

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

БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**«РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У
МІСТІ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ»**

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-206
спеціальності 152 - Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Бондар М.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС

 Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

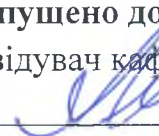
Рецензент: доц. каф. БМІОЕС, к.т.н., доц.

 Тужанський С.Є.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

 д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти І-й (бакалаврський)
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 152 - Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бондарю Максиму Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу

керівник роботи к. т. н. доц., Дудат'єв І.А.,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» 03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Газ що контролюється – CO₂. Метод вимірювання – оптико-абсорбційний. Кількість вимірвальних каналів -4. Дестабілізуючі фактори на основний канал – тиск. вологість. температура.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Особливості об'єкта дослідження. Аналіз схем оптико-абсорбційних засобів контролю концентрації компонентів атмосферних газів. Розробка математичної моделі вимірювача концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах. Розробка засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах та оцінювання його метрологічних характеристик . Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Спектр поглинання CO₂ у діапазоні 0.75-15 мкм; Спектр поглинання N₂O у діапазоні 0.75-15 мкм; Спектр поглинання CO у діапазоні 0.75-15 мкм; Спектр поглинання CH₄ у діапазоні 0.75-15 мкм; Газоаналізатор; Модуль датчика якості повітря MQ-135; Тестер запиленості Walcom.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент кафедри ІРТС к.т.н. доц., Дудатьєв ІА.		

7. Дата видачі завдання 18.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-23.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	20.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз шляхів вирішення поставленої задачі.	01.04.2024-15.05.2024	
5.	Математичне моделювання. Розробка структурної схеми.	16.05.2024-20.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	21.05.2024-28.05.2024	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	28.05.2024-06.06.2024	
8.	Нормоконтроль	07.06.2024-09.06.2024	
9.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	10.06.2024-14.06.2024	
10.	Захист БДР ЕК	18.06.2024	

Студент


(підпис)

Бондар М.Д.

Керівник роботи


(підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 502.175

Бондар М.Д. Розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с. На українській мові. Бібліогр.: 15 назв; табл.: 1; рис. 55.

У цій бакалаврській дипломній роботі розглядається розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу. Основна мета роботи полягає у створенні ефективного та надійного інструменту для моніторингу концентрації шкідливих речовин у повітрі з використанням сучасних оптичних технологій.

Розроблений засіб контролю рівня забруднення повітря може бути використаний для моніторингу екологічного стану міст, що сприятиме підвищенню якості життя населення та забезпеченню екологічної безпеки.

Ключові слова: сенсор, засіб, контроль, оптичний метод, концентрація, забруднення повітря.

ABSTRACT

Bondar M.D. Development of a means of controlling the level of air pollution in the city based on the optical absorption method. Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 71 p. In Ukrainian language. Bibliography: 15 titles; table: 1; Fig. 55.

In this bachelor's thesis, the development of a tool for monitoring air pollution levels in a city using the optical absorption method is examined. The main goal of the work is to create an effective and reliable instrument for monitoring the concentration of harmful substances in the air using modern optical technologies.

The developed air pollution monitoring tool can be used for monitoring the environmental condition of cities, contributing to the improvement of the population's quality of life and ensuring environmental safety.

Key words: sensor, tool, control, optical method, concentration, air pollution.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1. Огляд сучасних методів для визначення концентрації газів	8
1.2 Вибір методу контролю концентрації компонентів атмосферних газів...	20
1.3 Математичне представлення оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.....	23
1.4 Висновки до розділу 1.....	29
2 АНАЛІЗ СХЕМ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ АТМОСФЕРНИХ ГАЗІВ	30
2.1. Аналіз варіантів побудови оптичних засобів контролю концентрації компонентів атмосферних газів	30
2.2 Огляд сучасних засобів визначення концентрації компонентів атмосферних газів.....	35
2.3 Висновки до розділу 2.....	39
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У АТМОСФЕРНИХ ГАЗАХ.....	40
3.1. Математична модель перенесення випромінювання в середовище атмосферних газів	40
3.2 Математична модель вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю атмосферних газів	41
3.3 Дослідження коефіцієнту передачі та чутливості оптичного газового сенсора. Аналіз коефіцієнту передачі оптичного газового сенсора	44
3.4 Висновки до розділу 3.....	45

4 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У АТМОСФЕРНИХ ГАЗАХ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	46
4.1 Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах	46
4.2 Розробка функціональної схеми засобу атмосферних газах	47
4.3 Аналіз шляхів подачі газу на засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах.....	50
4.4 Оцінення основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах.....	53
4.5 Висновки до розділу 4.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63
Додаток А (Обов’язковий) Протокол перевірки роботи.....	65
Додаток Б (Обов’язковий) Ілюстративна частина.....	67

ВСТУП

Актуальність.

Тема "Розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу" є актуальною з кількох причин:

Проблема забруднення повітря: Забруднення повітря є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. У містах високі рівні забруднення повітря негативно впливають на здоров'я людей, викликаючи респіраторні, серцево-судинні та інші захворювання. Тому контроль і моніторинг рівня забруднення повітря є надзвичайно важливими для забезпечення здорового середовища проживання.

Зростання урбанізації: Зі збільшенням кількості населення у містах зростає кількість автомобілів, промислових підприємств та інших джерел забруднення. Це підвищує необхідність у точних і надійних методах контролю якості повітря, щоб оперативно реагувати на зміни і запобігати негативним наслідкам для здоров'я та довкілля.

Сучасні технології моніторингу: Оптико-абсорбційний метод є одним з найсучасніших і найбільш точних методів вимірювання рівня забруднення повітря. Цей метод дозволяє швидко і точно визначати концентрації різних шкідливих речовин у повітрі, таких як оксиди азоту, сірки, вуглекислий газ та інші. Впровадження таких технологій у засоби моніторингу є критично важливим для ефективного управління якістю повітря.

Законодавчі вимоги: У багатьох країнах існують строгі нормативи щодо якості повітря, і дотримання цих норм є обов'язковим. Тому розвиток засобів контролю забруднення повітря, які відповідають цим нормативам, є необхідним для виконання законодавчих вимог та захисту навколишнього середовища.

Економічні аспекти: Забруднене повітря не тільки шкодить здоров'ю людей, але й негативно впливає на економіку, викликаючи зростання витрат на охорону здоров'я та знижуючи продуктивність праці. Ефективний моніторинг забруднення повітря дозволяє приймати своєчасні заходи для зменшення цього впливу і, таким чином, знижувати економічні збитки.

Інформування громадськості: Точні дані про рівень забруднення повітря допомагають підвищувати обізнаність громадськості про екологічні проблеми і сприяють формуванню екологічно свідомої поведінки. Це важливо для залучення громадян до участі у заходах з охорони довкілля та підтримання чистоти повітря.

Таким чином, розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу є надзвичайно актуальною темою, яка має важливе значення для збереження здоров'я людей, захисту навколишнього середовища і забезпечення стійкого розвитку міських територій.

Метою роботи є розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі задачі:

- метрологічний аналіз сучасних засобів контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу;
- класифікація засобів контролю рівня забруднення повітря у місті;
- розробка засобів контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу.

Об'єктом дослідження в роботі є процес вимірювального контролю метрологічних засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу.

Предметом дослідження є методи та засоби, які можна застосувати при побудові засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів, які були використані для обробки експериментальних результатів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, що представлені в роботі, одержані автором самостійно.

1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд сучасних методів для визначення концентрації газів

Системна організація методів контролю складу газів. На основі інформації, наданої в огляді методів регулювання концентрації, ми його систематизували (рис.1.1).

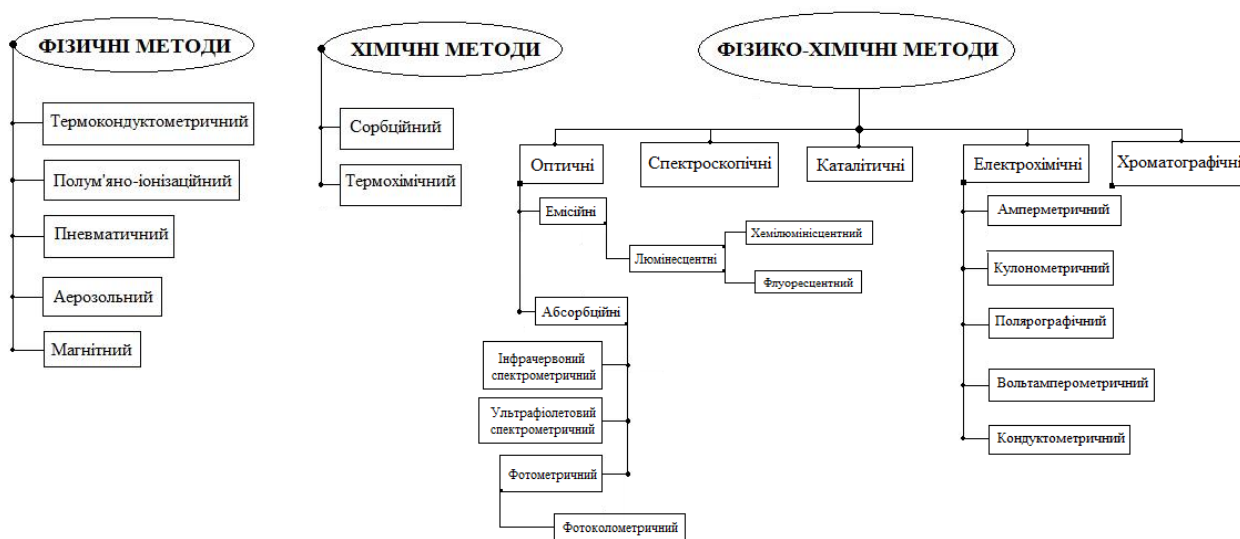


Рисунок 1.1 – Систематизація методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів

Механічні методи, незважаючи на їх універсальність, вибірковість і простоту, не можуть бути прийняті через низьку чутливість, низьку точність і тривалий час аналізу. Область застосування магнітних методів обмежена аналізом парамагнітних газів (O_2 , NO , NO_2). Крім того, вони страждають низькою точністю і низькою чутливістю. Термічні методи характеризуються безперервністю аналізу та необмеженим діапазоном вимірювань.

