічуванням редагованих об'єктів і пов'язаних з ними для поліпшення наочного сприйняття плати або принципової схеми. Редагування одного об'єкта веде за собою відповідні зміни пов'язані з ним: система не допускає "висячих" зв'язків, оскільки при побудові відразу створюється логічна структура принципової схеми або плати, змінювати яку можна як в наочному режимі, так і вказуючи зв'язку в табличному вигляді.

Створено мінімальну кількість режимів роботи з максимальною функціональністю кожного: так наприклад в Default режимі PCB можливе виділення, редагування та переміщення компонентів, трас, меж плати, побудова

зв'язків. Перехід з будь-якого режиму побудови або редагування в Default здійснюється кліком правої кнопки миші в області побудови.

У DipTrace застосована зручна система роботи з шарами, кількість яких фактично відповідає числу сигнальних шарів друкованої плати. Провідники встановлюються в поточний сигнальний шар, при побудові трас можна переходити в інший шар. Після побудови будь-який фрагмент траси, вся траса або мережу можна переміщати в інший шар, при цьому автоматично створюються міжшарові переходи, які не існують в програмі як окремі об'єкти - їх властивості фактично є властивостями точки, яка є перехідною. Графічні елементи, текст і растрові зображення є окремими об'єктами які можуть створюватися як графіка, маркування або провідник поточного сигнального шару. Після створення можна змінювати розташування цих об'єктів.

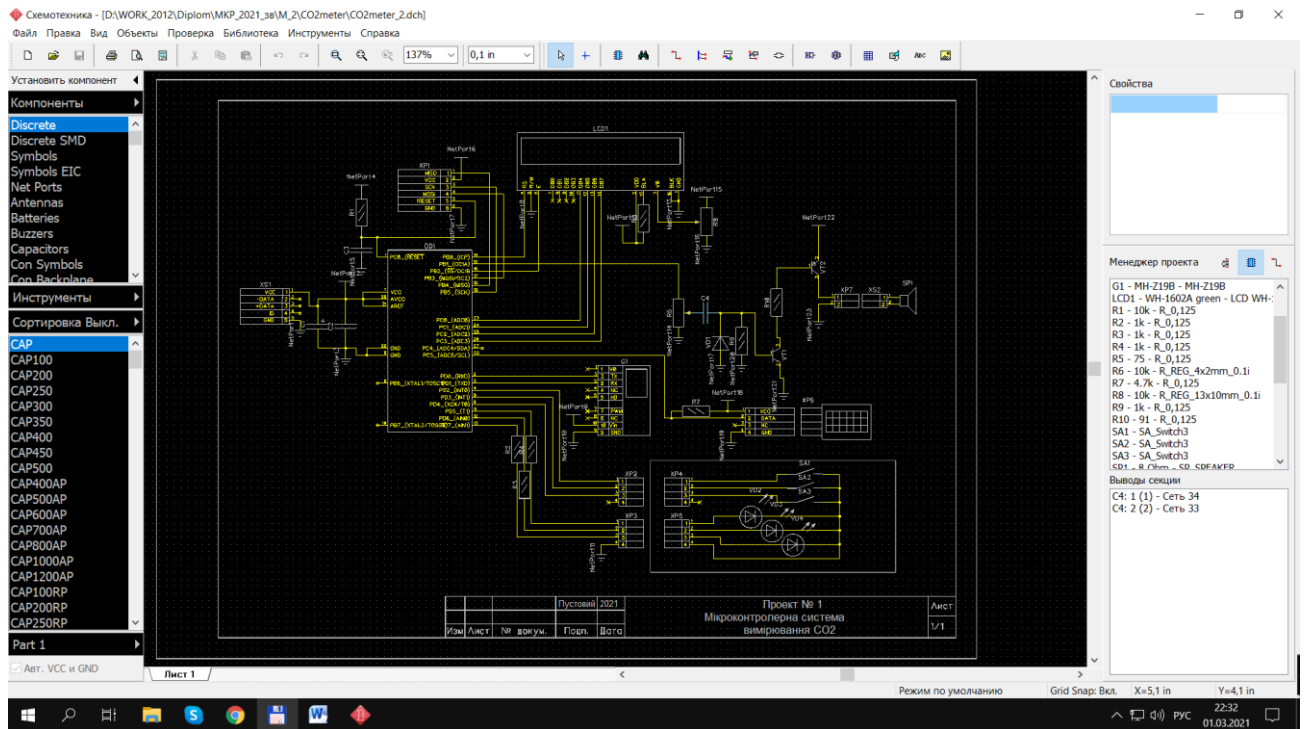


Рисунок 3.13 – Принципова схема розробленого пристрою у DipTrace

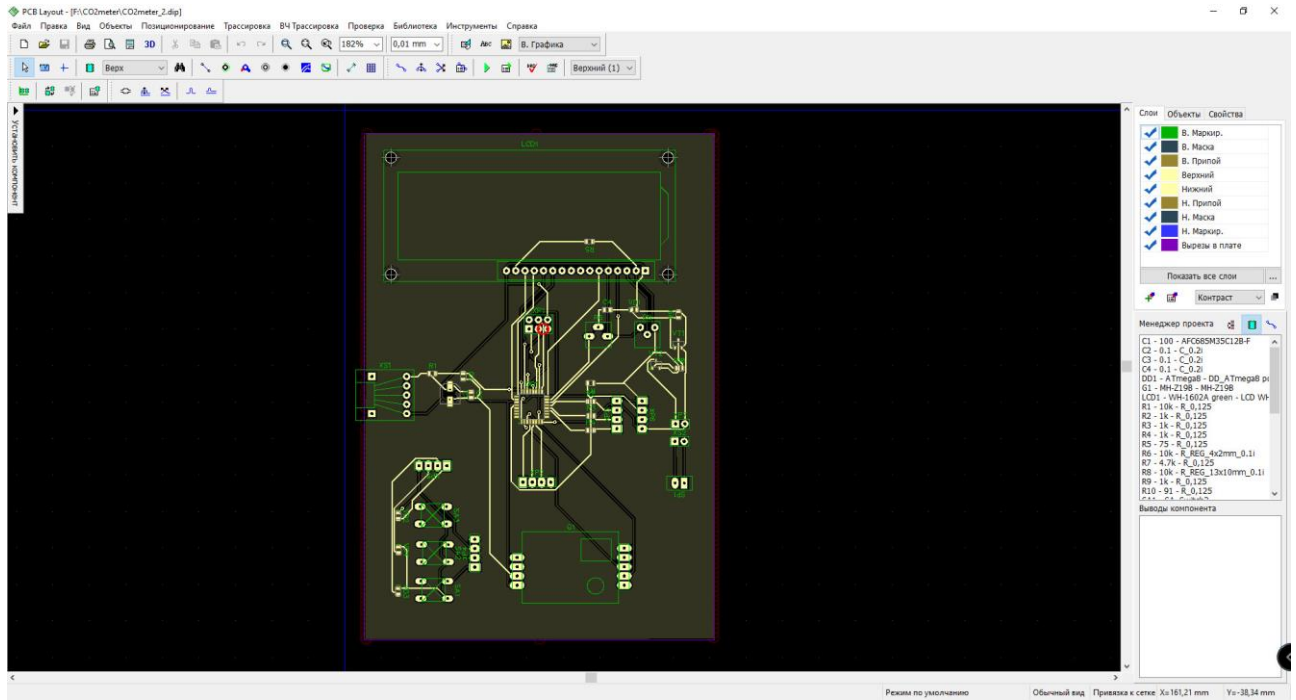


Рисунок 3.14 – Верхняя сторона друкованой платы розробленого пристрою у DipTrace

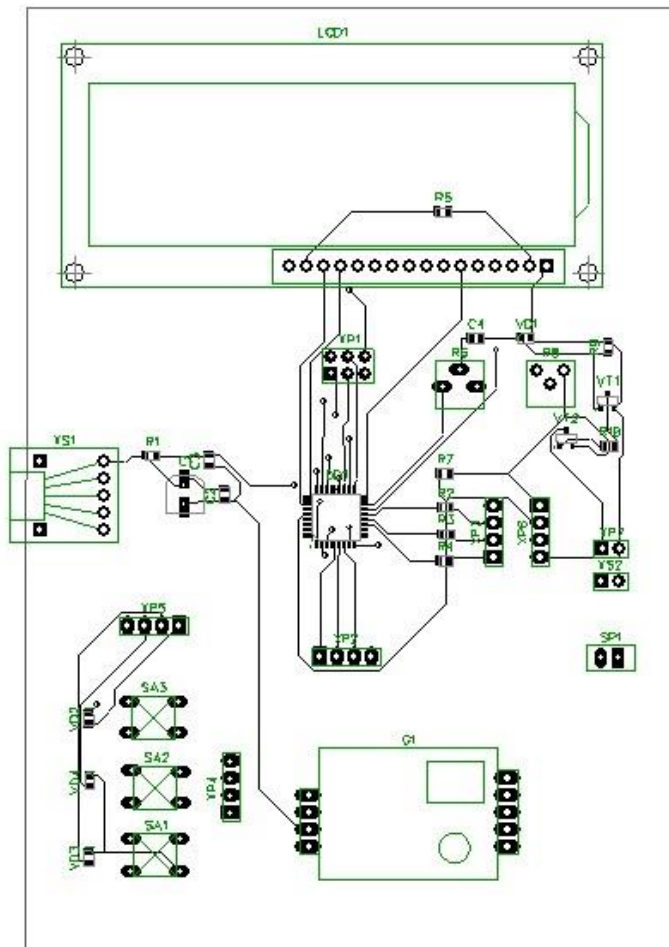


Рисунок 3.15 – Друкована плата

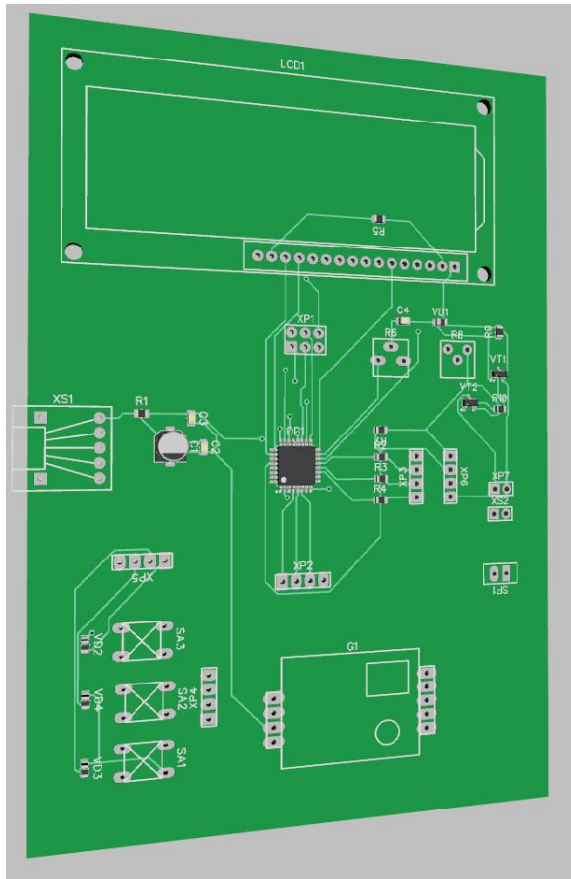


Рисунок 3.16 – 3D модель друкованої плати програматора (верхня сторона)

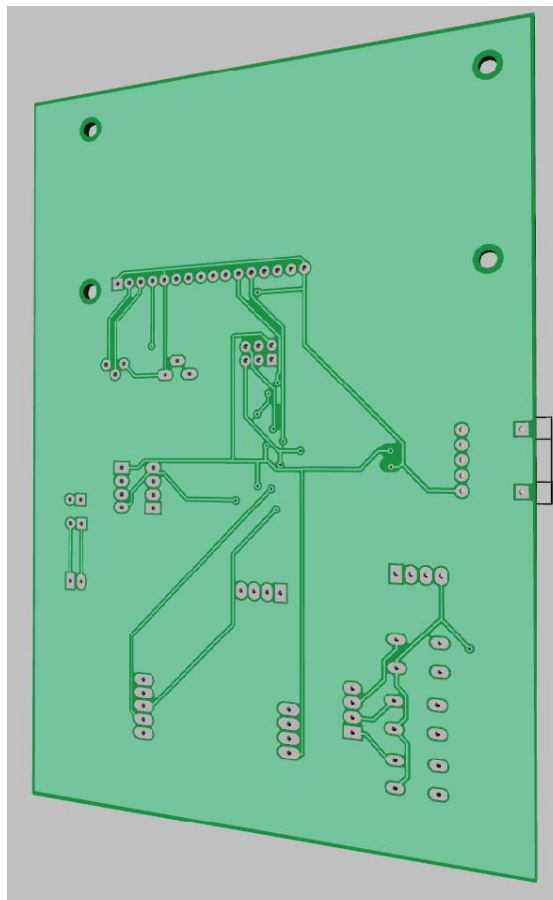


Рисунок 3.17 – 3D модель друкованої плати програматора (нижня сторона)

3.9 Висновки до розділу

Розроблено мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю. Основним вимірювальним приладом пристрою є інфрачервоний датчик CO₂ MH-Z19B. Датчик підключений до МК по UART (лінії RXD, TXD). Програма МК опитує датчик не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. Додатковим вимірювальним приладом є датчик температури і вологості DHT11, який також опитується не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. Мікроконтролер взаємодіє з датчиком по послідовному одно-провідного двонаправленому інтерфейсу.