Однак ці методи мають суттєві недоліки, які ускладнюють їх використання в системах автоматичного керування: висока інерційність, нелінійність градаційної поведінки, електрична залежність теплопровідності від навколи-

шніх умов (коливання атмосферного тиску, швидкості газообміну, коливання газів).) залежність. Температура середовища, струм живлення, вібрація тощо). Ці методи також не забезпечують необхідної селективності і можуть бути використані лише тоді, коли теплопровідність визначеного компонента істотно відрізняється від теплопровідності інших компонентів суміші. Тому наступні методи не підходять для аналізу газу при вимірюванні малих концентрацій.

Пневматичний режим. Газоаналізатор з датчиком дросельної заслінки вимірює гідравлічний опір газу при його проходженні через дросель (капілярну трубку). При постійній швидкості потоку газу падіння тиску на дросельній заслінці є функцією щільності (дросельні заслінки з турбулентним потоком), в'язкості (дросельні заслінки з ламінарним потоком) або обох.

Наприклад, струминні газоаналізатори використовуються в азотній промисловості для вимірювання вмісту N_2 в азоті (діапазон вимірювання 0-50%) і в хлорній промисловості для визначення Cl_2 (0-50 і 50-100%). Ці газоаналізатори не займають більше кількох секунд, щоб встановити докази, тому їх також використовують як газові детектори для виявлення передвибухових концентрацій газів і парів певних речовин у повітрі (наприклад, дихлоретану, вінілхлориду). Промислові заводи.

Аероакустичний газоаналізатор містить два свистка однакової частоти (3-5 кГц), один з яких пропускає аналізований газ, а другий - для порівняння. Частота звукових коливань в змішувачі залежить від щільності аналізованого газу. Удари (з частотою до 120 Гц) підсилюються за допомогою підсилювачів і перетворюються в пневматичні коливання. Для отримання вихідного сигналу (тиску) використовуйте аналоговий перетворювач частоти.

Пневматичні газоаналізатори не дуже вибіркові. Вони придатні для аналізу сумішей, у яких змінюється концентрація лише одного з компонентів, а співвідношення між концентраціями інших компонентів залишається пос-

тійним, і не придатні для контролю концентрації компонентів атмосферних газів. Діапазон вимірювань від одиничних цифр до десятків відсотків. Пневматичні газоаналізatori не містять електричних компонентів і тому можуть використовуватися в будь-якій категорії пожежо- та вибухонебезпечних місць. Компоненти схеми, що контактують з газами, виготовлені зі скла та фторопласту та можуть аналізувати висококорозійні гази (хлориди).

Фізичні методи. Метод теплопровідності. Принцип роботи заснований на залежності теплопровідності газової суміші від її складу. Для більшості людей це рівняння працює як:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C_i, \quad (1.1)$$

де λ – теплопровідність суміші; λ_i – теплопровідність i -того компонента; C_i – концентрація i -того компонента; n – число компонентів.

Газоаналізатор теплопровідності характеризується низькою селективністю, якщо компонент, що підлягає моніторингу, значно відрізняється від інших компонентів, газоаналізатор теплопровідності можна використовувати, наприклад, для визначення H_2 , Ag , CO_2 тощо, що містять N_2 , O_2 та інші. Діапазон вимірювань від об'ємних відсотків до десятків відсотків.

Зміна складу газової суміші викликає зміну її теплопровідності, що призводить до зміни опору металевого або напівпровідникового терморезистора, нагрітого електричним струмом, розміщеного в камері, через яку протікає суміш. При цьому

$$\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} = \frac{\alpha}{a} \cdot I^2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right), \quad (1.2)$$

де α – конструктивний параметр камери; R_1 і R_2 – опори струму I , що проходить через термістор, при теплопровідності газового середовища.

Вимірюванням концентрації компонента є струм, виміряний вторинним пристроєм. Газоаналізатори теплопровідності широко використовуються для контролю виробничих процесів (H_2SO_4 , NH_3 , HNO_3). Недоліками теплопровідного методу є низька селективність і висока швидкість. Крім того, його діапазон вимірювання менший.

Магнітний метод використовується для визначення ступеню споживання кисню. В основі роботи методу лежить залежність магнітної сприйнятливості газової суміші від концентрації кисню, магнітна сприйнятливості якого в два рази перевищує магнітну сприйнятливості інших газів. Цей вид детектора газу дозволяє точно ідентифікувати кисень у складних газах. Діапазон концентрацій, який вимірюється, становить 10-100%. Найбільш поширені типи магнітних і термодатчиків газу.

У магнітному газоаналізаторі сили, які діють в неоднорідному магнітному полі, реєструються, коли ротор вставляється в суміш і потім відпускається. Сила F , яка виводить об'єкт з магнітного поля, визначається формулою

$$F = (\chi - \chi_\tau) \int_0^V H \cdot \frac{dH}{d\chi} dV, \quad (1.3)$$

де χ – об'ємна магнітна сприйнятливості, яка відповідає суміші, що аналізується і тіла, поміщеного в газ; V – об'єм тіла; H – напруженість магнітного поля.

Як правило, концентрація компонентів вимірюється за крутним моментом, розрахованим на основі кута обертання ротора. Показання магнітного

газоаналізатора визначаються магнітними властивостями газової суміші, що аналізується, і залежать від титру і тиску, оскільки останнє впливає на об'ємну ємність газу.

Принцип роботи магнітокалоричного газоаналізатора заснований на термомагнітній конвекції O₂-вмісних газових сумішей в неоднорідних магнітних і температурних полях.

Основним недоліком механічних методів (магнітомеханічного і магнітокалоричного) є дуже мала швидкодія. Механічні методи не гарантують високої селективності вимірювання (особливо, коли суміш містить три і більше компонентів).

Хімічний метод. Термохімічний метод. Суть термохімічних методів аналізу газів полягає у вибіркового поглинанні того чи іншого компонента рідким (іноді твердим) реактивом. Метод заснований на хімічній реакції, в якій з даної газоподібної речовини і даної абсорбуючої речовини утворюється нова речовина, яка фактично не присутня в газовій фазі. Компоненти газової суміші по черзі поглинаються різними абсорбентами, їх кількість визначається різницею об'ємів до і після поглинання.

Цим методом визначають вміст наступних компонентів: вуглекислого газу, кислих газів, таких як сірководень і діоксид сірки, ненасичених вуглеводнів, гомологічних вуглеводнів бензолу, кисню, оксиду вуглецю, водню, насичених вуглеводнів, азоту, аргону та інших одноатомних газів. Кожен газ можна визначити з достатньою точністю, якщо його вміст у досліджуваній газовій суміші становить не менше 0,05-0,1 % за об'ємом (приблизно 0,5 г/м³).

Зазначена вище чутливість цього методу не дозволяє віднести його до високочутливих і використовувати для вирішення даної задачі. Недоліком також є те, що для кожного компонента складної газової системи використовується спеціальний реагент, який діє виключно на цей газ і фактично не діє

на інші компоненти газової суміші. Оскільки газова суміш, що утворюється при спалюванні природного газу, досить складна, підбір таких реагентів є дуже складним завданням.

Фізико-хімічні методи. Інфрачервоний метод поглинання світла. Ефект заснований на вибіркового поглинанні інфрачервоного випромінювання молекулами газу і пари в діапазоні 1-15 мікрон. Це випромінювання поглинається всіма газами, молекули яких складаються принаймні з двох різних атомів. Висока специфічність спектрів поглинання різних молекул газу визначає високу селективність даного типу газоаналізаторів і його широке застосування в лабораторіях і промисловості. Діапазон вимірювання концентрації 0-100%. У дисперсних газоаналізаторах використовується випромінювання однієї довжини хвилі, отримане за допомогою монохроматора (призма, дифракційна решітка).

Завдяки особливостям оптичної схеми приладу (використання фільтрів, спеціальних приймачів) в недисперсійних газоаналізаторах використовується немонохроматичне випромінювання.

Випромінювання від джерела проходить послідовно через оптичний фільтр і робочу кювету, в яку вводиться аналізована суміш, і в спеціальний приймач. Якщо вимірюваний компонент присутній у суміші, залежно від його концентрації він поглинає частину випромінювання, і зареєстрований сигнал змінюється пропорційно. Джерелом випромінювання зазвичай є розігріта спіраль із широким спектром випромінювання, інфрачервоний лазер, що випромінює випромінювання у вузькому спектральному діапазоні, або світлодіод. При використанні немонохроматичних джерел випромінювання селективність визначення досягається за допомогою приймача.

Найбільш поширеним газоаналізатором є газонаповнений фотоакустичний приймач. Останній являє собою герметичну камеру з вікном, заповненим газом, концентрацію якого необхідно виміряти. Газ поглинає частину

потіку випромінювання, характерну для набору спектральних ліній газу, і нагрівається, викликаючи підвищення тиску в камері. За допомогою механічного модулятора потік випромінювання працює на певній частоті. В результаті тиск повітря в ресивері пульсує з однаковою частотою. Амплітуда пульсацій тиску — це міра інтенсивності поглиненого газом випромінювання, яка залежить від того, скільки характеристичного випромінювання поглинає цей же газ у робочій кюветі. Інші компоненти суміші не поглинають випромінювання на цих довжинах хвиль. Амплітуда пульсацій тиску в приймачі випромінювання є мірою визначених кількостей компонентів у суміші, що проходить через робочу кювету. Зміни тиску зазвичай вимірюють за допомогою конденсаторних мікрофонів або датчиків потоку газу.

Інші інфрачервоні газові датчики використовують невибіркові пристрої виявлення випромінювання - термометри, датчики тепла батарейного типу, напівпровідникові компоненти. Далі, для джерел, які мають широкий спектр випромінювання, специфіка визначення впливає з використання інтерференційних і газових фільтрів. Щоб підвищити точність і стабільність вимірювання, частину випромінювання, яка вимірюється, зазвичай пропускають через порівняльну кювету, наповнену газом, який не поглинає випромінювання, яке реєструється, різниця або співвідношення сигналів від проходження випромінювання потім вимірюється через робочу та порівняльну кювети.

Інфрачервоні газоаналізатори широко використовуються для аналізу газів. Наприклад, їх використовують для визначення CO_2 , NH_3 , CH_4 у газах процесів виробництва аміаку, парів різних розчинників у повітрі промислових підприємств, оксидів азоту, SO_2 та вуглеводнів у автомобільних та димових газах.

Недоліком інфрачервоного методу є неможливість визначення певних одноатомних газів (наприклад, O_2). Ця задача вирішується за допомогою ма-

тематичних і аналітичних операцій. Іншим недоліком є те, що спектри поглинання деяких газів перекриваються. Ця проблема вирішується шляхом вибору довжини поглинання газу таким чином, щоб інші гази не потрапляли в зону.

Хемілюмінесцентний метод. У хемілюмінесцентному газоаналізаторі вимірюють інтенсивність світіння, що збуджується хімічною реакцією контрольованого компонента з твердим, рідким або газоподібним реагентом. Суміш і реагенти, що аналізуються, надходять у реакційну камеру через дросельну заслінку. Насос забезпечує необхідний тиск в камері. При наявності в суміші певного компонента випромінювання, що супроводжує хемілюмінесцентну реакцію, подається через фільтр на катод фотоелектронного помножувача, який розташований безпосередньо біля реакційної камери. Електричний сигнал від фотоелектронного помножувача, пропорційний концентрації контрольованого компонента, посилюється і передається на вторинний пристрій. При вимірюванні слабкого світлового потоку, який виникає при малих концентраціях компонентів, фотокатод охолоджується електричним мікроохолоджувачем для зменшення фонового струму.

Щоб виміряти концентрацію NO_2 , у пристрої передбачений перетворювач для перетворення NO_2 в NO , а потім суміш, що аналізується, надсилається в реакційну камеру. При цьому вихідний сигнал пропорційний сумарному вмісту NO і NO_2 . Якщо суміш надходить після проходження через перетворювач, на основі вихідного сигналу визначається лише концентрація NO . Різниця між цими сигналами визначає вміст NO_2 в суміші.

Селективність хемілюмінесцентних газоаналізаторів в першу чергу базується на специфічності обраної реакції, але додаткові компоненти в суміші можуть змінити чутливість приладу. Цей тип газоаналізатора призначений для вимірювання NO , NO_2 , NH_3 і O_3 в повітрі при концентрації 0-1%.

Принцип хемілюмінесцентного методу заснований на фотометричному визначенні світлового потоку, що випромінюється при хімічній взаємодії вимірюваного компонента газової суміші з хемілюмінесцентним реактивом. Цей метод дуже чутливий і відносно простий. Він використовується для аналізу слідів домішок, таких як озон O_3 , оксиди азоту NO і NO_2 і оксиди сірки SO_2 в атмосфері [9].

Прилади, що використовують хімічне освітлення, мають більшу швидкість (30-50 с) [13]. Межі виявлення аналізованих компонентів такі: SO_2 – $8,5 \cdot 10^{-4}$ мг/м³ для O_3 – $3,1 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, для NO та NO_2 – $1,4 \cdot 10^{-2}$ мг/м³.

Цей підхід досить специфічний. Однак його основним недоліком є низька специфічність, спектри люмінесценції зазвичай мають широку основу і часто перетинаються. Лише деякі речовини мають чіткий спектр випромінювання світла.

Флуоресцентний метод. Флуоресцентні газоаналізатори вимірюють інтенсивність (довжину хвилі) флуоресценції, яка виникає під час впливу ультрафіолетового випромінювання на контрольований компонент. Суміш, що аналізується, надходить у камеру детектора, яка відокремлена від джерела імпульсів УФ-випромінювання та фотопомножувача фільтром, що пропускає випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає імпульсу. Фотоелектронний помножувач орієнтований під кутом 90° до джерела випромінювання і реєструє імпульси флуоресценції, амплітуда яких пропорційна концентрації компонента в камері. Електричний сигнал від фотопомножувача підсилюється та обробляється перед тим, як надсилається на вторинний пристрій. Газоаналізатори для вимірювання SO_2 характеризуються високою чутливістю і вибірковістю. Використовуються в автоматичних станціях екологічного контролю. Головним недоліком флуоресцентного методу є його низька надійність. Завдяки складній структурі засоби його використання.

Світлова колориметрія. Ці прилади вимірюють інтенсивність забарвлення продуктів селективних реакцій між вимірюваними компонентами та спеціально підібраними реагентами. Як правило, реакцію проводять у розчині (рідкі газоаналізатори) або на твердому носії у вигляді смужок, гранул або порошків (відповідно смужки, гранули, порошкові газоаналізатори).

Випромінювання від джерела проходить через робочу і порівняльну кювети і потрапляє у відповідні приймачі випромінювання. Розчин індикатора протікає через кювету та абсорбер з постійною швидкістю. Газ, що аналізується, проходить через абсорбер проти потоку розчину. Компонент, що визначається, взаємодіє з реагентами в розчині, викликаючи зміну оптичної густини в робочій кюветі, пропорційну концентрації компонента. В результаті інтенсивність випромінювання змінюється через одну кювету, а не через іншу. Різниця (або співвідношення) між сигналами робочого і порівняльного каналів є мірою концентрації компонентів в аналітичній суміші.

Подача розчину може бути безперервною або періодичною. При регулярній подачі газ протягом певного часу проходить через одну і ту ж частину розчину, що дозволяє підвищити чутливість аналізу. Цей тип газоаналізатора може вимірювати середню концентрацію компонента за певний період часу, наприклад, при визначенні середньодобової концентрації токсичних домішок у повітрі. Хоча цей метод має високу чутливість, його селективність і швидкість невисокі через особливості самого процесу вимірювання.

Амперометричний метод. Робота амперометричного газоаналізатора заснована на залежності між струмом і кількістю компонента, який, як визначено, реагує на індикаторному електроді. Якщо контрольований елемент повністю вступає в електрохімічну реакцію, закон Фарадея виконується як:

$$I = n \cdot F \cdot Q \cdot C_i, \quad (1.4)$$

де I – струм; Q – витрата газу; C – концентрація i -го компонента; F – число Фарадея; n – число електронів, що беруть участь в реакції.

Вибираючи індикаторний електрод і його потенціал, гарантується, що електрохімічне перетворення цього компонента в газовій суміші має 100% вихідний струм (тобто відсутність вторинних електродних реакцій). Оскільки електроди порівняння та індикаторні електроди виготовлені з двох різних спеціально підібраних металів, таких як Zn, Au та Pb, Ni та Cd (тип гальванічного елемента), необхідна постійна різниця потенціалів підтримується. Різниця потенціалів стабілізується за допомогою електронної системи за допомогою третього допоміжного електрода (потенціостатичної комірки).

Аналізатори струму використовуються для визначення газів з окисно-відновними властивостями (SO_2 , NO_2 , H_2S , O_2 , C_2H_2 , O_2). Перевагами амперометричних газоаналізаторів є висока чутливість і вибірковість. Недоліками цього методу є малий діапазон вимірювання, низька швидкодія і низька селективність.

Метод іонізації. Їх дія заснована на залежності електропровідності іонізованого газу від його складу. Наявність домішок у газі може додатково впливати на процес утворення іонів або на їх рухливість і, отже, на рекомбінацію. Результируюча зміна провідності пропорційна вмісту домішок.

Усі аналізатори іонізованого газу містять проточну іонізаційну камеру з певною різницею потенціалів, що прикладається до її електродів. Ці прилади широко використовуються для контролю слідових домішок у повітрі, а також для детекторів у газових хроматографах. Розглянемо найпоширеніші типи іонізованих газоаналізаторів, які не вимагають попереднього хроматографічного розділення проби.

Радіоізотопні газоаналізатори здійснюють іонізацію газів радіоактивним випромінюванням і включають в себе прилади на основі іонізаційних перерізів, пристрої захоплення електронів і аерозольні іонізаційні пристрої.

По-перше, використовують відмінності в перерізах іонізації компонентів суміші. Іонізація зазвичай здійснюється випромінюванням ^{90}Sr , ^3H , ^{63}Ni , ^{147}Pm . Ці газоаналізатори не є селективними, використовуються для аналізу сумішей $\text{H}_2\text{-N}_2$, $\text{N}_2\text{-CO}_2$, $\text{H}_2\text{-CH}_4$, $\text{H}_2\text{-CH}_3\text{SiCl}_3$, $\text{H}_2\text{-BCl}_3$, встановлений час для зчитування; Максимум 0,1 секунди.