Розроблено структурну та принципову схему мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю на мікроконтролері ATmega32.

Розроблено друковану плату мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю в пакеті програм DipTrace, а також розроблено 3D модель друкованої плати з елементами.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДДКР

Проаналізуємо рівень науково-дослідної роботи яка пов'язана з дослідженням мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів. Виходячи з відповідних вимог НТП, доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР 3 роки (+1), при чому технічні показники результатів плануються на рівні кращих світових зразків (0); наявність можливості отримання авторських свідоцтв на винахід - часткові можливості (0); а строк окупності витрат 3-4 роки (+2).

В таблиці 4.1 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Таблиця 4.1 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи

Критерії оцінки	Шкала критеріїв	Індекс оцінки
Час, необхідний для проведення НДР	2 роки і менше	+2
	3 роки	+1
	4 роки	0
	5-6 років	-1
	7 років і більше	-2
Технічні показники результатів розробки	Вище рівня кращих світових зразків	+2
	На рівні кращих світових зразків	0
	Нижче рівня кращих світових зразків	-2
Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід	Впевненість в отриманні авторських свідоцтв	+2
	Часткові можливості	0
	Можливості немає	-1
Строк окупності витрат	2 роки і менше	+3
	3-4 роки	+2
	5 років	0
	6-7 років	-1
	8 років і більше	-2

В таблиці 4.2 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 4.2 – Можливі результати оцінки теми НДДКР

Сума індексів	Оцінка теми
Позитивна(+)	Розробка є досить перспективною
Задовільна(0)	Розробка перспективна
Негативна(-)	Розробка не перспективна

Проаналізувавши дані таблиць 4.1 та 4.2, та підрахувавши загальну суму балів (+1+0+0+2=+3), робимо висновок, що дана науково-дослідна робота з дослідження мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів є досить перспективною.

4.2 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу результатів НДДКР. В результаті оцінювання можна зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого впровадження результатів з врахуванням встановленого рейтингу.

Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 4.3. [68]

Таблиця 4.3 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція не підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена практиці	Перевірено на рибоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку

3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти на навчання наявних фахівців	Необхідне значне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості звільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості звільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	1	2	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	1	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	1	2	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	3	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	3	2
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	3	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	2	2	2
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	3	4
Сума балів	28	29	31
Середньоарифметична сума балів СБ	<u>29,3</u>		

За даними таблиці 4.4 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.5. [68]

Таблиця 4.5 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі виснов-	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 29,3 бала, що, згідно таблиці 4.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

4.3 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДДКР. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДДКР стосовно дослідження мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів.

Для економічного розрахунку проведення НДДКР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, розраховується за формулою [68]

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, 22 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	11220,00	510,00	22	11220,00
2. Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури	10500,00	477,27	15	7159,09
3. Науковий співробітник	10550,00	479,55	10	4795,45
4. Лаборант	6085,00	276,59	10	2765,91
Разом				25940,45

Витрати на основну заробітну плату працівників (Z_p), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для дослідження мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів, підготовку та формування баз даних, підготовку та монтаж обладнання, макетів, виготовлення дослідних зразків тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [68]

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (4.2)$$

де t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n - число робіт по видах та розрядах;

K_c - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $K_c = 1,5$;

C_i - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

C_i визначається за формулою [68]

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}}, \quad (4.7)$$

де, M_n – прожитковий мінімум працездатної особи, грн., $M_n = 2270,00$ грн.;

K_i - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p - число робочих днів в місяці, $T_p = 22$ дн.;

$T_{зм}$ - тривалість зміни, $T_{зм} = 8$ годин.

Проведені розрахунки винесемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудо- міст- кість, нормо- годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення обладнання	9,00	2	1,1	21,28	191,53
2. Інсталяція програмного забезпечення	4,30	4	1,35	26,12	112,31
3. Налаштування цифрових аналізаторів	2,10	5	1,7	32,89	69,07
4. Відлагодження датчиків аналізатора	3,70	5	1,7	32,89	121,69
5. Формування структурної схеми компонентів	2,50	3	1,35	26,12	65,29
6. Тренування системи	3,10	3	1,35	26,12	80,97
Разом					640,86

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДДКР розраховується як 12% від основної заробітної плати розробників та працівників

$$Z_d = Z_o \cdot 12 / 100\%, \quad (4.8)$$

$$Z_o = (25940,45 + 640,86) \cdot 12 / 100 \% = 3189,76 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати

$$H_z = (Z_o + Z_d) \cdot 22\% / 100\% \quad (4.9)$$

$$H_z = (25940,45 + 640,86 + 3189,76) \cdot 22\% / 100\% = 6549,63 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДДКР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за

допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних блоків і компонентів, тому дані витрати формуються на основі як офісних витратних матеріалів так і обмеженого переліку матеріалів.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [68]

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де, - H_i - витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i - вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$;

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний	уп.	96,30	4	385,20
Папір креслярський	шт.	23,00	10	230,00
Начиння канцелярське	шт.	155,00	4	620,00
Органайзер офісний	шт.	175,00	4	700,00
Картридж для графічного принтера	шт.	422,00	2	844,00
Картридж для принтера	шт.	696,00	2	1392,00
Диск оптичний	шт.	16,00	4	64,00
FLASH-пам'ять	шт.	335,00	2	670,00
Всього				4905,20

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 4905,20 * 1,12 = 5493,82 \text{ грн.}$$

Витрати на комплектуючі (основне обладнання, емулятори, моделі, комплектуючі макетів), що були використані при дослідженні мікроконтролерної си-

стеми вимірювального контролю концентрації газів, розраховуються за формулою

$$H = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.11)$$

де: H_i - кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i - покупна ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,12$;

n - кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на комплектуючі для формування компонентів для НДДКР

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Корпус газоаналізатора	1	65,00	65,00
Плата	1	55,00	55,00
Інші комплектуючі	1	30,00	30,00
Всього			150,00

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають

$$H = 150,00 \cdot 1,12 = 168,00 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{C_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.12)$$

де $C_б$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.
Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Графічно-обчислювальний комплекс	20200,00	5	1	336,67
Програмний продукт проектування	9000,00	3	1	250,00
Генератор сигналу	8600,00	3	1	238,89
Осцилограф	8000,00	5	1	133,33
Офісна техніка	8500,00	4	1	177,08
Лабораторія	300000,00	20	1	1250,00
Всього				2385,97

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [68]

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (4.13)$$

де, V – вартість 1 кВт-години електроенергії, $V = 3,5$ грн./кВт –година;

P – встановлена потужність обладнання, кВт.;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Графічно-обчислювальний комплекс	170	0,9	0,95	508,73
Генератор сигналу	50	0,12	0,95	19,95
Осцилограф	50	0,36	0,95	59,85
Офісна техніка	70	1	0,95	232,75
Всього				821,28

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників. Величина інших витрат складе

$$I = (25940,45 + 640,86) * 200\% / 100\% = 53162,62 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи

$$B = 25940,45 + 640,86 + 3189,76 + 6549,63 + 4905,20 + 168,00 + 2385,97 + 821,28 + 53162,62 = 97763,77 \text{ (грн.)}$$

Загальна (повна) вартість всієї НДДКР визначається за формулою

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha}, \quad (4.14)$$

де α - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної НДДКР, у відносних одиницях

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} = \frac{97753,77}{1} = 97753,77, \text{ грн.}$$

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної НДДКР здійснюється за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta}, \quad (4.15)$$

де β - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної НДДКР (від 0,1... до 0,9)

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} = \frac{97763,77}{0,9} = 108626,41, \text{ грн.}$$

4.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

В умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство (організація) від впровадження результатів тієї чи іншої розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства (організації). Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності та виплатити кредити (якщо вони потрібні для впровадження результатів розробки).

При проведенні даної розробки не можливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.16)$$

де ΔC_0 - покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна на одиниці нової розробки;

N - основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

Π_0 - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n - кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ - коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2021 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$;

u - ставка податку на прибуток. У 2021 році $u = 18\%$.

В результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість нашої розробки, що дозволяє підвищити ціну її реалізації на 95 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року - на 500 шт., протягом другого року - ще на 600 шт., протягом третього року - ще на 500 шт., а протягом четвертого року – на 400 шт. Орієнтовно: реалізація аналогічного пристрою до впровадження результатів наукової розробки складала 5000 шт., а її ціна - 550 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового. Збільшення чистого прибутку підприємства протягом першого року складе

$$\Delta \Pi_1 = [90 \cdot 5000 + (550 + 95) \cdot 500] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 136234,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta \Pi_2 = [90 \cdot 5000 + (550 + 95) \cdot (500 + 600)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 202344,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta \Pi_3 = [90 \cdot 5000 + (550 + 95) \cdot (500 + 600 + 500)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 257436,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом четвертого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta\Pi_4 = [90 \cdot 5000 + (550 + 95) \cdot (500 + 600 + 500 + 400)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 301509,00 \text{ грн.}$$

4.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1. Розраховують теперішню вартість інвестицій, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат $ZB=108626,00$ грн. на виконання та впровадження результатів НДДКР.
2. Розраховують очікуване збільшення прибутку, що його отримає підприємство (організація) від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження.
3. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Платежі показуються у ті терміни, коли вони здійснюються.

Проведемо відповідні розрахунки.

У першому році підприємство отримає збільшення чистого прибутку на **136234,00** грн відносно базового року.

У другому році - збільшення чистого прибутку на **202344,00** грн (відносно базового року).

У третьому році - збільшення чистого прибутку на **257436,00** грн (відносно базового року),

У четвертому - на **301509,00** грн (відносно базового року).

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис.

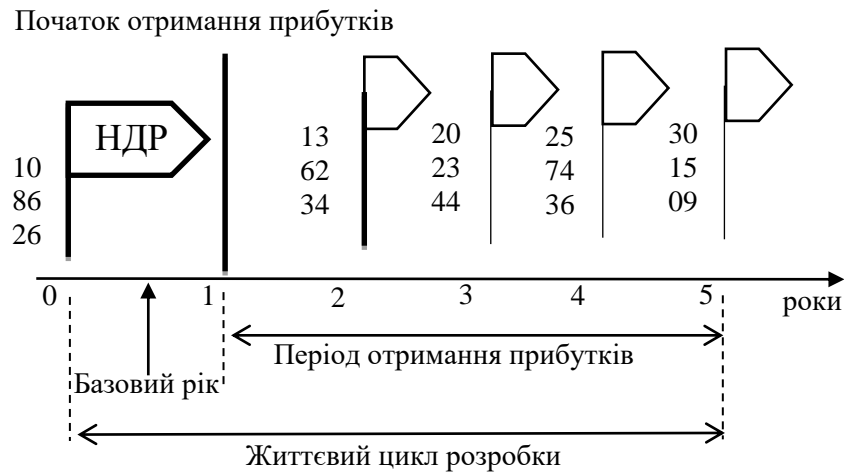


Рисунок 4.1 - Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4. Розраховують абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$. Для цього використовуємо формулу [69-70]

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.17)$$

де $ПП$ - приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків $ПП$ розраховується за формулою

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i}, \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi$ - збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

T - період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ - ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,12;

t - період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$\begin{aligned} ПП &= \frac{136234}{(1+0,12)^2} + \frac{202344}{(1+0,12)^3} + \frac{257436}{(1+0,12)^4} + \frac{301509}{(1+0,12)^5} = \\ &= 587318,00 \end{aligned}$$

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Отримаємо

$$E_{abc} = (587318,00 - 108626,00) = 478692,00 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього використаємо формулу

$$E_e = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.19)$$

де E_{abc} - абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн;

T - життєвий цикл наукової розробки, роки

$$E_e = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = \sqrt[5]{1 + \frac{478692}{108626}} - 1 = 0,4$$

Розраховану величину E_e порівнюємо з мінімальною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.20)$$

де d - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020 році в Україні (0,08...0,12);

f - показник, що характеризує ризикованість вкладень (0,05...0,1)

$$\tau = d + f = 0,1 + 0,1 = 0,2.$$

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}.$$

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}} = \frac{1}{0,4} = 2,49 \text{ року.}$$

Якщо $T_{ок} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

4.6 Висновки до розділу

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених коштів для даної розробки складе 478692,00 грн., а відносна ефективність забезпечить прибутковість в межах 40%, що більше мінімальної яка складає 20%.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}=2,49$ року, що менше нормативного терміну.