Метод полум'яної іонізації. У полум'яно-іонізаційному газоаналізаторі молекули, які підлягають аналізу, перетворюються на іони у водневому полум'ї. Ефективність процесу іонізації залежить від кількості атомів С, які потрапляють у полум'я за одиницю часу, а також від складу молекул матеріалу. Пальник вважається одним з електродів камери, в якій відбувається процес іонізації. Другий електрод («колектор») являє собою тонкостінний циліндр або кільце. Ці газоаналізатори призначені для визначення органічних сполук (таких як O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2O та CH_4) у повітрі та процесах газів.

У присутності кількох органічних компонентів одночасно можна знайти суму або концентрацію компонентів зі значно вищою ефективністю іонізації. За допомогою полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів контролюють зміни загального вмісту вуглеводнів і токсичних домішок у повітрі промислових майданчиків, чистоту автомобільних вихлопних газів, витoki газу в трубопроводах і підземних комунікаціях. Діапазон вимірюваної концентрації 0,5-1%. Ефективність іонізації органічних газів і парів безпосередньо пов'язана з вибухонебезпечністю їх суміші з повітрям. Це може контролювати вибухову концентрацію органічних речовин на промислових підприємствах, шахтах і тунелях.

Основним недоліком методу полум'яної іонізації є те, що він не може визначити неорганічні речовини (наприклад, CO і CO_2). Крім того, цей метод має недолік низької селективності при аналізі багатокомпонентних сумішей.

1.2 Вибір методу контролю концентрації компонентів атмосферних газів

Для оцінки якості та порівняння різних методів і заходів вирішальне значення має вибір критеріїв оцінки їх валідності. Вибір конкретних стандартів продуктивності залежить від призначення вимірювального приладу та вимог до нього. Розроблено загальні рекомендації, які слід враховувати при виборі стандартів ефективності [11,12].

Стандарт повинен:

- 1) Відображати основне призначення засобу контролю;
- 2) Критичні параметри, які дозволено змінювати;
- 3) він конструктивний, що дозволяє відносно легко визначити його вартість;
- 4) Досить загальний, щоб дозволити порівняти ефективність систем однакового призначення та вибрати найкращий варіант.

У теорії інформаційних і вимірювальних систем використовуються різні властивості, такі як точність, швидкість, надійність і вартість, кожна з яких може бути використана як окремий показник для контролю якості інструменту. Окремі показники описують контроль з тієї чи іншої точки зору і не дають повної картини його загальної ефективності. Це говорить про необхідність універсальних стандартів ефективності. Найбільш простим і зручним базовим методом аналізу та вибору методу контролю для розробки засобів вимірювання є УЯКЕ.

УЯКЕ являє собою реалізацію поставлених перед засобами управління цілей (ефектів). Цей критерій можна розуміти як такий, що приймає лише два значення: «1» — якщо мета досягнута, «0» — якщо мета досягнута, і навпаки. Тоді якісний критерій ефективності буде сумою часткових якісних

критеріїв ефективності, які характеризують часткові цілі, встановлені для засобів контролю

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (1.5)$$

де a_i – вагові коефіцієнти; n – загальна кількість якісних критеріїв ефективності.

Загальна ефективність визначається співвідношенням ефективності вимірювального засобу за методом контролю фактичної концентрації компонентів диму та ефективності вимірювального засобу за потенційним методом контролю

$$E_i = \frac{k_i}{k_{opt}}, \quad (1.6)$$

де k_i – узагальнений якісний критерій i -ого методу; k_{opt} – потенційний (зразковий) метод контролю.

Щоб досягти будь-якої окремої мети, інструмент контролю повинен повністю реалізувати свій потенціал у рамках методу контролю, для якого він використовується. Це дозволяє провести порівняльний аналіз інструментів вимірювання на рівні використовуваних методів контролю. При цьому немає необхідності встановлювати зв'язок між УΥАКЕ і параметрами вимірювального приладу. Його конкретне значення або інтервал вимірювання буде визначати значення УΥАКЕ. У таблиці 1.1 наведено порівняння методів контролю концентрації компонентів газів. Вагові коефіцієнти наведені в таблиці 1.1. Введіть під час аналізу відгук 1.2 («1» - вимоги виконано, «0» - не повідомляється).

Таблиця 1.1 – Порівняння методів для контролю концентрації газу

Метод/ Параметр	Діапазон вимірювань	Швидкість	Надійність	Багато- компонентність	Вибірковість	УЯКЕ
Термокондуктометричний	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.46
Термохімічний	0.3	0.2	0.8	0.8	0.3	0.48
Магнітний	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	0.7
Пневматичний	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.36
Пневмоакустичний	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.16
Оптико-абсорбційний інфрачервоний	1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.88
Хемілюмінесцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Флуоресцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Фотоколориметричний	0.8	0.8	0.2	0.8	0.8	0.68
Амперометричний	0.2	0.2	0.7	0.7	0.3	0.42
Іонізаційний	0.2	0.9	0.3	0.8	0.4	0.52

На підставі (1.5)-(1.7) порівняльний аналіз наведених методів контролю та засобів вимірювання концентрації компонентів газів показує, що найбільш перспективним є оптико-абсорбційний інфрачервоний метод вимірювання.

1.3 Математичне представлення оптико-абсорбційного інфрачервоного методу

Враховуючи те, що оптико-абсорбційний інфрачервоний метод виявився більш придатним для вимірювання концентрації компонентів газів, в подальшій роботі необхідно розглянути його більш детально.

В інфрачервоному діапазоні спектра спостерігаються особливості записів газопоглинання, зумовлені наявністю коливально-обертових смуг поглинання, які аналізуються. Величина потоку випромінювання, що проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом, може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Белла [159]

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) = \Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot e^{-\chi(\lambda)C_i \cdot l}, \quad (1.8)$$

де $\Phi_{\lambda}(\lambda), \Phi_{\lambda 0}(\lambda)$ - спектральна щільність потоку випромінювання на даній довжині хвилі; $\lambda\chi(\lambda)$ - показник маси поглинання речовини на даній довжині хвилі λ ; C_i - концентрація речовини, що поглинає оптичне випромінювання -поглинаючий середній шар; l - товщина шару середовища що поглинає випромінювання.

Використовуйте відоме значення χ газу аналіту як довжину хвилі джерела або, якщо смуга пропускання джерела порівнянна з шириною смуги поглинання газу, середнє значення коефіцієнта поглинання χ по спектру випромінювання газу.джерело. Також враховується загальна кількість випромінювання, що реєструється фотоприймачем як функція довжини спектру. Після цього закон Бугера-Ламберта-Белла можна записати так [3]:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\chi \cdot C_i \cdot l}, \quad (1.9)$$

де χ і l відомі, а вимірюється відношення минулого через шар l газу потоку до вхідного потоку Φ/Φ_0 або їх різниця при слабкому поглинанні.

Інфрачервоний діапазон характеризується вузькими смугами поглинання газів і відносно широкими спектральними смугами джерел випромінювання виявлення. Розглянемо, як це впливає на залежність інтенсивності випромінювання, що проходить через газ, від вмісту вимірюваного газу. Фотодетектор реагує на інтегральний потік випромінювання, що проходить через газ:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1.10)$$

де λ_1 і λ_2 - межі спектру випромінювання джерела.

Тоді результат інтегрування за довжиною хвилі можна записати як:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda_0}(\lambda) \cdot e^{-\chi(\lambda) \cdot C_i \cdot l} d\lambda. \quad (1.11)$$

У цьому виразі параметр φ не може бути виділений, що означає, що функція не може бути представлена у формі:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot F_1(C_i) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_2[\chi(\lambda)] d\lambda, \quad (1.12)$$

де $F_1(C_i)$, $F_2[\chi(\lambda)]$ – функції, які мають окремі змінні, а тому є залежними

Здається, не ефективний, особливо за наявності абсорбції. Важливо визнати, що тут недоцільно говорити про порушення закону Бугера-Ламберта-Белла, оскільки воно обмежується монохроматичним випадком або випадками, які можна ігнорувати, як зазначено вище.

Для поганого поглинання закон Бугера-Ламберта-Белла записується так:

$$\Delta\Phi_{\lambda}(\lambda) = -\Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot \chi(\lambda) \cdot C_i \cdot l \quad (1.14)$$

або

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) - \Phi_{\lambda 0}(\lambda) = -\Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot \chi(\lambda) \cdot C_i \cdot l. \quad (1.15)$$

Проінтегруємо (1.15) по інтервалу довжин хвиль, отримаємо

$$\Phi - \Phi_0 = -\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} \Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot \chi(\lambda) \cdot C_i \cdot l d\lambda \quad (1.16)$$

або

$$\Phi - \Phi_0 = -C_i \cdot l \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} \Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot \chi(\lambda) d\lambda, \quad (1.17)$$

Тобто існує лінійна залежність від різниці між випромінюванням, що проходить через газ, що аналізується, і вхідною швидкістю потоку об'ємної частки виду, незалежно від форми смуги випромінювання джерела та смуги поглинання газу, що є. визначається. Тут функцію $\chi(\lambda)$ можна замінити її ефективним значенням χ_e , тоді вираз (1.16) має вигляд:

$$\Phi - \Phi_0 = -\rho \cdot l \cdot \chi_e \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} \Phi_{\lambda 0}(\lambda) d\lambda = \Phi_0 \cdot \chi_e \cdot \rho \cdot l, \quad (1.18)$$

або

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = 1 - \chi_e \cdot \rho \cdot l. \quad (1.19)$$

Для визначення значення χ_e вимірюють Φ/Φ_0 для газу з відомою концентрацією C_i , або $(\Phi - \Phi_0)$ для газу з відомою C_i та фіксованим значенням Φ_0 , або значення вихідного сигналу пристрій, відповідний цим. У загальному випадку, коли поглинання не можна вважати слабким, тобто коли співвідношення (1.13) не виконується, калібрувальну криву будують шляхом вимірювання електричного сигналу на виході приладу для ряду еталонних газових сумішей з відомим вмістом газу. що є певним.