Враховуючи наведені показники діяльності можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Проблеми забезпечення безпечних умов праці, що створюють основу її високої продуктивності, попередження нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань, зниження виробничої обумовленої захворюваності, а також економічних втрат, пов'язаних із ними, можуть бути успішно вирішені лише в рамках погодженої політики – щоб дотримувалася охорона праці працівників на підприємстві, щоб керівники, власники не зневажали елементарними заходами безпеки для своїх робітників тощо. Політика забезпечення безпеки праці повинна ґрунтуватися на конкретних особливостях виробництва, де й вирішуються в остаточному підсумку такі питання.

Розробка мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно ГОСТ 12.0.003-74, можуть мати 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.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Сучасний розвиток технічного та технологічного стану виробництва передбачає постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. Сьогодні майже не залишилося підприємств, господарська діяльність яких здійснювалась би без використання комп'ютерної техніки. Через масовий характер робіт, що виконуються працівниками за допомогою комп'ютера, законодавством України чітко врегульовано норми та вимоги до використання комп'ютерної техніки на підприємстві, безпосередньо й охорона праці при роботі з комп'ютером. Зокрема, це ДСанПіН 3.3.2.007-98, НПАОП 0.00-7.15-18, ДСТУ 8604:2015 та низка інших.

До роботи з комп'ютером, ноутбуком, принтером, ксероксом, сканером, плазмовою панеллю, LCD-дисплеєм та іншою оргтехнікою допускаються особи, які досягли 18 річного віку, пройшли медичний огляд, ознайомлені з інструкцією з охорони праці при роботі з оргтехнікою, не мають протипоказань за станом здоров'я.

Приміщення, в яких планується установка та подальша робота з комп'ютером, повинні відповідати проектній документації будинку, погодженій з уповноваженими державними органами. Крім того, роботодавець повинен враховувати санітарні нормативи освітлення, вимоги до параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість), ступеня і сили вібрації, звукового шуму і вогнестійкості приміщення, а також характеристики електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного полів. Конкретні показники зазначених санітарних норм знаходяться у зазначених вище нормативних документах.

Організація робочого місця розробника мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів були дотримані такі вимоги:

- робочі місця з відеотерміналами й ПК розміщуються на відстані не менш 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями відеотерміналів повинна бути не менше 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного відеотермінала й екраном іншого не повинна бути менше 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць повинен бути не менше 1 м.

Робоче сидіння (крісло) розробника має наступні основні елементи: сидіння, спинку й стаціонарні або знімні підлокітники.

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

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

Робота виконувалася у робочому приміщенні, схема якого наведена на рис.5.1. Робоче місце працівника обладнане ПК.

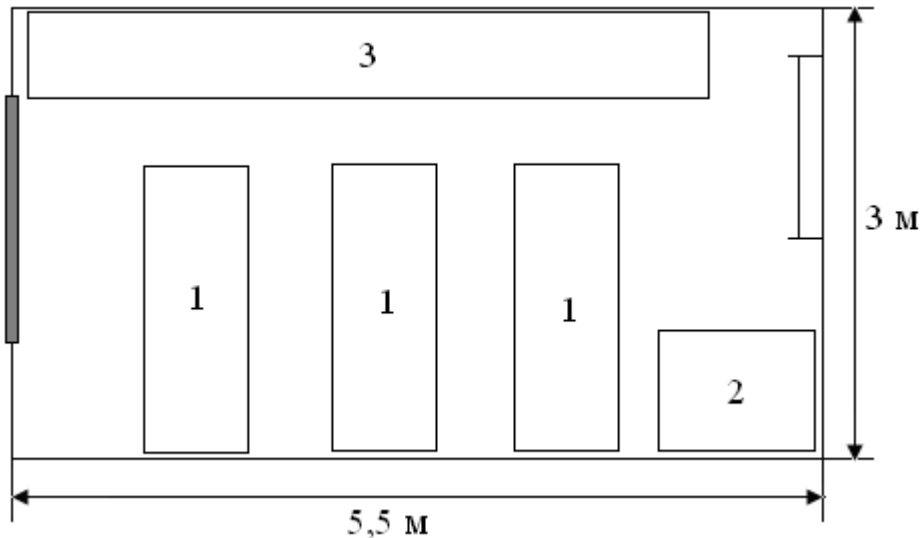


Рисунок 5.1 - Схема приміщення

Умовні позначення: 1 – робочі місця (столи); 2 – стіл для копіювального апарату; 3 - шафа для паперів.

Загальна площа приміщення становить $16,5 \text{ м}^2$ та об'єм $52,8 \text{ м}^3$. Кількість працівників у приміщенні – 3 особи, всі робочі місця комп'ютеризовані. На одного працівника в даному приміщенні припадає в середньому $\frac{16,5}{3} = 5,5$ ($\text{м}^2/\text{ос.}$) робочої площі. Об'єм повітря на одного працівника припадає $\frac{52,8}{3} = 17,6 \text{ м}^3$.

Згідно із вимогами НПАОП 0.00-7.15-18 площу приміщень, в яких розташовують відеотермінали, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом: площа – не менше $6,0 \text{ кв. м}$, обсяг – не менше $20,0 \text{ куб. м}$, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Порівнявши нормативні дані з отриманими, маємо, що в приміщенні спостерігається не дотримання встановлених нормативів, що може шкідливо впливати на працівників. Відповідно, було рекомендовано перенести одне робоче місце із ПК в інше приміщення [71].

5.1.2 Електробезпека приміщення

Приміщення, де здійснювалася розробка мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підви-

щеної небезпеки (сухе, мало запопорошене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

На робочому місці з усього обладнання металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, в якого крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення та провід з заземлюючий жилою для приєднання до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки встановлюються наступні технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

На працездатність людини великою мірою впливає мікроклімат в приміщенні, де вона перебуває (температура повітря, швидкість руху повітря, відносна вологість). Нормальне функціонування організму можливе лише тоді, коли тепло, що виділяє організм, безперервно передається в навколишнє середовище. Зниження температури в приміщенні офісу призводить до росту тепловіддачі, що, в свою чергу, може призвести до переохолодження організму. При високій температурі у приміщенні практично все тепло організму виділяється за рахунок випаровування поту. Для нормального протікання цього процесу відносна вологість повітря не повинна перевищувати 60%.

Робота розробника мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів згідно Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу за енерговитратами відноситься до категорії 1а.

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату [72]

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

Для підтримки оптимального рівня мікроклімату в приміщенні передбачено систему кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури, систему центрального опалення та систематичне вологе прибирання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Шкідливими вважаються речовини, що при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я, що визначаються сучасними методами як у процесі праці, так і у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь.

В приміщенні, де здійснюється розробка мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів, можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил, озон та вуглекислий газ. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі [74]

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл..5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК [71]

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

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками. До основних кількісних показників належать: світловий потік, сила світла, яскравість і освітленість. До основних якісних показників зорових умов роботи можна віднести: фон, контраст між об'єктом і фоном, видимість.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору, пульсація світла, зміна кольорів освітлюваних предметів викликають втому зору і загальну втомлюваність; надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення; брудні вікна і світильники знижують освітленість. Лампи, що сліплять, блиск від них або різка тінь можуть викликати повну втрату орієнтації працюючого. Усі ці обставини є потенційними чинниками ризику настання нещасних випадків або виникнення професійних захворювань.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (згідно ДБН В.2.5-28:2018) зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні [76]

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
Високої точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Місце праці розташоване так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Щоб уникнути світлових відблисків необхідно використовувати обладнання з матовою поверхнею. Для захисту очей від прямого сонячного світла чи джерел штучного освітлення необхідно застосовувати захисні козирки та жалюзі на вікнах.

Необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

Для забезпечення достатнього освітлення слід максимально використовувати бічне природного освітлення, систематично очищувати скло від бруду та систематично замінювати перегорілі лампи.

5.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99. Норми шумового навантаження на працівника в процесі розробки мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів наведені в табл.2.5.

Таблиця 5.5 - Рівень звукового тиску [78]

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основними заходами боротьби з шумом є усунення або ослаблення причин шуму в самому його джерелі у процесі роботи, використання звукопоглинаючих матеріалів, раціональне планування виробничих приміщень.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Сучасна комп'ютерна техніка є енергонасиченим апаратом зі споживанням до 200-250 Вт, що містить декілька електро- і радіоелектронних пристроїв з різними фізичними принципами дії. Тому вона створює навколо себе поля із широким частотним спектром і просторовим розподілом, такі як: змінні низькочастотні електричні поля; змінні низькочастотні магнітні поля.

Потенційно можливими шкідливими факторами можуть бути також: електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону; електромагнітні поля, створювані сторонніми джерелами на робочому місці з комп'ютерною технікою.

Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівника становлять наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань [79]

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

Для обмеження впливу ЕМП на розробника слід використовувати лише якісну техніку із сертифікатом якості і дотримуватися встановленого часу роботи за ПК.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів під час розробки мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі

(неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6год.

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Розроблювальна мікроконтролерна система вимірювального контролю концентрації газів може використовуватися як у побуті, так і різними організаціями у різних частинах України, тому існує ймовірність впливу на систему електромагнітних та іонізуючих випромінювань. Вплив іонізуючого випромінювання на радіоелементи викликає зворотні та незворотні процеси,

внаслідок яких може бути порушена робота елементів схеми, що призводить до виходу з ладу апаратури і може призвести до вибуху газу.

Надзвичайна ситуація є наслідком сукупності виняткових обставин, що склалися у відповідній зоні в результаті надзвичайної події техногенного, природного, антропогенного та воєнного характеру, а також під впливом можливих надзвичайних умов.

При проходженні потоку гамма-опромінення через елементи РЕА, в них виникають вільні носії електричних зарядів, внаслідок переміщення яких виникає хибний імпульс, який може призвести до збою в роботі мікроконтролерної системи. Особливо чутливими до радіації елементами є елементи з високим вмістом металів, яким в свою чергу властива висока концентрація вільних носіїв зарядів.

Таким чином радіація в РЕА викликає зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можлива зміна майже всіх електричних та експлуатаційних характеристик, що залежать від проходження процесів іонізації, порушення структури матеріалів, що призводить до пошкодження апаратури [73].

Під час впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) у елементах, що проводять електричний струм на частку секунди (час дії ЕМІ) виникає імпульс електричного струму і з'являється різниця потенціалів відносно землі. Під дією цих напруг може відбутись пошкодження РЕА, ліній зв'язку, вихід з ладу запобіжників і т.д.

5.3.1 Визначення області працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії іонізуючого випромінювання

В РЕА використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та інші). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Визначаємо потужність експозиційної дози для кожного елемента і знаходимо елемент, який найбільш чуттєвий до дії іонізуючого випромінювання.

Таблиця 5.7 - Стійкість елементів мікроконтролерної системи вимірювально-го контролю концентрації газів

№	Блоки системи	Елементи РЕА	Найменування	Ргр,і, р/год	Ргр, р/год
1	Мікроконтролерний блок	Конденсатори	К50-35, К10-17	10^5	10^4
		Резистори	С2-23	10^6	
		Транзистори	КТ3102А	10^5	
		Мікросхеми	FT232RL, АТ24С512	10^4	
2	Блок давачів і обробки сигналів	Діоди	АЛ307	10^5	10^5
		Кнопки	SB1— SB6	10^5	

Аналізуючи дані таблиці 1, визначаємо, що найбільшого впливу зазнають мікросхеми та діелектричні матеріали. В них незворотні дії виникають при рівні p_i , яка для системи в цілому є граничною, отже, $p_{гран}=10^4$ Р/Год.

В якості критерію стійкості роботи РЕА використовують значення рівня радіації гамма-випромінювання, яке розраховується за формулою [77]

$$p'_{гран} = p_{гран} \cdot K_H \cdot K_{посл} [P / год], \quad (5.1)$$

де $p_{гран}$ – межа стійкості роботи системи, Р/Год;

K_H – коефіцієнт надійності елементної бази, $K_H = 0,9 \dots 0,95$,
приймаємо $K_H = 0,94$;

$K_{посл}$ – коефіцієнт послаблення радіації, із завдання: $K_{посл} = 4$.

Тоді

$$p'_{гран} = 10^4 \cdot 0,94 \cdot 4 = 3,76 \cdot 10^4 (P / год).$$

Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах

$$t_{доп} = \frac{D_{гр} \cdot K_{посл} + 2P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2P_1} \quad (5.2)$$

$$t_{\text{доп}} = \frac{10^4 \cdot 4 + 2 \cdot 3,76 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 3,76} = 15319,149(\text{год}).$$

Час безперервної роботи в умовах іонізуючих випромінювань буде складати 1,7 року, що менше часу напрацювання на відмову, тому необхідно застосувати додаткове протирадіаційне екранування з коефіцієнтом послаблення мінімум 4.

5.3.2 Визначення області працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи системи в умовах дії електромагнітних випромінювань можна прийняти коефіцієнт безпеки [79], який визначається за формулою

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{U_\partial}{U_\Gamma} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (5.3)$$

де U_Γ – напруга наведення за рахунок електромагнітних випромінювань горизонтальних струмопровідних частин плати, В;

U_∂ – допустиме коливання напруги живлення, В.

визначаємо допустиме коливання напруги живлення

$$U_\partial = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot \Delta \quad (5.4)$$

де $U_{\text{ж}}$ – напруга живлення системи ($U_{\text{ж}} = 30\text{В}$);

Δ - допустиме коливання напруги живлення ($\Delta = \pm 5\%$).

$$U_\partial = 30 + \frac{30}{100} \cdot 5 = 31,5 \quad (\text{В}).$$

Плата системи розташована в горизонтальній площині. Визначимо максимальну очікувану напругу в горизонтальних лініях з рівності

$$20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{\Gamma}} = 40 \text{ (В)} \quad (5.5)$$

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\partial}}{100} \text{ [В]}, \quad (5.6)$$

$$U_{\Gamma} = \frac{31,5}{100} = 0,315 \text{ (В)}.$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається як

$$U_{\Gamma} = E_{\text{В}} \cdot l_{\Gamma}, \quad (5.7)$$

звідки

$$E_{\text{В}} = \frac{U_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} \text{ [В / м]}, \quad (5.8)$$

де l_{Γ} – максимальна довжина горизонтального контуру електричної схеми, м ($l_{\Gamma} = 0,1\text{м}$).

$$E_{\text{В}} = \frac{0,315}{0,1} = 3,15 \text{ (кВ / м)}.$$

Згідно з розрахунками мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів здатний працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу при напруженості вертикальної складової електричного поля $E_{\text{В}} \leq 3,15$ кВ/м.

На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок про те, що дана система здатна стійко працювати в середині будівлі, яка має коефіцієнт послаблення радіації більше 4 в умовах дії іонізуючого випромінювання при потужності дози випромінювання до $3,76 \cdot 10^4$ Р/год.

Також в даному розділі було визначено область працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії загрозливих чинників НС та в умовах дії іонізуючого випромінювання. Визначено потужність граничної експозиційної дози для системи в цілому, що складає: $p_{\text{гран}} = 10^4$ Р/год.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз публікацій, присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням перетворювачів концентрації газів, який показує, що розробка оптичних сенсорів концентрації газу є перспективним напрямком у розвитку апаратних засобів вимірювання фізичних величин для сучасних мікропроцесорних систем контролю і керування. Подібні перетворювачі концентрації газу представляють високі метрологічні показники поряд з тенденцією до мініатюризації, поліпшенням вартісних характеристик, можливістю їх інтелектуалізації на основі конструктивної та технологічної сумісності з цифровими пристроями обробки вимірюваної інформації.

Аналіз сучасного рівня розробок конструкцій перетворювачів концентрації газів дозволив визначити можливі шляхи поліпшення їх параметрів: чутливості, температурної стабільності, стабільності електричних характеристик перетворювачів, надійності, собівартості тощо.

Розглянуто та оцінено нову конструкцію газового датчика, засновану на принципі NDIR, у стандартному мініатюрному форматі для газових датчиків - циліндр із зовнішніми розмірами діаметром 20 мм x висотою 16,5 мм. Цей формат широко використовується, наприклад, у напівпровіднику з оксиду металу або електрохімічних приладах, однак така технологія в даний час не може надійно виявляти CO₂ при концентраціях на мільйон. Розглянута конструкція приділяє особливу увагу питанням підтримки належної оптичної довжини шляху, а також високої оптичної пропускну здатності. На сьогоднішній день мало повідомлень про аналіз цих проблем для пристроїв NDIR у стандартному мініатюрному форматі.

Датчик найчастіше налаштований для виявлення вуглекислого газу за допомогою двоелементного детектора. Детектор інтегрує відповідні елементи фотодетектора з смуговими фільтрами, один із яких зосереджений на смузі поглинання CO₂ при 4,2 мкм, а інший - на непоглинаючій опорній смузі при 3,95 мкм.

Розроблено мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації діоксиду вуглецю. Основним вимірювальним приладом пристрою є інфрачервоний датчик CO₂ MH-Z19B. Датчик підключений до МК по UART (лінії RXD, TXD). Програма МК опитує датчик не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. Додатковим вимірювальним приладом є датчик температури і вологості DHT11, який також опитується не частіше ніж 1 раз в 10 секунд. Мікроко-

нтролер взаємодіє з датчиком по послідовному одно-провідного двонаправленому інтерфейсу.

Розроблено структурну та принципову схему мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксину вуглецю на мікроконтролері ATmega32.

Розроблено друковану плату мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації діоксину вуглецю в пакеті програм DipTrace, а також розроблено 3D модель друкованої плати з елементами.

В економічній частині основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених коштів для даної розробки складе 478692,00 грн., а відносна ефективність забезпечить прибутковість в межах 40%, що більше мінімальної яка складає 20%.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}=2,49$ року, що менше нормативного терміну.

Враховуючи наведені показники діяльності можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи.

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було визначено область працездатності мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газів в умовах дії загрозливих чинників НС та в умовах дії іонізуючого випромінювання. Визначено потужність граничної експозиційної дози для системи в цілому, що складає: $p_{гран}=10^4$ Р/год.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 288 с.
2. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. — 528 с.
3. Яценков В. С. Микроконтроллеры Microchip. Практическое руководство – М.: Горячая линия – Телеком, 2002 – 296 с.
4. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL». – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
5. Пат. 5718311, СССР, МКИ НОЗК 17/60. Датчик газа. – Оpubл. 04.05.84.
6. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003 – 286 с.
7. Пат. 3845987, СССР, МКИ НОЗК 23/10. Датчик газоанализатора. – Оpubл. 16.08.87.
8. Пат. 28437В, Україна, МКІ G 02 45/21. Фотоелектричний спосіб визначення концентрації речовин у рідких та газоподібних середовищах. – Оpubл. 24.11.96.
9. Пат. 14653А, Україна, МКІ F 03 13/02. Пристрій для аналізу газів (варіанти) та пристрій для взяття проби газу. – Оpubл. 07.02.98.
10. J. Zosel, W. Oelßner, M. Decker, G. Gerlach, U. Guth, The measurement of dissolved and gaseous carbon dioxide concentration, Meas. Sci. Technol. 22 (2011), 072001.
11. National Building Controls Information Program, Product Testing Report: Wall mounted carbon dioxide (CO₂) transmitters, NBCIP, Ankeny, IA, USA, 2009.
12. G.F. Fine, L.M. Cavanagh, A. Afonja and R. Binions, Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors in Environmental Monitoring, Sensors 10 (2010), 5469-5502.
13. S.C. Cutler, A. Vass, Gas Sensor, Patent WO2005054827 (A1), 2005.
14. J. Hodgkinson and R. P. Tatam, Optical Gas Sensing: A Review, Meas. Sci. Technol. 24 (2013), 012004.
15. S.D. Smith, J.G. Crowder, H.R. Hardaway, Recent developments in the applications of mid-infrared lasers, LEDs and other solid state sources to gas detection, Proc. SPIE 4651 (2002), 157-172.

16. Infratec GmbH, Pyroelectric and multispectral detectors, Product brochure, Infratec GmbH, Dresden, Germany, 2005.
17. A.S. Hayward, G.P. Hopkins, Gas sensors, Patent GB 2,395,260, 2005.
18. D.M. Stuttard, Gas sensor, Patent WO 02/063283, 2001.
19. D.R. Gibson, C. MacGregor, Self powered non-dispersive infra-red CO₂ gas sensor, *J. Phys.: Conf. Ser.* 307 (2011) 012057.
20. J. Fonollosa, R. Rubio, S. Hartwig, S. Marco, J. Santander, L. Fonseca, J. Wöllenstein, M. Moreno, Design and fabrication of silicon-based mid infrared multi-lenses for gas sensing applications, *Sensor. Actuat. B* 132 (2008) 498–507.
21. J. Fonollosa, B. Halford, L. Fonseca, J. Santander, S. Udina, M. Moreno, J. Hildenbrand, J. Wöllenstein, S. Marco, Ethylene optical spectrometer for apple ripening monitoring in controlled atmosphere store-houses, *Sensor. Actuat. B* 136 (2009) 546–554.
22. L. Fonseca, E. Cabruja, C. Calaza, R. Rubio, J. Santander, E. Figueras, I. Gràcia, C. Cané, M. Moreno, S. Marco, Feasibility of a flip-chip approach to integrate an IR filter and an IR detector in a future gas detection cell, *Microsyst. Technol.* 10 (2004) 382–386.
23. R. Viola, High-luminosity multipass cell for infrared imaging spectroscopy, *Appl. Opt.* 45 (2006) 2805–2809.
24. J. Mayrwöger, P. Hauer, W. Reichl, R. Schwödiauer, C. Krutzler, B. Jakoby, Modeling of infrared gas sensors using a ray tracing approach, *IEEE Sens. J.* 10 (2010) 1691–1698.
25. J. Mayrwöger, W. Reichl, P. Hauerc, C. Krutzler, B. Jakoby, CO₂ monitoring using a simple Fabry–Perot-based germanium bolometer, *Sensor. Actuat. B* 154 (2011) 245–250.
26. Sieber, H. Eggert, K.-H. Suphan, O. Nüssen, Optical modelling of the analytical chamber of an IR gas sensor, *Proc. SPIE* 4408 (2001) 272–282.
27. B. Hök, H. Pettersson, A. Kaisdotter Andersson, S. Haasl, P. Åkerlund, Breath analyzer for alcolocks and screening devices, *IEEE Sens. J.* 10 (2010), 10–15.
28. C. Corsi, N. Liberatore, S. Mengali, A. Mercuri, R. Viola, D. Zintu, Advanced applications to Security of IR smart microbolometers, *Proc. SPIE* 6739 (2007), 673915.
29. J.D. Ingle, S.R. Crouch, *Spectrochemical Analysis*, Prentice Hall, London, 1988.

30. Gilway Technical Lamp Inc., Engineering Catalogue 168, Gilway, Woburn, MA, USA, 1999.
31. L.S. Rothman, *et al*, The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database, J. Quant. Spectrosc. Ra. 110 (2009) 533-572.
32. Li-cor Biosciences, LI-7500A open path CO₂/H₂O gas analyser, Product specification, Li-cor Biosciences, Lincoln, NA, USA, 2009.
33. S.E. Aleksandrov, G.A. Gavrilov, A.A. Kapralov, B.A. Matveev, G.Yu. Sotnikova, M.A. Remennyi, Simulation of characteristics of optical gas sensors based on diode optopairs operating in the mid IR spectral range, Tech. Phys. 54 (2009) 874–881.
34. Gilway Technical Lamp, Visible/IR Lamps for NDIR Gas Sensors, Datasheet, Gilway Technical Lamp, Woburn, MA, 1999.
35. Zemax EE 2006 version, optical raytrace software package, Zemax, Redmond, WA, USA, 2006.
36. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012. –624 с.
37. Ваня Я. Анализаторы жидкостей и газов. – М.: Энергия, 1970. – 552 с.
38. Измерения в промышленности. Справ. изд. в 3-х кн. Кн. 3 Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
39. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнений атмосферы. – Л.: Химия, 1981. – 297 с.
40. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Советское радио, 1980. – 296 с.
41. Осадчук А.В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением. – Винница: Континент, 1998. – 130 с.
42. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
43. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з від’ємним опором. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006.– 162 с.
44. Осадчук В. С. Сенсори тиску і магнітного поля / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2005. – 207 с.
45. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові діоди. – Вінниця: Універсам-Вінниця, 2002. – 162с.
46. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Транзистори. – Вінниця: ВДТУ, 2003. –207с.
47. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах, Кн.1, Кн 2. Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1984 – 456 с., ил.

- 48.Осадчук В.С., Осадчук О.В., Прокопова М.О. Сенсори газу. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2008.
49. Schaumburg H. Sensoren / Schaumburg H. – Stuttgart: B.G.Teubner. 1992. - 517 p.
- 50.Осадчук В.С., Осадчук О.В., Семенов А.О., Коваль К.О. Функціональні вузли радіовимірювальних приладів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором. –Вінниця: ВНТУ, 2011. – 336с.
- 51.Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities//Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147167
- 52.А.В. Евстигнеев «Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL», М. Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.
- 53.Future Technology Devices International Ltd. “Programmers Guide for High Speed FTCSJTAG DLL” , Application note AN_110, 2009.
- 54.Эндрю Троелсен «С# и платформа .NET» М.,С-П. Питер, 2007.
- 55.Geoffrey Brown. Discovering the STM32 Microcontroller . 2016, –244 p.
- 56.ARM Limited. Cortex-M3 technical reference manual, 2006.
- 57.Microchip. 25AA160A/25LC160A 16K SPI bus serial EEPROM, 2004.
- 58.F. Semiconductor. Tilt sensing using linear accelerometers, 2012.
- 59.STMicroelectronics. How to get the best ADC accuracy in the STM32F10xxx devices, November 2008.
- 60.STMicroelectronics. STM32F10xxx I2C optimized examples, 2010.
- 61.Козаченко В.Ф. Практический курс микропроцессорной техники на базе процессорных ядер ARM-Cortex-M3/M4/M4F" 2019 М.: МЭИ, –256 с.
- 62.Kento Watanabe. Introduction to STM32 ARM Microcontroller with STM HAL-Library & SW4STM32. 2017. –99 p.
- 63.Белов А. В. Программирование микроконтроллеров для начинающих и не только. НиТ, 2016, –352 с.
- 64.Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / М. С. Голубцов - М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 288 с.
- 65.Цифровая схемотехника и архитектура компьютера/ Второе издание Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис. Издательство Morgan Kaufman. English Edition 2013. –1662 с.