Відповідно до виразу (1.18) величина різницевого сигналу при слабкому поглинанні пропорційна об'ємній частці Φ_0 вимірюваного газу. Розглянемо залежність цього сигналу від об'ємної частки при значенні поглинання, достатньому для задоволення вимог співвідношення (1.13). Віднімемо і змінимо знак обох частин рівняння (1.8)

$$\Phi_{\lambda 0}(\lambda) - \Phi_{\lambda}(\lambda) = \Phi_{\lambda 0} \cdot [1 - e^{-\chi(\lambda) \cdot C_i \cdot l}]. \quad (1.20)$$

Проінтегруємо верхній вираз по інтервалу довжин хвиль, одержимо

$$\Phi_0 - \Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot [1 - e^{-\chi(\lambda) \cdot \varphi \cdot l}] d\lambda. \quad (1.21)$$

Відстань між довжинами хвиль може бути обмежена областю, де $\chi(\lambda)$ значно відрізняється від нуля. Якщо лінія поглинання досить вузька в порівнянні зі смугою частот зареєстрованого оптичного випромінювання, довжина хвилі в цьому інтервалі змінюється незначно і, згідно з теоремою про середнє значення, її можна вважати знаком інтеграла, замінивши його деяким серед-

нім. ефективне значення. За тих самих умов, коли поглинання не дуже сильне, χ е також можна використовувати замість $\chi(\lambda)$, і можна взяти функцію, відмінну від інтегрального знака. Потім

$$\Phi_0 - \Phi = \Phi_e \cdot [1 - \exp(-\chi_e \cdot \rho \cdot l)], \quad (1.22)$$

$$\text{де } \Phi_e = \Phi_{\lambda_{0e}}(\lambda_2 - \lambda_1).$$

Оскільки поглинання дуже сильне, значення χ у виразі (1.22) більше не можна вважати постійними параметрами, оскільки вони змінюють свої значення, коли спектр проходить через кювету з газом інфрачервоного випромінювання.

Вище описаний процес переходу від ідеального стану монохроматичності світлового випромінювання (умова, на яку спрямований закон Бугера-Ламберта-Белла) до фактичної ситуації, яка далека від ідеалу. Проте визначено типи залежностей та умови, за яких припущення дійсні. Безпосереднє вирішення цієї задачі вимагає точних значень функції та $\chi(\lambda)$, що призводить до громіздких виразів, які можна обчислити лише методами чисельного інтегрування та є недостатньо зрозумілими. Кінцевий результат має меншу цінність, оскільки він стосується лише абсолютно конкретних сум $\chi(\lambda)$.

Вважаючи, що перетворення потоку випромінювання відбувається лінійно на всьому шляху від фотоприймача до індикатора, можна записати вираз (1.18)

$$\Phi_{\text{вих}} = \Delta\Phi = \Phi_e \cdot [1 - \exp(-k \cdot C_i)], \quad (1.23)$$

де k – коефіцієнт поглинання світла.

З рівнянь (1.22) і (1.23) видно, що значення $\Delta\Phi$ і Φ_e залежать від Φ_0 , яке є високопостійним джерелом оптичного випромінювання. У цьому випадку рівняння (1.23) переписується так:

$$I_{\text{вих}} = I_0 \cdot [1 - \exp(-k \cdot C_i)], \quad (1.24)$$

де $I_{\text{вих}}$ – інтенсивність світла падаючого променя; I_0 – інтенсивність світла пучка, що пройшов, k – коефіцієнт світлопоглинання; C_i – концентрація компонента, яка залежить від об’єму речовини у зразку.

Інтенсивність випромінювання, що проходить через мірну ємність з аналізованим газом, визначається за законом Бугера-Ламберта-Белла (1.24). Для оцінки узгодженості градаційних кривих виділимо рівняння (1.24)

$$\frac{dI_{\text{вих}}}{d\varphi} = I_0 \cdot b \cdot \exp(-b \cdot C_i), \quad (1.25)$$

далі отриманий вираз прологарифмуємо

$$\ln\left(\frac{dI_{\text{вих}}}{d\varphi}\right) = \ln(I_0 \cdot b) - b \cdot C_i \quad (1.26)$$

або

$$y = c - b \cdot C_i, \quad (1.27)$$

$$\text{де } y = \ln\left(\frac{dI_{\text{вих}}}{dC_i}\right), c = \ln(I_0 \cdot b).$$

Теоретично очікувана залежність 1.24 буде використана для оцінки ефективності розробленої емпіричної математичної моделі (у розділі 2) щодо визначення концентрації газів на основі методу світлопоглинання.

1.4 Висновки до розділу 1

У цьому розділі аналізуються методи визначення концентрації газових сумішей. Подано огляд найпоширеніших методів аналізу газу з урахуванням їх переваг і недоліків, а також можливості їх застосування для вирішення поставлених завдань. За винятком оптичних методів, загальним недоліком більшості існуючих методів є низька селективність, тобто наявність інших компонентів часто заважає визначенню концентрації газу. Низькі пороги чутливості, тобто здатність визначати малі концентрації газів, характерні тільки для електрохімічних і оптичних методів аналізу газів. Проведений огляд показав, що найзручніше використовувати оптичні методи, причому метод світлопоглинання є найкращим для вирішення поставленої задачі. Тому важливою метою подальшої роботи є удосконалення оптимального методу контролю концентрації газових компонентів та його наближена уніфікація характеристик об'єкта контролю.

2 АНАЛІЗ СХЕМ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ АТМОСФЕРНИХ ГАЗІВ

2.1 Аналіз варіантів побудови оптичних засобів контролю концентрації компонентів атмосферних газів

Для аналізу варіантів оптичних засобів контролю концентрації компонентів атмосферних газів проаналізовано патенти та джерела [3, 11]. Розглянуто ці схеми, робота яких базується на оптичному методі інфрачервоної абсорбційної спектроскопії, оскільки цей метод є основою розробленого засобу контролю концентрації компонентів атмосферних газів.

Аналіз показує, що для контролю складу газів розроблено та запатентовано багато методів. Однак більшість з них використовують дві кювети (робочий і «нульовий» газ), але така схема оптичної установки технічно застаріла. Це пов'язано зі складністю конструкції контрольного пристрою і його низькою точністю. Крім того, обидва вони використовують одне джерело випромінювання та фільтр, але такий підхід значно сповільнює інструмент (оскільки зразок проходить довший шлях на оптичному шляху).

Жоден із проаналізованих інструментів контролю не розглядав використання додаткових каналів вимірювання для оцінки та компенсації факторів впливу. У результаті вимірювання, отримані за допомогою цих інструментів, будуть недостатньо точними. У зв'язку з цим запропоновано до розробленого проекту контролю концентрації компонентів газів додати додаткові канали вимірювання.

На рис.2.1 зображено схему двопроменевого фотометра, який має два промені. фоторецепторами.

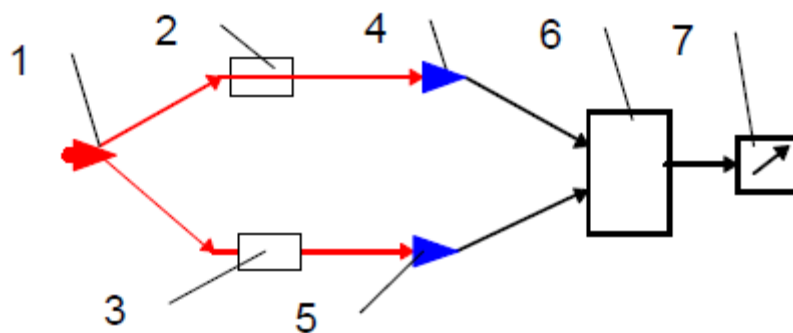


Рисунок 2.1 – Принципова схема двопроменевого фотометра

На рис. 2.1 наведено наступні позначення: 1 - джерело, 2 - робоча камера, 3 - камера з "нульовим" газом, 4, 5 - оптичні датчики, 6 - диференціальний підсилювач, 7 – реєстратор.

У двопроменевому фотометрі оптичне випромінювання джерела світла 1 поділяється на два однакових потоку. Один із газів проходить через кювету 2, яка містить вимірюваний газ, тоді як інший проходить через ту саму кювету 3, наповнену «нульовим» газом, у якому відсутній вимірюваний компонент. Після того, як кожен оптичний промінь надходить на окремий фотодієктор 4 і 5, сигнал з фотодієктора надходить на диференціальний підсилювач 6.

У разі слабкого поглинання світла у вимірювальній кюветі різниця фотоструму між двома фоторецепторами буде пропорційна масовій концентрації речовини, тоді як у разі сильного поглинання логарифм відношення сигналів фоторецепторів буде пропорційний концентрації. Для отримання прямого значення індикатора 7 приладу необхідно обробити сигнали з обох каналів.

У двопроменевої схемі оптичне випромінювання може модулюватись за інтенсивністю модулятором 5 (рис. 2.2) у взаємній протифазі, а потім два потоки направляються на приймач оптичного випромінювання 4, а потім на підсилювач. - конвертер 6.