- 66.Новиков Ю. В. Основы цифровой схемотехники. Базовые элементы и схемы. Методы проектирования. - М.: Мир, 2001. - 379 с.
- 67.Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. (The Art of Electronics). Монография. Издание 7-е. Москва: Издательство «Бином», 2015. –704 с.
- 68.Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
- 69.Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.
- 70.Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.
- 71.ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
- 72.ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derzhavni-sanitarni-pravila-i-normi-roboti-z-vizualnimi-disp-nor4881.html>
- 73.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
- 74.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
- 75.Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

76. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://dnop.com.ua/dnaop/act3167.htm>
77. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php
78. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. . - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html
79. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885.

Додаток А
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
д.т.н., професор О.В. Осадчук

« 15 » 03 2021 р.
(підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРО-
ЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ
08-36.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник МКР д.т.н., проф.
О.В. Осадчук
_____ « ____ » _____ 2021 р.
(підпис)

Розробив студент гр. РТ-19м
Пустовий С.Ю.
_____ « ____ » _____ 2021 р.
(підпис)

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 64 “09” 03 2021 року та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “03” _____ 09 _____ 2020 р.

Дата закінчення: “06” червень 2021 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою роботи є покращення метрологічних характеристик та розробка мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів.

Об’єктом дослідження є процес перетворення концентрації газу у електричний сигнал за допомогою недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу та створення мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів.

Предметом дослідження – статичні і динамічні характеристики мікроконтролерної система вимірювального контролю концентрації газів на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі розв’язуються наступні задачі:

- проаналізувати існуючі сенсори концентрації газу та обґрунтувати переваги радіовимірювальних параметричних сенсорів газу на основі оптичного методу вимірювання по відношенню до існуючих;
- розглянути принципи роботи та побудови оптичного перетворювача на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розглянути основні аналітичні залежності методу недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розробити структурну та принципову схеми мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- розробити мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розробити програмне забезпечення мікроконтролерної систему вимірювального контролю концентрації газу;
- виконати експериментальну перевірку математичних моделей і дослідити властивості мікроконтролерну систему вимірювального контролю концен-

нтрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: основних положень теорії функції комплексної змінної для визначення функції перетворення та рівняння чутливості; рівнянь математичної фізики під час розробки математичних моделей параметричних сенсорів газу; диференціального та інтегрального числення для створення математичної моделі; теорії розрахунку нелінійних електричних кіл для визначення основних параметрів сенсорів газу.

4 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні сенсори на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2000.–303с.
2. Осадчук В.С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах. - К.: Вища школа, 1987. – 155 с.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1999. – 275 с.
4. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Семенов А.О., Коваль К.О. Функціональні вузли радіовимірювальних приладів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором. –Вінниця: ВНТУ, 2011. – 336с.
5. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
6. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки, студент групи РТ-19м Пустовий Сергій Юрійович.

5 Технічні вимоги

5.1 Варіанти виконання

Пристрій має бути виконаний у вигляді окремого функціонального блоку та з'єднуватись за допомогою роз'ємів з іншими пристроями. У варіанті виконання із застосуванням МК повинен використовуватись АТmega32. Номінальна напруга живлення +5 В.

5.2 Вид цифрових елементів

В якості цифрових елементів використовується мікроконтролер АТmega32.

5.3 Джерело електроенергії

номінальна напруга +5 В.

5.4 Споживана потужність

Споживана потужність не повинна перевищувати 0,15 Вт.

5.5 Час готовності до роботи

Час готовності до роботи, не більше 15 с

5.6 Параметри джерела живлення:

Номінальна напруга живлення +5 В. Струм споживання знаходиться в межах 25-150 мА.

5.7 Робоча частота:

Діапазон робочих частот становить 150 кГц - 5000 кГц;

5.8 Діапазон робочих температур:

Діапазон робочих температур складає 0...+60 °С.

6. ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2020	31.12.2021	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР на кафедрі
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021	14.02.2021	Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021	06.03.2021	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження теми. Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021	21.03.2021	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Звіт по переддипломній практиці Вступ Розділ 1-2
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021	11.04.2021	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	12.04.2021	19.04.2021	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021	30.04.2021	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021	14.05.2021	Економічна частина	Розділ 4
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021	20.05.2021	Частина БЖДПБ	Розділ 5
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021	26.05.2021	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	27.05.2021	31.05.2021	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021	06.06.2021	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021	18.06.2021	Позитивний захист	Протокол ЕК

7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- аналіз існуючих сенсорів концентрації газу та обґрунтування переваг радіовимірювальних параметричних сенсорів газу на основі оптичного методу вимірювання по відношенню до існуючих;
- розглянуто принципи роботи та побудови оптичного перетворювача на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розроблено структурну та принципову схеми мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- розроблено мікроконтролерну систему вимірювального контролю концентрації газу на основі недисперсійно інфрачервоного (NDIR) зондування газу;
- розроблено програмне забезпечення мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- розділ безпеки життєдіяльності.
- розділ економічної частини.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- структурна та принципова схеми мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;
- програмне забезпечення мікроконтролерної системи вимірювального контролю концентрації газу;

- керуюча програма для мікроконтролера ATmega32 мовою C++;
 - розділ безпеки життєдіяльності;
 - розділ економічної частини.

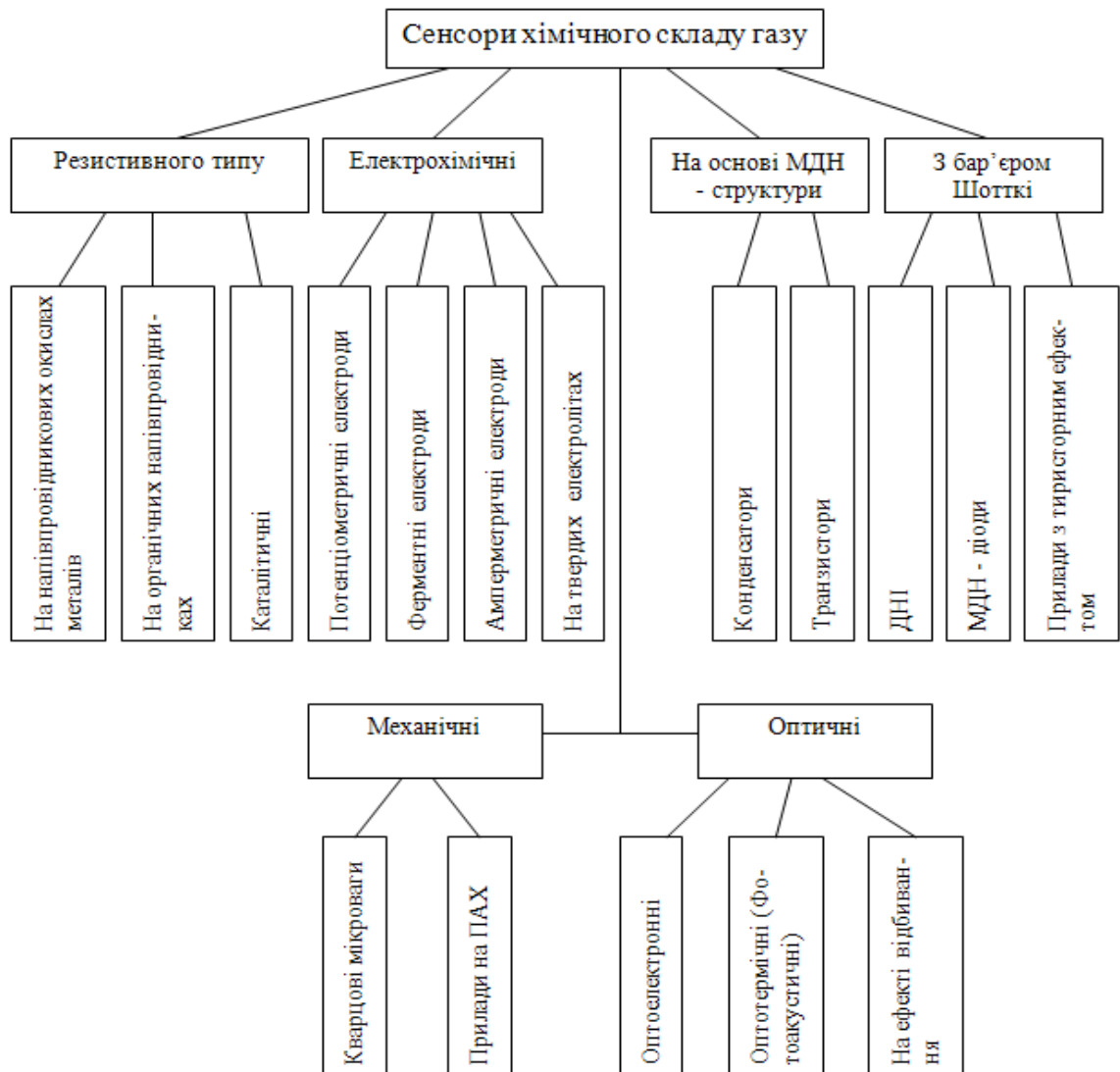
11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

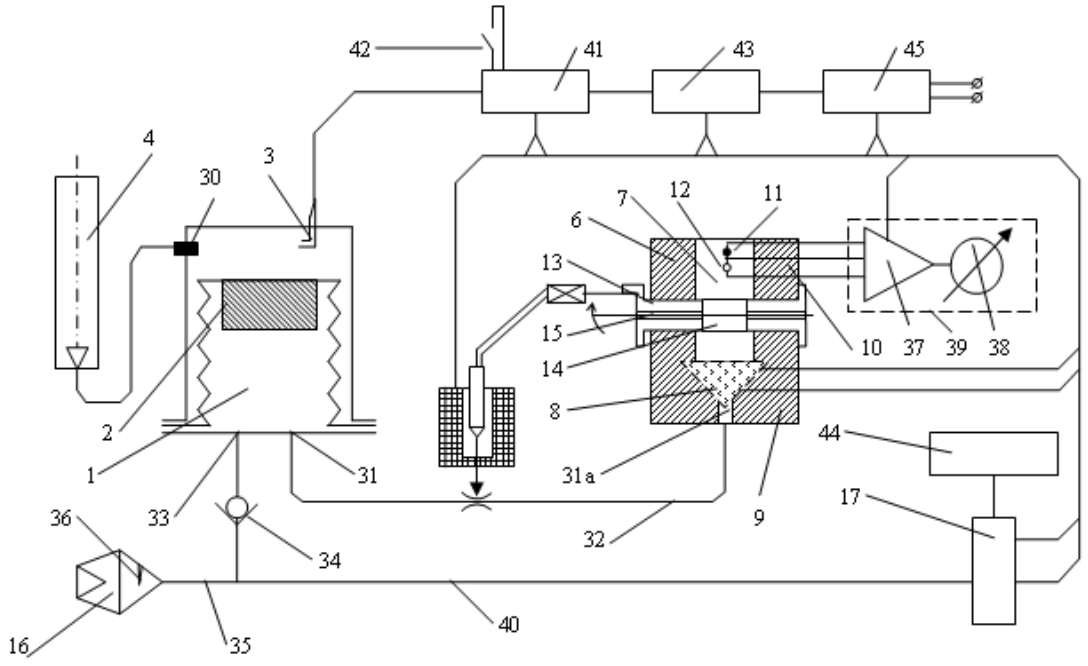
Класифікація перетворювачів хімічного складу газів



Додаток В
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

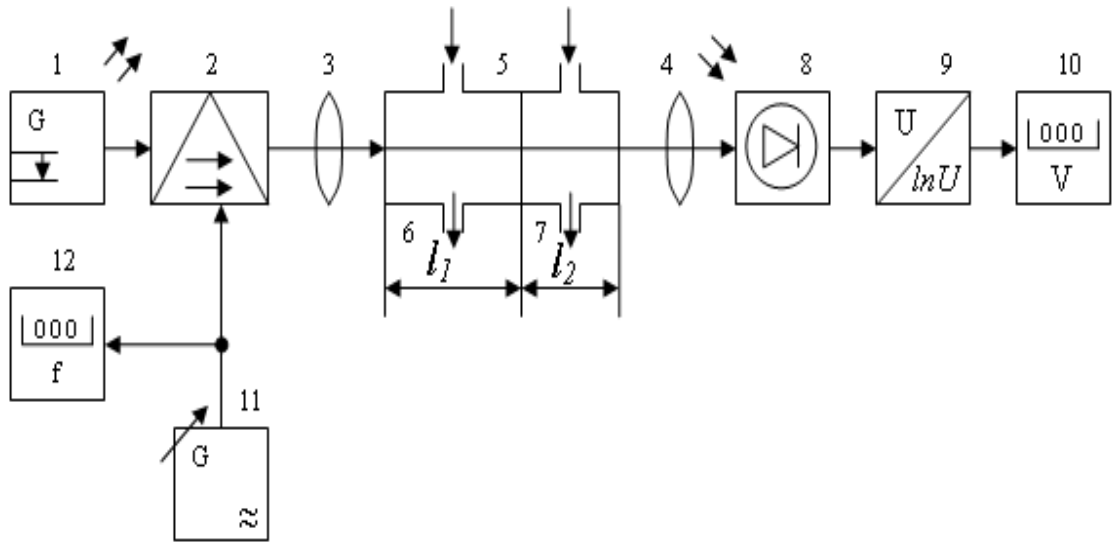
Пристрій для аналізу газу



Додаток Д
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

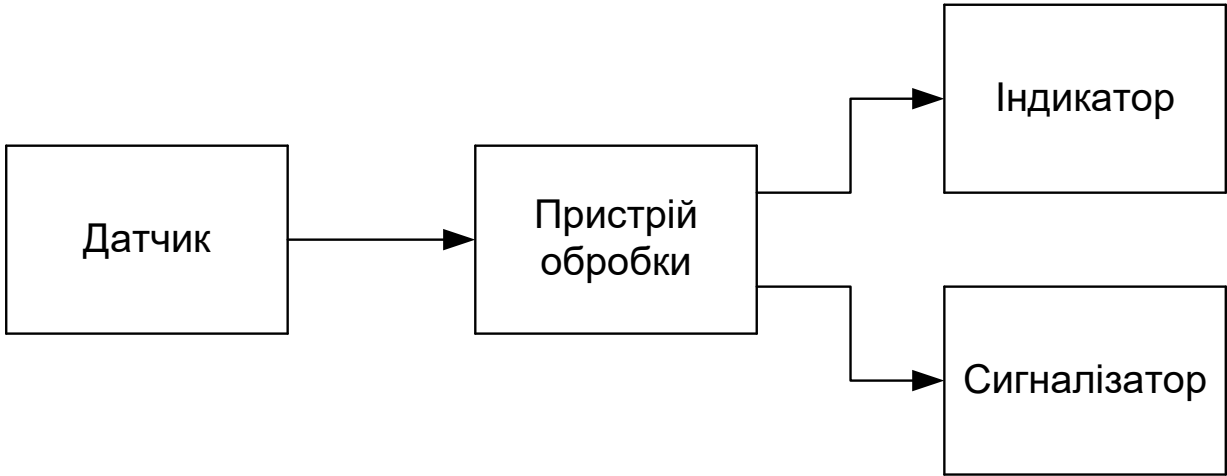
Функціональна схема пристрою



Додаток Е
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

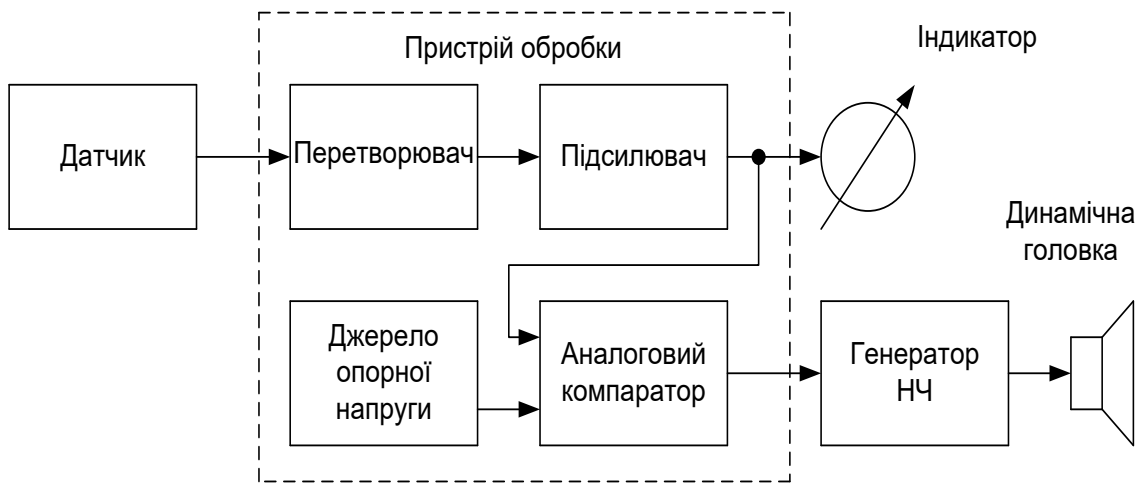
Структурна схема



Додаток Ж
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

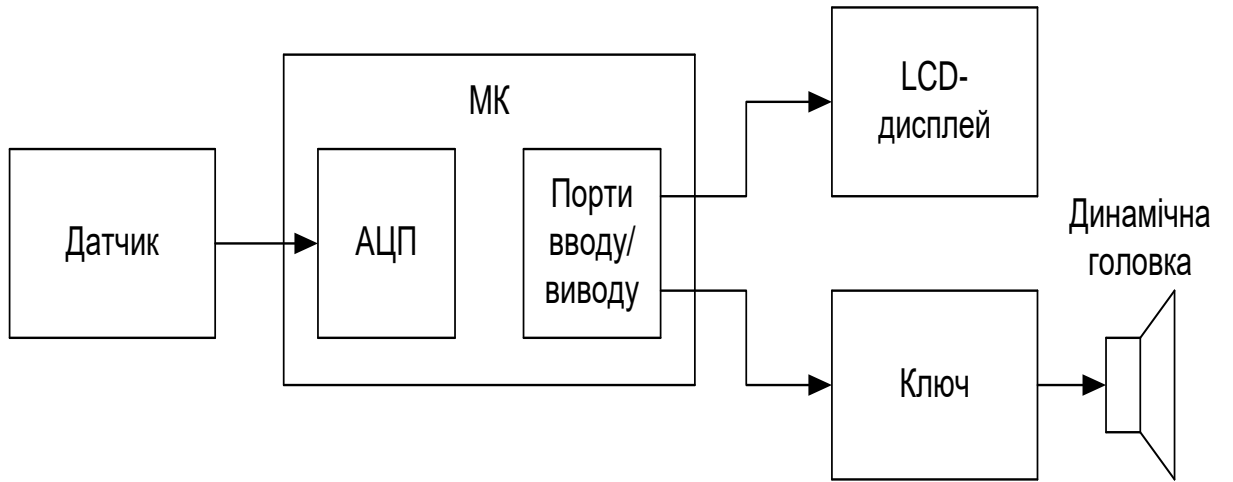
Аналоговий варіант газоаналізатора
Структурна схема



Додаток К
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

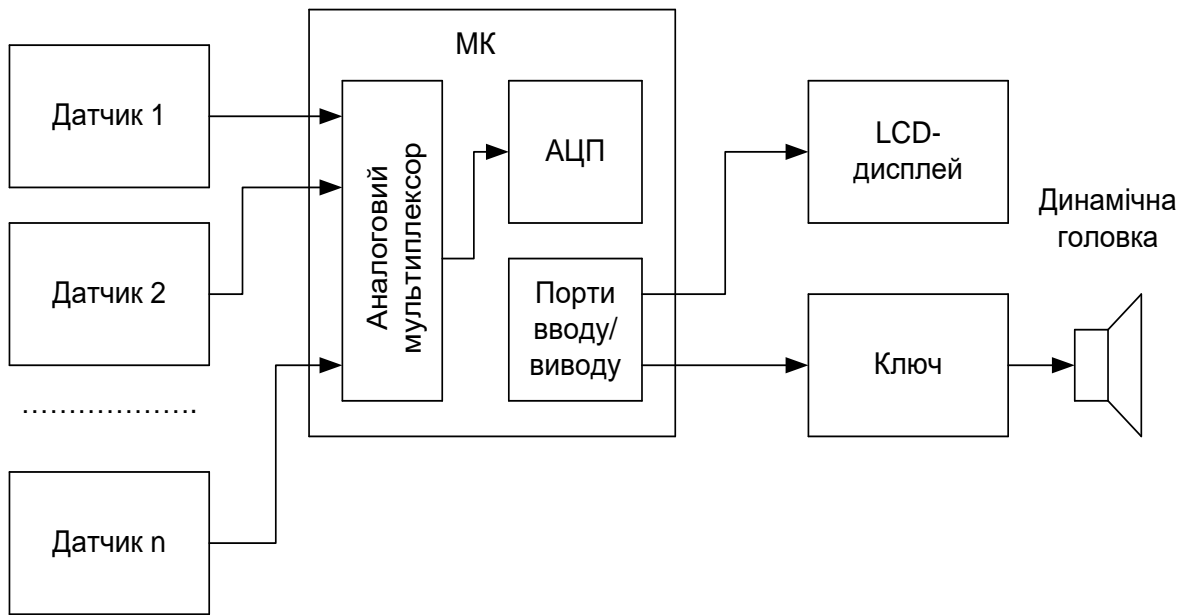
Структурна схема



Додаток Л
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

Багатоканальний цифровий газоаналізатор
Структурна схема



Додаток М
(обов'язковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

Електрична принципова схема

Додаток Н
(довідниковий)

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

Лістинг програми для мікроконтролера

Лістинг програми для мікроконтролера

```

/*-----*/
/      Измеритель-сигнализатор углекислого газа (CO2) /
/      CO2meter /
/*-----*/

#define F_CPU 1600000UL // Указание частоты МК 16MHz необходимо для
#include <stdlib.h> // Стандартная библиотека
#include <avr/io.h> // Библиотека ввода/вывода
#include <string.h> // Библиотека работы со строками
#include <util/delay.h> // Библиотека работы с задержками
#include <avr/eeprom.h> // Библиотека работы с энергонезависимой памятью EEPROM
#include <avr/interrupt.h> // Библиотека работы с прерываниями
#include <avr/pgmspace.h> // Библиотека работы с памятью
/*
    Пределы содержания углекислого газа в воздухе:
    Концентрацию углекислого газа принято измерять в ppm (parts per million — частей на миллион).
    D5 >5000 // Перевышена максимальная допустимая концентрация в течение 8-часового
    рабочего дня
    D4 2500...5000 // Возможны нежелательные эффекты на здоровье
    D3 1000...2500 // Сонливость, головная боль, слабость
    D2 700...1000 // Жалобы на запах
    D1 450...700 // Допустимый уровень
    D0 <450 // Нормальный уровень на улице
*/
/* ОПРЕДЕЛЕНИЯ */
#define LED_GREEN_ON PORTD |= _BV(PD5); // Включить светодиод "Зеленый"
#define LED_GREEN_OFF PORTD &= ~_BV(PD5); // Выключить светодиод "Зеленый"
#define LED_YELLOW_ON PORTD |= _BV(PD6); // Включить светодиод "Желтый"
#define LED_YELLOW_OFF PORTD &= ~_BV(PD6); // Выключить светодиод "Желтый"
#define LED_RED_ON PORTD |= _BV(PD7); // Включить светодиод "Красный"
#define LED_RED_OFF PORTD &= ~_BV(PD7); // Выключить светодиод "Красный"

#define FOSC 8000000 // Тактовая частота процессора 8 МГц
#define BAUD 9600 // Скорость передачи 96 бит/с
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1 // Параметр для настройки USART

/* ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ */
char str_buff[18]; // Буфер для отображения строки на LCD WH-1602
uint16_t ppm = 0; // Уровень CO2 в воздухе, ppm
uint16_t ppm_high_byte = 0; // Уровень CO2, старший байт
uint16_t ppm_low_byte = 0; // Уровень CO2, младший байт
uint16_t ppm_level_high = 800; // Верхняя граница сигнального уровня CO2 (когда открывать окно)
uint16_t ppm_level_low = 400; // Нижняя граница сигнального уровня CO2 (когда закрывать окно)
uint8_t command; // Байт команды для MHZ19
uint8_t addr; // Адрес DDRAM LCD для начальной позиции вывода данных
uint8_t RXDn = 0; // Номер принимаемого кадра на RXD
uint8_t RXDflag = 0; // Флаг начала приема на RXD (0 - прием не начат, 1 - прием начат)
uint8_t RXD_buff[9]; // Буфер приема (принятый кадр)
uint8_t MHZ19_err = 0; // Тип ошибки датчика CO2: 0 - нет ошибок
// // 1 - ошибка контрольной суммы
uint8_t dev_mode = 0; // Режим работы устройства 0 - режим "Измерение"
// //1 - режим "Установка нижней границы"
// //2 - режим "Установка верхней границы"
// //3 - режим "Звук"

uint8_t sound_flag = 0; // Флаг звукового сигнала
uint16_t sound_on_off = 1; // Признак включения/выключения звука (1-вкл, 0-откл)

/* ПЕРЕМЕННЫЕ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ */
EEMEM uint16_t EE_ppm_level_high; // Верхняя граница уровня CO2 в EEPROM
EEMEM uint16_t EE_ppm_level_low; // Нижняя граница уровня CO2 в EEPROM