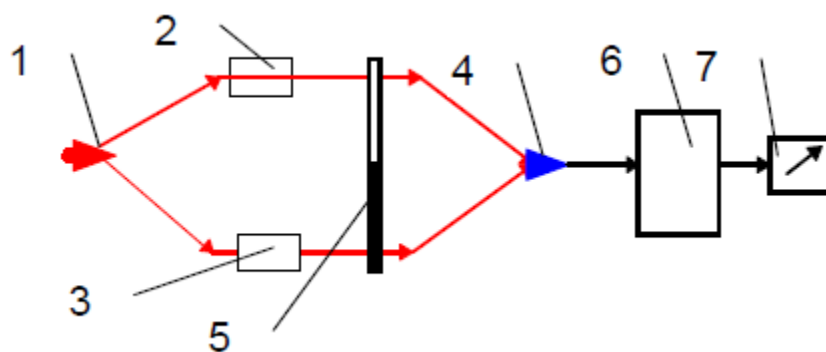


Рисунок 2.2 – Схема двопробеневого фотометра з модулятором

На рис. 2.2 наведено наступні позначення: 1 - джерело випромінювання; 2 - робоча кювета; 3 - кювета з "нульовим" газом; 4 - приймач оптичного випромінювання; 5 - модулятор; 6 - підсилювач-перетворювач; 7 - реєстратор.

У разі малого поглинання пучка модульованого випромінювання амплітуда змінної складової фотоструму приймача буде пов'язана з концентрацією. Для найсильнішого поглинання концентрованої сонячної енергії це логарифм співвідношення максимального та мінімального сигналів фотоприймача протягом періоду модуляції. При слабкому поглинанні нелінійною залежністю фотоструму приймача від струму, що падає на нього, зазвичай можна знехтувати, оскільки в цьому випадку корисна складова сигналу буде становити лише малу частку фону. Фотоприймач і головний підсилювач не повинні працювати в режимі насичення. Вимоги до однакових властивостей фотоприймачів не надто жорсткі, і «пляма» їх чутливості може бути компенсована зміною параметрів схеми (наприклад, зменшенням сили одного з фотоприймачів через дільник напруги). детектор) або оптично через отвір одного з променів.

Очевидно, що сигнал від фотодетектора, який вимірює потік випромінювання, що пройшов через кювету з «нульовим» газом, залежить від потоку випромінювання від джерела і залишатиметься постійним, якщо потік

випромінювання не змінюється. Далі при заповненні вимірювальної кювети «нульовим» газом можна замінити весь канал порівняння фотометра на постійну напругу або струм, пропорційний амплітуді сигналу світлоприймача. Це значно зменшує складність конструкції пристрою та знижує вартість. Цей фотометр однофокусний. Рисунок 2.3 ілюструє протокол ХЛ ЗВ.

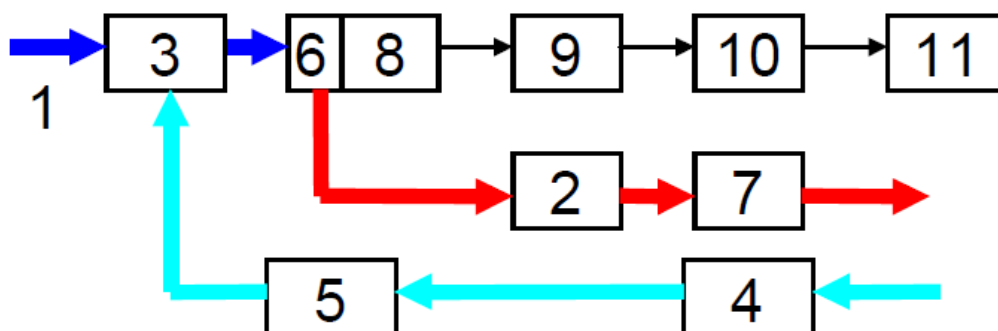


Рисунок 2.3 – Структурна схема ХЛ ЗВ

На рис. 2.3 наведено наступні позначення: 1 - забірний патрубок; 2 - ротаметр; 3 - газовий комутатор; 4 - фільтр-поглинач; 5 - калібратор; 6 - ХЛ-реактор; 7 - насос; 8 - приймач оптичного випромінювання; 9 - підсилювач; 10 - процесор; 11 - індикатор.

Аналізований газ надходить у газовий вхідний патрубок приладу і через перемикач надходить у реактор СЛ 6. Хемілюмінесцентне випромінювання перетворюється в електричний сигнал приймачем оптичного випромінювання 8, підсилюється в підсилювачі 9 і перетворюється в цифровий код, обробка функції виконується в процесорі 10, а результат виводиться на дисплейну панель індикатора 11. Для корекції зміни чутливості датчика НЛ вбудовано стандартний генератор масової концентрації вимірюваного газу (за допомогою блоку 10, при подачі газу від калібратора, визначаються параметри перетворення електричного сигналу з оптичного на Приймач випромінювання налаштований таким чином, щоб показання індикатора відповідало ви-

значеній концентрації. Індикатор показує значення безпосередньо в одиницях масової концентрації.

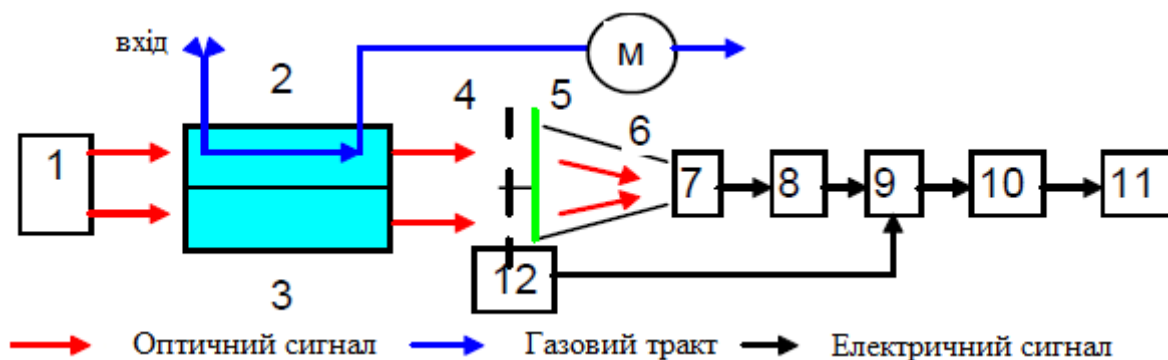


Рисунок 2.4 – Структурна схема ІЧ ЗВ

ІЧ-випромінювання від джерела 1 надходить у дві сусідні та паралельні одна одній кювети 2 та 3. Далі пучки оптичного випромінювання модулюються протифазно один одному за допомогою обтюратора 4, який є обертовим диском з слоти. . Потім оптичне випромінювання проходить через інтерференційний світлофільтр 5 з максимальним пропусканням (наприклад, $\tau = 80\%$ при $\lambda = 4,2$ мкм). Лінія поглинання вуглекислого газу потрапляє в цю смугу. Далі два модульованих променя направляються на піроелектричний фотоприймач 7 за допомогою світлозбірника 6. У фотоприймачі енергія випромінювання перетворюється в електричний сигнал, пропорційний його величині, досягається початкове збільшення величини. Після цього сигнал посилюється в первинному підсилювачі 8 і розбивається на складові, які представляють потік випромінювання через кювети 2 і 3 в синхронному детекторі 9. Процедура роботи детектора пов'язана з обертанням затвора через фотосенсор 12. Після цього сигнали надходять до блоку обробки 10 і результуючий сигнал відображається на індикаторах 11.

2.2 Огляд сучасних засобів визначення концентрації компонентів атмосферних газів

Вимірювальні прилади, призначені для кількісного вимірювання компонентів газу, називаються газоаналізаторами і газовими хроматографами [7]. Залежно від призначення ці технічні засоби поділяються на портативні та стаціонарні. Портативні газоаналізатори і хроматографи використовуються для визначення кількості газових компонентів під час експериментальних досліджень в лабораторіях, а також при спеціальних оцінках, випробуваннях і переробках промислових теплових установок. Стаціонарні газоаналізатори призначені для автоматичного вимірювання процентного вмісту компонента в газовій суміші. стаціонарні газоаналізатори зазвичай використовуються для моніторингу процесу горіння в пристроях, що виробляють пару, таких як генератори та печі, а також для аналізу суміші газів у процесі.

Газоаналізатори зазвичай калібруються у відсотках об'єму, оскільки коли тиск і температура газової суміші змінюються, відсотки окремих компонентів від загального об'єму залишаються постійними.

Механічні газоаналізатори - це прилади, які вимірюють молекулярно-механічні властивості досліджуваної газової суміші. Одним із поширених типів механічних газоаналізаторів є хімічний газоаналізатор, який базується на вимірюванні зменшення об'єму зібраної проби газу після видалення досліджуваного компонента. Доступ до цього компонента здійснюється шляхом вибіркового поглинання або спалювання.

Оптичні газоаналізатори засновані на спостереженні про те, що зміни однієї або обох оптичних властивостей досліджуваної газової суміші залежать від концентрації вимірюваного компонента. Оптичні газоаналізатори використовують такі оптичні властивості, як спектр поглинання, оптична щільність, показник заломлення та спектр випромінювання газів у суміші.