```

```

EEMEM uint16_t EE_sound_on_off; // Признак включения/выключения звука в EEPROM
EEMEM uint16_t EE_humidity_add; // Корректирующая переменная для влажности воздуха
EEMEM uint16_t EE_humidity_sign; // Знак корректирующей переменной для влажности воздуха

/* ПЕРЕМЕННЫЕ ДЛЯ ГИГРОМЕТРА DHT11 */
uint8_t temperatureDHT11 = 0; // Температура по Цельсию от DHT11
uint8_t humidityDHT11 = 0; // Влажность воздуха в % от DHT11
uint16_t humidity_add = 0; // Корректирующая переменная для влажности воздуха
uint16_t humidity_sign = 1; // Знак корректирующей переменной для влажности воздуха
// (0 - положительное значение, 1 - отрицательное значение)
uint8_t bits[5]; // 5 байтов результата приема от DHT11
int16_t humidity_add_real = 0; // Корректирующая переменная для влажности воздуха (действительное значение)

/* ЗАПИСЬ ПАРАМЕТРОВ В EEPROM */
void EEPROM_Write(void)
{
    eeprom_write_word(&EE_ppm_level_high, ppm_level_high);
    eeprom_write_word(&EE_ppm_level_low, ppm_level_low);
    eeprom_write_word(&EE_sound_on_off, sound_on_off);
    eeprom_write_word(&EE_humidity_add, humidity_add);
    eeprom_write_word(&EE_humidity_sign, humidity_sign);
}

/* ЧТЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗ EEPROM */
void EEPROM_Read(void)
{
    ppm_level_high = eeprom_read_word(&EE_ppm_level_high);
    ppm_level_low = eeprom_read_word(&EE_ppm_level_low);
    sound_on_off = eeprom_read_word(&EE_sound_on_off);
    humidity_add = eeprom_read_word(&EE_humidity_add);
    humidity_sign = eeprom_read_word(&EE_humidity_sign);
    if ((ppm_level_high == 0xFFFF)
        || (ppm_level_low == 0xFFFF)
        || (sound_on_off == 0xFFFF)
        || (humidity_add == 0xFFFF)
        || (humidity_sign == 0xFFFF))
    {
        ppm_level_high = 800;
        ppm_level_low = 400;
        sound_on_off = 1;
        humidity_add = 0;
        humidity_sign = 1;
        EEPROM_Write();
    }
}

/* ПРЕОБРАЗОВАТЬ ЧЕТЫРЕХЗНАЧНОЕ ЧИСЛО В СТРОКУ */
void Convert10 (int32_t number) {
    if (number > 99999) {strcpy( str_buff, "++++");}
    else if (number < 0) {strcpy( str_buff, "----");}
    else {
        itoa(number, str_buff, 10);
        if (number < 1000) { // вставка лидирующего пробела
            str_buff[4] = str_buff[3];
            str_buff[3] = str_buff[2];
            str_buff[2] = str_buff[1];
            str_buff[1] = str_buff[0];
            str_buff[0] = ' ';
        }
        if (number < 100) {
            str_buff[4] = str_buff[3];

```

```

        str_buff[3] = str_buff[2];
        str_buff[2] = str_buff[1];
        str_buff[1] = str_buff[0];
        str_buff[0] = ' ';
    }

    if (number < 10) {
        str_buff[4] = str_buff[3];
        str_buff[3] = str_buff[2];
        str_buff[2] = str_buff[1];
        str_buff[1] = str_buff[0];
        str_buff[0] = ' ';
    }
}

/*-----/
/ РАБОТА С ДАТЧИКОМ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ DHT11 /
/-----*/

/* ПОЛУЧИТЬ ДАННЫЕ ОТ ДАТЧИКА DHT11 */
uint8_t DHT11_get_data() {

    /* Начальная установка */
    DDRC |= (1<<PC5); // Передача
    PORTC |= (1<<PC5); // 1
    _delay_ms(100);

    /* Запрос устройства */
    PORTC &= ~(1<<PC5); // 0
    _delay_ms(18); // 18 мс
    PORTC |= (1<<PC5); // 1
    _delay_us(1); // 1 мкс
    DDRC &= ~(1<<PC5); // Прием
    _delay_us(39); // 39 мкс

    /* Проверка состояния линии */
    if((PINC & (1<<PINC5))) // 1?
        return 1; // Если DHT11 не ответил, выход с ошибкой
    _delay_us(80); // 80 мкс
    if(!(PINC & (1<<PINC5))) // 0?
        return 1; // Если DHT11 не ответил, выход с ошибкой
    _delay_us(80); // 80 мкс

    /* Чтение данных с датчика DHT11*/
    for (uint8_t j=0; j<5; j++) // цикл по 5 байтам
    {
        uint8_t result = 0; // Принятый байт
        for(uint8_t i=0; i<8; i++) // цикл по 8 битам
        {
            while(!(PINC & (1<<PINC5))); // 0? ожидание появления 1
            _delay_us(30); // 30 мкс
            if(PINC & (1<<PINC5)) // Если уровень остался 1 после 30 мкс, то
                result |= (1<<(7-i)); // записывается 1 в принятый разряд
            while(PINC & (1<<PINC5)); // ожидание 0
        }
        bits[j] = result; // Запись принятого байта
    }

    /* Начальная установка */
    DDRC |= (1<<PC5); // Передача
    PORTC |= (1<<PC5); // 1

```

```

_delay_ms(100);

/* Проверка контрольной суммы */
if (bits[0] + bits[1] + bits[2] + bits[3] != bits[4])
    return 2; // Ошибка контрольной суммы

temperatureDHT11 = bits[2]; // Измеренная температура
humidityDHT11 = bits[0]; // Измеренная влажность

/* Корректировка влажности воздуха */
if (humidity_add != 0) // Требуется корректировка значения влажности воздуха
{
    if (humidity_sign == 1) // Отрицательная корректировка
    {
        if (humidityDHT11 >= humidity_add)
            humidityDHT11 -= humidity_add;
        else
            humidityDHT11 = 0;
    }
    if (humidity_sign == 0) // Положительная корректировка
    {
        if (humidityDHT11 + humidity_add < 100)
            humidityDHT11 += humidity_add;
        else
            humidityDHT11 = 100;
    }
}
return 0;
}

/*-----*/
/ ФУНКЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ С LCD WH1602 /
/*-----*/

Выводы LCD WH1602:
1      GND      Общий провод
2      VCC      Питание +5V
3      V0       Напряжение фокусировки
4      RS       0 - запись команд в LCD, 1 - запись данных в LCD
5      R/W      0 - запись в LCD, 1 - чтение из LCD
6      E        Перепад уровня из 1 в 0 - ввод данных/команды в LCD
7-14   DB0..7   Двухнаправленная шина данных
15     A        Анод матрицы светодиодов подсветки
16     K        Катод матрицы светодиодов подсветки
/*-----*/

// Определения выводов МК для работы с LCD
#define RS      PB0
#define E       PB2
#define LCD_DB4 PC0 // Разряд DB4 дисплея WH-1602
#define LCD_DB5 PC1 // Разряд DB5 дисплея WH-1602
#define LCD_DB6 PC2 // Разряд DB6 дисплея WH-1602
#define LCD_DB7 PC3 // Разряд DB7 дисплея WH-1602

/* Функция записи команды в LCD */
void LCD_Command(unsigned char p)
{
    PORTB &= ~(1 << RS); // RS = 0 (Режим: запись команд в LCD)
    PORTB |= (1 << E); // E = 1 (начало записи команды в LCD)
    PORTC &= 0xF0; // Подготовить разряды 0..3 регистра C (обнулить)
    PORTC |= (p >> 4); // Записать в разряды 0..3 регистра C старший полубайт команды
}

```

```

    _delay_us(100);
    PORTB &= ~(1 << E);           // E = 0 (конец записи команды в LCD)
    _delay_us(100);
    PORTB |= (1 << E);           // E = 1 (начало записи команды в LCD)
    PORTC &= 0xF0;               // Подготовить разряды 0..3 регистра C (обнулить)
    PORTC |= (p & 0x0F);         // Записать в разряды 0..3 регистра C младший полубайт команды
    _delay_us(100);
    PORTB &= ~(1 << E);           // E = 0 (конец записи команды в LCD)
    _delay_us(100);
}

/* Функция записи данных в LCD */
void LCD_Data(unsigned char p)
{
    PORTB |= (1 << RS);           // RS = 1 (Режим: запись данных в LCD)
    PORTB |= (1 << E);           // E = 1 (начало записи команды в LCD)
    PORTC &= 0xF0;               // Подготовить разряды 0..3 регистра C (обнулить)
    PORTC |= (p >> 4);           // Записать в разряды 0..3 регистра C старший полубайт данных
    _delay_us(100);
    PORTB &= ~(1 << E);           // E = 0 (конец записи команды в LCD)
    _delay_us(100);
    PORTB |= (1 << E);           // E = 1 (начало записи команды в LCD)
    PORTC &= 0xF0;               // Подготовить разряды 0..3 регистра C (обнулить)
    PORTC |= (p & 0x0F);         // Записать в разряды 0..3 регистра C младший полубайт данных
    _delay_us(100);
    PORTB &= ~(1 << E);           // E = 0 (конец записи команды в LCD)
    _delay_us(100);
}

/**** Функция инициализации LCD WH-1602 ****/
void LCD_Init(void)
{
    _delay_ms(50); // Ожидание готовности ЖК-модуля

    // Конфигурирование четырехразрядного режима
    PORTC |= (1 << LCD_DB5);      // Признак команды установки разрядности шины данных, кол-ва
    // строк, размера шрифта
    PORTC &= ~(1 << LCD_DB4);     // Четырехразрядный режим
    PORTB |= (1 << E);           // E = 1 (начало записи команды в LCD)
    PORTB &= ~(1 << E);           // E = 0 (конец записи команды в LCD)
    _delay_ms(5);
    LCD_Command(0x28);           // 0b00101000 - Шина 4 бит, LCD - 2 строки, шрифт -5x11
    LCD_Command(0x08);           // 0b00001000 - Полное выключение дисплея
    LCD_Command(0x01);           // 0b00000001 - Очистка дисплея
    _delay_us(100);
    LCD_Command(0x06);           // 0b00000110 - Сдвиг курсора вправо после записи байта данных
    _delay_ms(10);
    LCD_Command(0x0C);           // 0b00001100 - Включение дисплея, курсор выключен
}

/* Установка начальной позиции вывода на LCD */
void LCD_Position(uint8_t x, uint8_t y)
{
    /* x - номер позиции; y - номер строки */

    addr = x;
    if (y) {
        addr += 0x40;
    }
    command = (0x80 | addr);
    LCD_Command(command);
}

```

```

/* ВЫВОД СТРОКИ НА LCD LCD WH-1602 */
void LCD_String()
{
    int i;
    i=0;
    while(str_buff[i] != 0x00)
    {
        LCD_Data(str_buff[i]);
        i++;
        if (i>17) break;
    }
}
/*-----/
/                               /
/-----*/
/* ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ */
void Sound(void)
{
    for (int k = 0; k < 3; k++)
    {
        for (int j = 0; j < 3; j++)
        {
            for (int i = 0; i < 200; i++)
            {
                if (PORTB & _BV(PB1)) { PORTB &= ~_BV(PB1); }
                else { PORTB |= _BV(PB1); }
                _delay_ms(1);
            }
            _delay_ms(50);
        }
        _delay_ms(500);
    }
}

/* ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ПОРТОВ */
void PORT_Init(void) {
    DDRB = 0b00101111;
    PORTB = 0b00000000;
    DDRC = 0b00001111;
    PORTC = 0b00000000;
    DDRD = 0b11100010;
    PORTD = 0b00011100;
}

/* ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ USART */
void USART_Init(unsigned int ubrr)
{
    UBRRH = (unsigned char)(ubrr>>8); // Установить скорость передачи
    UBRRL = (unsigned char)ubrr;
    UCSRB = (1<<RXSIE)|(1<<RXEN)|(1<<TXEN); // Включить приемник и передатчик
    // Разрешить прерывания при приеме данных
    UCSRC = (1<<URSEL)
        |(0<<UMSEL)
        |(0<<UPM1)|(0<<UPM0)
        |(0<<USBS)
        |(0<<UCSZ2)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0);
}

/* ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО USART */
void USART_Transmit(unsigned char data)
{

```

```

    while (!(UCSRA & (1<<UDRE))); // Ожидание окончания предыдущей передачи данных
    UDR = data; // Загрузка байта в буфер передачи, передача данных
}

/* ПЕРЕРЫВАНИЕ ПРИ ЧТЕНИИ USART*/
ISR(USART_RXC_vect)
{
    char b;
    b = UDR;

    if ((b == 0xff) && (RXDflag == 0))
    {
        RXDn = 0;
        RXDflag = 1;
    }

    if (RXDflag == 1)
    {
        RXD_buff[RXDn] = b;
        RXDn++;
    }

    if (RXDn > 9)
    {
        RXDflag = 2;
    }
}

/* ЗАПРОС ДАТЧИКА CO2 */
void MHZ19_request()
{
    cli();
    USART_Transmit(0xFF);
    USART_Transmit(0x01);
    USART_Transmit(0x86);
    USART_Transmit(0x00);
    USART_Transmit(0x00);
    USART_Transmit(0x00);
    USART_Transmit(0x00);
    USART_Transmit(0x00);
    USART_Transmit(0x79);
    sei();
}

/* ОБРАБОТАТЬ ПРИНЯТЫЙ ОТ ДАТЧИКА CO2 */
int MHZ19_RXDkadr(void)
{
    RXDflag = 0;
    return 0;
}

void LCD_show_mode(void)
{
    LCD_Position(0,0); // Установить позицию дисплея
    switch (dev_mode)
    {
        case 0: strcpy(str_buff,"1.Measurement "); // Подготовить строку к выводу на дисплей
                break;
        case 1: strcpy(str_buff,"2.Set HIGH-level"); // Подготовить строку к выводу на дисплей
                break;
        case 2: strcpy(str_buff,"3.Set LOW-level "); // Подготовить строку к выводу на дисплей
                break;
        case 3: strcpy(str_buff,"4.Set Sound "); // Подготовить строку к выводу на дисплей
                break;
    }
}

```

```

        case 4: strcpy(str_buff, "5.Set Hum (+/-) "); // Подготовить строку к выводу на дисплей
                break;
        default: break;
    }
    LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
}

/* ГЛАВНАЯ ПРОГРАММА */
int main(void)
{
    PORT_Init(); // Конфигурирование порта
    USART_Init(MYUBRR); // Инициализация USART
    LCD_Init(); // Инициализировать LCD
    EEPROM_Read(); // Чтение параметров из EEPROM
    sei(); // Разрешить прерывания
    LCD_Position(0,0); // Установить позицию дисплея
    strcpy(str_buff, " Preparing... "); // Преобразовать значение в строку
    LCD_String(); // Вывести строку на дисплей

    /* Progress-bar на экране */
    LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
    for (int i=0; i<16; i++)
    {
        LCD_Data(0xFF); // Вывести символ на дисплей
        _delay_ms(1000); // Задержка - 1 секунда
    }
    /* Очистить строку */
    LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
    strcpy(str_buff, " "); // Преобразовать значение в строку
    LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
    dev_mode = 0; // Установить начальный режим
    LCD_show_mode(); // Разметить экран
    while (1)
    {
        if ((PIND & (1 << PIND2)) == 0) // Нажата кнопка "Установка"
        {
            _delay_ms(200); // Защита от дребезга контактов
            if ((PIND & (1 << PIND2)) == 0) // Подтверждение: Нажата кнопка "Установка"
            {
                dev_mode++; // Сменить режим устройства
                if (dev_mode > 4) dev_mode = 0;
                LCD_show_mode();
                /* Очистить 2-ю строку */
                LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
                strcpy(str_buff, " "); // Преобразовать значение в строку
                LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
                switch(dev_mode)
                {
                    case 0:
                        /* Отображение текущего уровня CO2*/
                        LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
                        strcpy(str_buff, " CO2 = "); // Преобразовать значение в строку
                        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
                        itoa(ppm, str_buff, 10); // Преобразовать значение в строку
                        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
                        strcpy(str_buff, " ppm"); // Преобразовать значение в строку
                        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
                        break;
                    case 1:
                        /* Отображение текущей верхней границы уровня CO2*/

```



```

LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff,"HIGH =");// Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(7,1); // Установить позицию дисплея
itoa(ppm_level_high,str_buff,10); // Преобразовать значение в стро-
ку

LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff," ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
break;

case 2:
/* Отображение текущей нижней границы уровня CO2*/
LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff,"LOW =");// Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(7,1); // Установить позицию дисплея
itoa(ppm_level_low,str_buff,10); // Преобразовать значение в стро-
ку

LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff," ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
break;

case 3:
/* Отображение состояния звука */
LCD_Position(6,1); // Установить позицию дисплея
if (sound_on_off == 1)
    strcpy(str_buff,"ON "); // Преобразовать значение в стро-
ку
else
    strcpy(str_buff,"OFF"); // Преобразовать значение в стро-
ку

LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
break;

case 4:
/* Отображение корректирующей поправки влажности воздуха */
LCD_Position(6,1); // Установить позицию дисплея
if (humidity_sign == 0) strcpy(str_buff,"+ ");
if (humidity_sign == 1) strcpy(str_buff,"- ");
if (humidity_add == 0) strcpy(str_buff," ");
LCD_String();
LCD_Position(7,1);
itoa(humidity_add,str_buff,10);
LCD_String();
break;
default:
break;
}
while((PIND & (1 << PIND2)) == 0);
}
}
LCD_show_mode();

if (dev_mode == 1)
{
/* Увеличение верхней границы CO2 */
if((PIND & (1 << PIND3))==0) // Нажата кнопка "+(увелич.)"
{
    _delay_ms(100); // Защита от дребзга контактов
while((PIND & (1 << PIND3)) == 0) // Удержание кнопки "+(увелич.)"
{
    ppm_level_high += 10; // Увеличить сигнальный уровень на 10
if(ppm_level_high > 2500) // Сигнальный уровень больше верхнего предела

```

```

ppm_level_high = 2500; // Верхний предел сигнального уровня - 2500
LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff,"    "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
itoa(ppm_level_high,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff," ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
_delay_ms(500);
}
EEPROM_Write();      // Записать значение в EEPROM
}
/* Уменьшение верхней границы CO2 */
if((PIND & (1 << PIND4))==0) // Нажата кнопка "-(уменьш.)"
{
_delay_ms(100);        // Защита от дребезга контактов
while((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Удержание кнопки "-(уменьш.)"
{
ppm_level_high -= 10; // Уменьшить сигнальный уровень на 10
if(ppm_level_high < 400) // Сигнальный уровень больше верхнего предела
ppm_level_high = 400; // Нижний предел сигнального уровня - 2500
LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff,"    "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
itoa(ppm_level_high,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff," ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
_delay_ms(500);
}
EEPROM_Write();      // Записать значение в EEPROM
}
}
/* РЕЖИМ: Установка нижней границы */
if (dev_mode == 2)
{
/* Увеличение нижней границы CO2 */
if((PIND & (1 << PIND3))==0) // Нажата кнопка "+(увелич.)"
{
_delay_ms(100);        // Защита от дребезга контактов
while((PIND & (1 << PIND3)) == 0)// Удержание кнопки "+(увелич.)"
{
ppm_level_low += 10; // Увеличить сигнальный уровень на 10
if(ppm_level_low > 800) // Сигнальный уровень больше верхнего предела
ppm_level_low = 800; // Верхний предел сигнального уровня - 2500

LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff,"    "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(7,1);    // Установить позицию дисплея
itoa(ppm_level_low,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff," ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String();         // Вывести строку на дисплей
_delay_ms(500);
}
EEPROM_Write();      // Записать значение в EEPROM
}
}
/* Уменьшение нижней границы CO2 */
if((PIND & (1 << PIND4))==0) // Нажата кнопка "-(уменьш.)"

```

```

{
    _delay_ms(100); // Защита от дребезга контактов
    while((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Удержание кнопки "-(уменьш.)"
    {
        ppm_level_low -= 10; // Уменьшить сигнальный уровень на 10
        if(ppm_level_low < 400) // Сигнальный уровень больше верхнего предела
            ppm_level_low = 400; // Нижний предел сигнального уровня - 2500

        LCD_Position(7,1); // Установить позицию дисплея
        strcpy(str_buff, " "); // Преобразовать значение в строку
        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
        LCD_Position(7,1); // Установить позицию дисплея
        itoa(ppm_level_low, str_buff, 10); // Преобразовать значение в строку
        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
        strcpy(str_buff, " ppm"); // Преобразовать значение в строку
        LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
        _delay_ms(500);
    }
    EEPROM_Write(); // Записать значение в EEPROM
}

/* РЕЖИМ: Установка звука */
if (dev_mode == 3)
{
    /* Включение звука */
    if((PIND & (1 << PIND3)) == 0) // Нажата кнопка "+(увелич.)"
    {
        _delay_ms(100); // Защита от дребезга контактов
        while((PIND & (1 << PIND3)) == 0) // Удержание кнопки "+(увелич.)"
        {
            sound_on_off = 1;
            LCD_Position(6,1); // Установить позицию дисплея
            strcpy(str_buff, "ON "); // Преобразовать значение в строку
            LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
            _delay_ms(500);
        }
        EEPROM_Write(); // Записать значение в EEPROM
    }
    /* Выключение звука */
    if((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Нажата кнопка "-(уменьш.)"
    {
        _delay_ms(100); // Защита от дребезга контактов
        while((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Удержание кнопки "-(уменьш.)"
        {
            sound_on_off = 0;
            LCD_Position(6,1); // Установить позицию дисплея
            strcpy(str_buff, "OFF"); // Преобразовать значение в строку
            LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
            _delay_ms(500);
        }
        EEPROM_Write(); // Записать значение в EEPROM
    }
}

/* РЕЖИМ: Установка коорректирующей поправки для влажности воздуха */
if (dev_mode == 4)
{
    humidity_add_real = humidity_add;
    if (humidity_sign == 1) humidity_add_real = -humidity_add_real;

    /* Увеличение корректирующей поправки */
    if((PIND & (1 << PIND3)) == 0) // Нажата кнопка "+(увелич.)"

```

```

    {
        _delay_ms(100); // Защита от дребезга контактов
        while((PIND & (1 << PIND3)) == 0) // Удержание кнопки "+(увелич.)"
        {
            humidity_add_real++;
            if (humidity_add_real > 30)
                humidity_add_real = 30;
            humidity_add = abs(humidity_add_real);
            if (humidity_add_real < 0) humidity_sign = 1;
            if (humidity_add_real >= 0) humidity_sign = 0;

            /* Отображение корректирующей поправки влажности воздуха */
            LCD_Position(6,1); // Установить позицию дисплея
            if (humidity_sign == 0) strcpy(str_buff, "+ ");
            if (humidity_sign == 1) strcpy(str_buff, "- ");
            if (humidity_add == 0) strcpy(str_buff, " ");
            LCD_String();
            LCD_Position(7,1);
            itoa(humidity_add, str_buff, 10);
            LCD_String();
            _delay_ms(500);
        }
        EEPROM_Write();
    }

    /* Уменьшение корректирующей поправки */
    if((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Нажата кнопка "-(уменьш.)"
    {
        _delay_ms(100); // Защита от дребезга контактов
        while((PIND & (1 << PIND4)) == 0) // Удержание кнопки "-(уменьш.)"
        {
            humidity_add_real--;
            if (humidity_add_real < -30)
                humidity_add_real = -30;
            humidity_add = abs(humidity_add_real);
            if (humidity_add_real < 0) humidity_sign = 1;
            if (humidity_add_real >= 0) humidity_sign = 0;

            /* Отображение корректирующей поправки влажности воздуха */
            LCD_Position(6,1);
            if (humidity_sign == 0) strcpy(str_buff, "+ ");
            if (humidity_sign == 1) strcpy(str_buff, "- ");
            if (humidity_add == 0) strcpy(str_buff, " ");
            LCD_String();
            LCD_Position(7,1);
            itoa(humidity_add, str_buff, 10);
            LCD_String();
            _delay_ms(500);
        }
        EEPROM_Write();
    }
}

/* РЕЖИМ: Измерение */
if (dev_mode == 0)
{
    LCD_Position(0,1);
    strcpy(str_buff, " Waiting... ");
    LCD_String();
    _delay_ms(1000);
    MHZ19_request(); // Запрос датчика CO2
    if (RXDflag == 2) // Прием кадра от датчика CO2 завершен?
    {

```

```

MHZ19_RXDkadr(); // Обработать принятый от датчика CO2 кадр
ppm_high_byte = RXD_buff[2];
ppm_low_byte = RXD_buff[3];
ppm = 256*ppm_high_byte + ppm_low_byte; // Вычисление CO2
/* Очистка строки */
LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff, " "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
/* Отображение текущего уровня CO2*/
LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff, " CO2 = "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
itoa(ppm,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff, " ppm"); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
/* Управление светодиодами */
LED_GREEN_OFF;
LED_YELLOW_OFF;
LED_RED_OFF;
if (ppm <= ppm_level_low) LED_GREEN_ON;
if ((ppm > ppm_level_low) && (ppm < ppm_level_high)) LED_YELLOW_ON;
if (ppm >= ppm_level_high) LED_RED_ON;
/* Звук */
if (sound_on_off == 1)
{
    if (ppm < ppm_level_high) sound_flag = 0;
    if ((ppm >= ppm_level_high) && (sound_flag == 0))
    {
        Sound(); // Включить звук
        sound_flag = 1; // Флаг "Звуковой сигнал прозвучал"
    }
}
_delay_ms(5000); // Пауза - 5секунд - на отображение CO2
/* Измерение температуры и влажности */
DHT11_get_data();
/* Очистка строки */
LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff, " "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
/* Отображение текущего уровня температуры и влажности */
LCD_Position(0,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff, "T= "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
itoa(temperatureDHT11,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
LCD_Data(0xDF);
strcpy(str_buff, "C "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
LCD_Position(8,1); // Установить позицию дисплея
strcpy(str_buff, "H= "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
itoa(humidityDHT11,str_buff,10); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
strcpy(str_buff, "% "); // Преобразовать значение в строку
LCD_String(); // Вывести строку на дисплей
_delay_ms(5000); // Пауза - 5секунд

```