Газоаналізатори - це електричні прилади, які безпосередньо вимірюють властивості електрики, основою їх роботи є вимірювання специфічних електричних властивостей газу або рідини, яка взаємодіє з газом. Крім того, електричні властивості базуються на концентраціях, які є результатом дії компонентів. Сучасні електрохімічні газоаналізатори призначені для оптимізації та контролю режимів горіння в котельних установках для різних видів палива, ці аналізатори додатково вимірюють об'ємні частки (CO , O_2 , NO та інших компонентів), а також розраховують наступні параметри: ККД процесу, коефіцієнт надлишку повітря, втрати тепла газами, втрати тепла внаслідок хімічно неповного згоряння палива, втрати тепла водяної пари.

Термічні газоаналізатори - це прилади, які вимірюють теплові властивості газової суміші з метою визначення її складу та концентрації. Теплопровідність газової суміші та корисний тепловий ефект каталітичної реакції, який залежить від концентрації суміші, використовуються як вимірювані значення в цьому типі газових датчиків. Газоаналізатори, які використовують теплопровідність газової суміші як основний тип вимірювання, називаються термічними газоаналізаторами, тоді як ті, які використовують тепловий ефект каталітичної реакції кисню, називаються термохімічними газоаналізаторами.

Магнітні газоаналізатори засновані на вимірюванні магнітних властивостей кисню, і вони призначені для розрахунку процентного вмісту кисню в суміші. Магнітні властивості газів зазвичай описуються значеннями об'ємної магнітної сприйнятливості та питомої магнітної сприйнятливості або масової магнітної сприйнятливості. Усі відомі гази класифікуються як діамагнітні або парамагнітні на основі природи та абсолютного значення їхніх магнітних властивостей. Об'єм сприйнятливості k від'ємний для газів, які є діамагнітними, і позитивний для газів, які є парамагнітними. Питома магнітна сприйнятливість $\chi = 1/(1 + 1/(3 + 4\pi\rho)) = 1/(1 + 3 + 4\pi\rho)$.

Оптичні колориметричні газоаналізатори засновані на кольорово-вибірковій реакції хімічної взаємодії компонентів газової суміші з розчином-індикатором, концентрація якого визначається.

Систематизацію газоаналізаторів показано на рисунку 2.5.

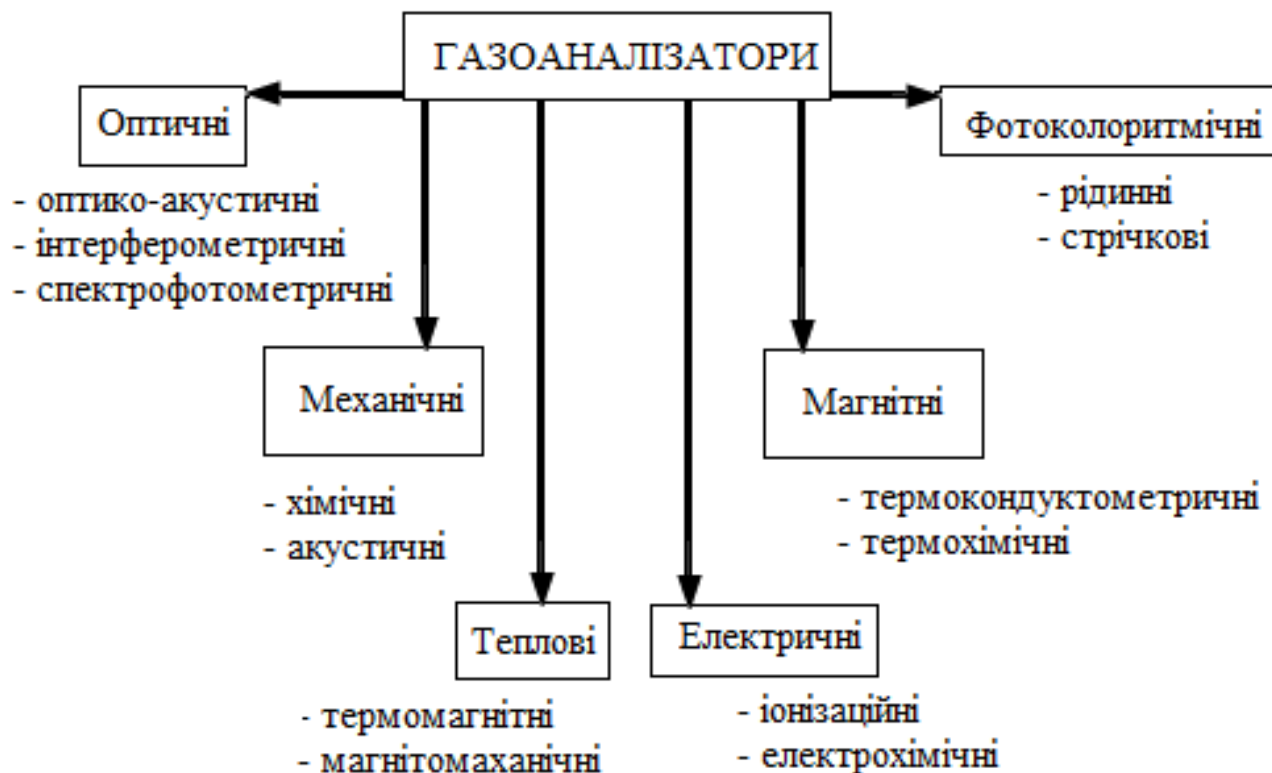


Рисунок 2.5 –Систематизація газоаналізаторів

Загальний опис сучасних методів вимірювання кількісного значення концентрації компонентів газів наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 2.1 – Сучасні засоби вимірювання концентрації компонентів газу (по каналу CO₂)

Прилад	Діапазон температур, °C	Робочий тиск, кПА	Діапазон вимірювання, %	Зона нечутливості, с	Похибка, % / Вірогідність контролю*	Дрейф, %
A-8M	до 50	35	0,01 до 99.9	< 10	±1 / 0.8	< ± 1
NDIR Gas sensor MH-410D	-20 - 60	5	20 до 100	30	5 / 0.85	< ± 1
ОПТОГАЗ-500.5	до 200	40	0-20	15	6/0.82	< ± 1
Ezodo CTH-37	до 400	40	0-50	10	5/0.94	< ± 1

*значення вірогідності контролю було розраховано аналітично за відомими значеннями точності засобів вимірювання

Принципи роботи деяких відомих газоаналізаторів: «Jarrelach» (США); «Kolon-1», «Jin-gaz», «UPGL», «Gazotest», «КНА-»; 8"; "Multi-Warning", "Microii", "Polytector" (Німеччина); Однак, з точки зору контролю складу, алгоритми цих пристроїв обмежені в якісному та кількісному аналізі та зміні значень впливу, і не відповідають вимогам адаптивності.

2.3 Висновки до розділу 2

У другому розділі бакалаврської дипломної роботи розглянуто схеми, робота яких базується на оптичному методі інфрачервоної абсорбційної спектроскопії, оскільки цей метод є основою розробленого засобу контролю концентрації компонентів атмосферних газів. Зроблено висновок, що існує дисбаланс між параметрами час обробки інформації-точність-чутливість-ціна, і тому дуже важливо розробити засоби контролю концентрації компонентів атмосферних газів.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У АТМОСФЕРНИХ ГАЗАХ

3.1 Математична модель перенесення випромінювання в середовище атмосферних газів

Модель радіаційного переносу газів в навколишнє середовище показано на рисунку 3.1

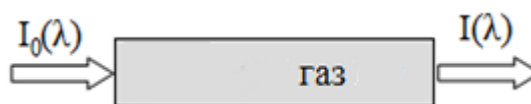


Рисунок 3.1 – Модель перенесення випромінювання в середовище атмосферних газів

Введемо закон Бугура-Ламберта-Бера, виведений у розділі 1, який пов'язує інтенсивність випромінювання, що проходить через дим, із концентрацією досліджуваного газу, довжиною шляху поглинання та коефіцієнтом поглинання в атмосфері

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\varepsilon Cl}, \quad (2.1)$$

де C – концентрація газу, l – довжина шляху поглинання, ε – показник послаблення.

Де показник послаблення дорівнює сумі двох складових

$$\varepsilon = k_n + k_p, \quad (2.2)$$

де k_n та k_p – показники поглинання і розсіювання відповідно.

3.2 Математична модель вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю атмосферних газів

Інфрачервоний передавач. Як джерела інфрачервоного випромінювання використовуються світлодіоди (світлодіоди). Ширина лінії генерації інфрачервоного випромінювання СВД становить 40-1000 нм. Це задовольняє вимоги поставленої задачі, оскільки генеруючі лінії випромінювання підібрані розрахунковим шляхом, щоб на відстані ширини генеруючих ліній не було сильних ліній поглинання інших газів.

Основним недоліком СВД є залежність випромінюваної потужності від температури середовища. З підвищенням температури потужність, що випромінюється діодом, зменшується [3].

У статті [4] представлено результати теоретичних досліджень фотоелектричного перетворення вимірювання площі напруги та розраховано первинні математичні співвідношення, які його описують. У цьому типі перетворювача розмір світлочутливої області фоторецептора змінюється під впливом вимірюваної фізичної величини. Як результат, вихідна напруга цього типу перетворювача залежить від вимірюваної фізичної величини.

На рис.3.2 описано принцип роботи та еквівалентну схему оптичного приймача на основі пари фотодіодів та операційного підсилювача.

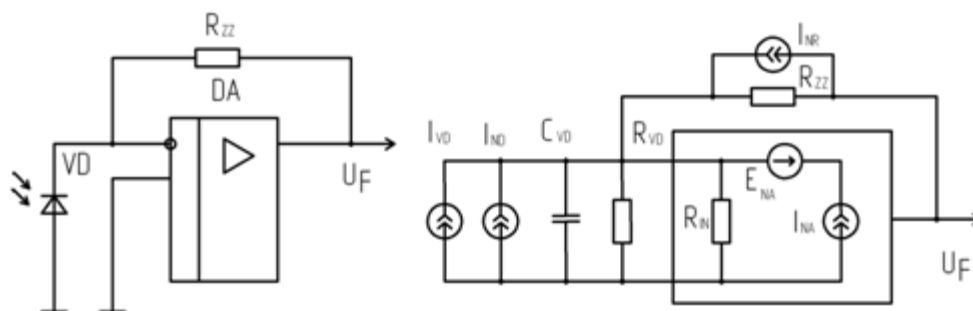


Рисунок 3.2 – Фотоприймач на основі пари фотодіод-операційний підсилювач

З урахуванням зміщення нуля, різниці вхідних струмів і шумової напруги вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-ОУ описується виразом [6]

$$U_F = \frac{I_{VD} \cdot R_{ZZ}}{1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 \cdot R_{IN}} + \frac{1}{K_0}} + \Delta I \cdot R_{ZZ} + U_{SM} + U_N, \quad (3.3)$$

де K_0 - коефіцієнт передачі операційного підсилювача; R_{IN} - вхідний опір операційного підсилювача; U_{SM} - напруга зміщення нуля операційного підсилювача; ΔI - різниця вхідних струмів операційного підсилювача; R_{ZZ} - опір в колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача; U_N - напруга шуму на виході фотоприймача, яка залежить від шумового струму I_{NR} резистора в колі зворотнього зв'язку, шумового струму фотодіоду I_{ND} , шумового струму операційного підсилювача I_{NA} та шумової напруги операційного підсилювача E_{NA} .

Моделювання залежності концентрації CO_2 від напруги в робочому діапазоні та в повному діапазоні показано на рисунку 3.3 та 3.4

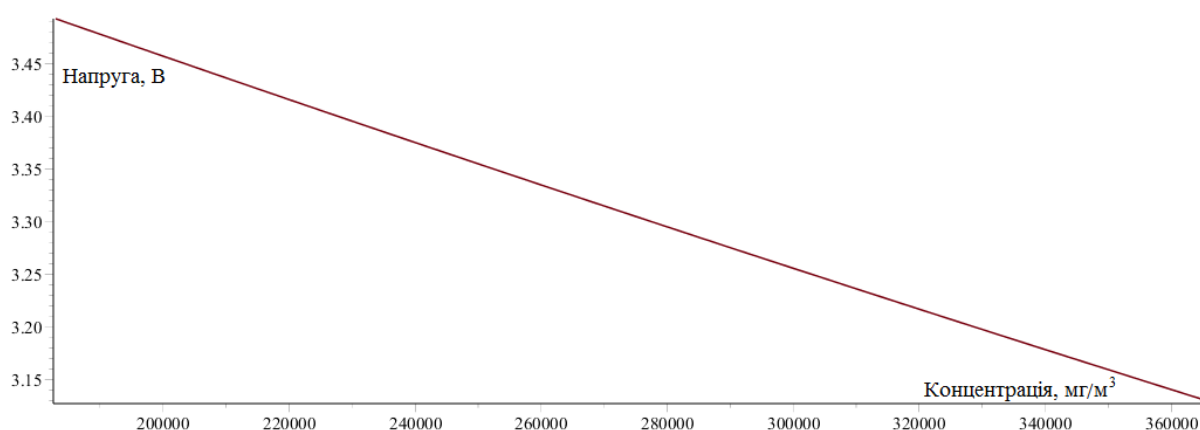


Рисунок 3.3 – Залежність напруги від концентрації (робочий діапазон)

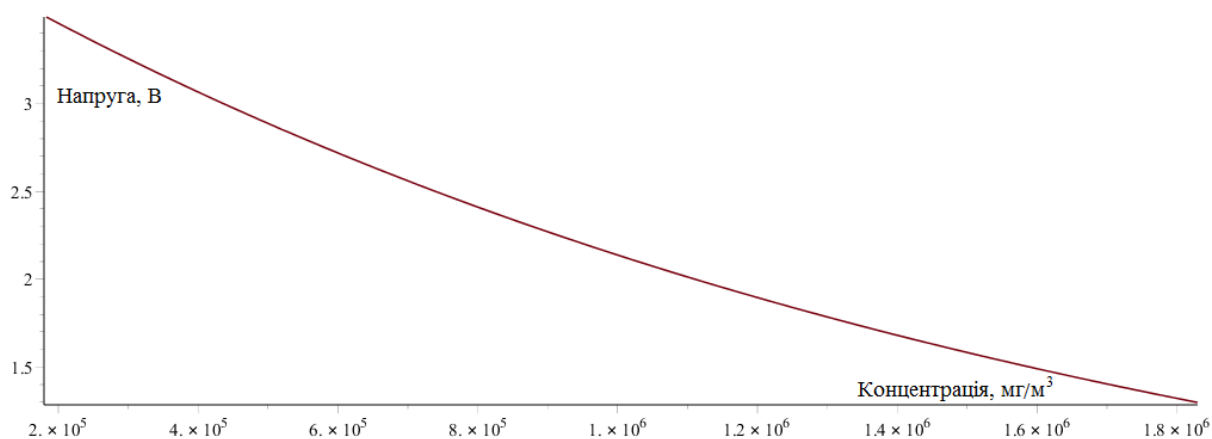


Рисунок 3.4 – Залежність напруги від концентрації (повний діапазон)

Це моделювання проводилось при вхідній інтенсивності 3мВт, опорі зворотнього зв'язку 9.88МОм (ряд E192), інтегральній потужності чутливості фотодіода $5.06 \frac{A}{m^2}$ та площі фоточутливого шару фотоприймача 26 мм².

3.3 Дослідження коефіцієнту передачі та чутливості оптичного газового сенсора. Аналіз коефіцієнту передачі оптичного газового сенсора

Запишемо закон Бугера-Ламберта-Бера у вигляді

$$U(C, \lambda, I_0) = U_0(I_0, \lambda) \cdot \exp[-\alpha(\lambda) \cdot L \cdot C] \quad (3.4)$$

Пристрій, який перетворює вхідну величину C в вимірювану величину $U(C, \lambda)$, є вимірювальним перетворювачем. У методі контролю складу газу функцію вимірювального датчика виконує оптичний датчик.

В останні роки оптичні датчики були побудовані на основі світла і фотодіодів [2], що дозволило істотно вдосконалити конструкцію датчика: відмовитися від механічних модуляторів і інтерференційних фільтрів, зменшити

споживання енергії і розміри. Подальші перспективи вдосконалення інфрачервоних газоаналізаторів пов'язані зі створенням нових більш ефективних основ газових сенсорних елементів (переважно джерел і приймачів інфрачервоного випромінювання). Структурна схема розробленого оптичного датчика наведена на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Структурна схема розробленого оптичного газового сенсора

На виході оптичного датчика ми покажемо кількість світла, яке проходить через газ кювети:

$$k_{np}(C, L, \alpha(\lambda)) = \frac{U(I_0, \lambda, C, L)}{U_0(I_0, \lambda)}. \quad (3.5)$$

При використанні СВД і ФД їх спектральні характеристики перекриваються з певною смугою частот $\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Для всіх СВД і ФД характерні зміни спектральних властивостей джерела і приймача випромінювання внаслідок зміни температури і тиску. Для оцінки впливу температури і тиску на оптичний датчик і на значення концентрації газу в спектральні характеристики функції джерела і приймача ІЧ-випромінювання введено параметри T і P . Фоторецептор вимірює інтегральний сигнал, а функція передачі оптичного датчика описується інтегральним виразом

$$k_{np}(C, L, P, T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{PhD}(\lambda, T, P) \cdot I_{LED}(\lambda, T, P) \cdot \exp[-\alpha(\lambda) \cdot L \cdot C] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{PhD}(\lambda, T, P) \cdot I_{LED}(\lambda, T, P) d\lambda}, \quad (3.6)$$

де $S_{PhD}(\lambda, T)$ - спектральна чутливість фотоприймача, $I_{LED}(\lambda, T)$ - спектральна потужність джерела, $\alpha(\lambda)$ - спектр коефіцієнта поглинання газу, L – довжина оптичного тракту (довжина взаємодії випромінювання з газом).

3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі бакалаврської дипломної роботи було створено математичну модель вимірювача концентрації двоокису вуглецю в атмосферних газах, що базується на сучасних методах вимірювання і враховує різноманітні фізичні фактори. Розроблена модель демонструє високу точність та надійність, що робить її ефективним інструментом для моніторингу екологічних параметрів атмосфери.

4 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У АТМОСФЕРНИХ ГАЗАХ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1 Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах

Розроблений засіб контролю концентрації вуглекислого газу в атмосферних газах складається з таких основних структурних вузлів (рисунок 3.1):

- стандартизовані газові суміші;
- джерело випромінювання;
- оптичні вимірювальні датчики;
- приймач випромінювання;
- промисловий логічний контролер
- АЦП (вбудований в ПЛК);
- МХ (вбудований в ПЛК);
- ПК;
- датчик тиску;
- температурний сенсор.

Програмований логічний контролер (інтегрованим блоком є АЦП і МХ) використовується для виконання багатоканального аналого-цифрового перетворення вимірювальних сигналів, які рівномірно виводяться зі стандартних датчиків температури і тиску та оптичних вимірювальних перетворювачів. Інтерфейс RS-232 забезпечує обмін даними між ПЛК і персональним комп'ютером з необхідним програмним забезпеченням.

На рисунку 4.1 наведено загальну структурну схему пристрою для контролю концентрації вуглекислого газу.

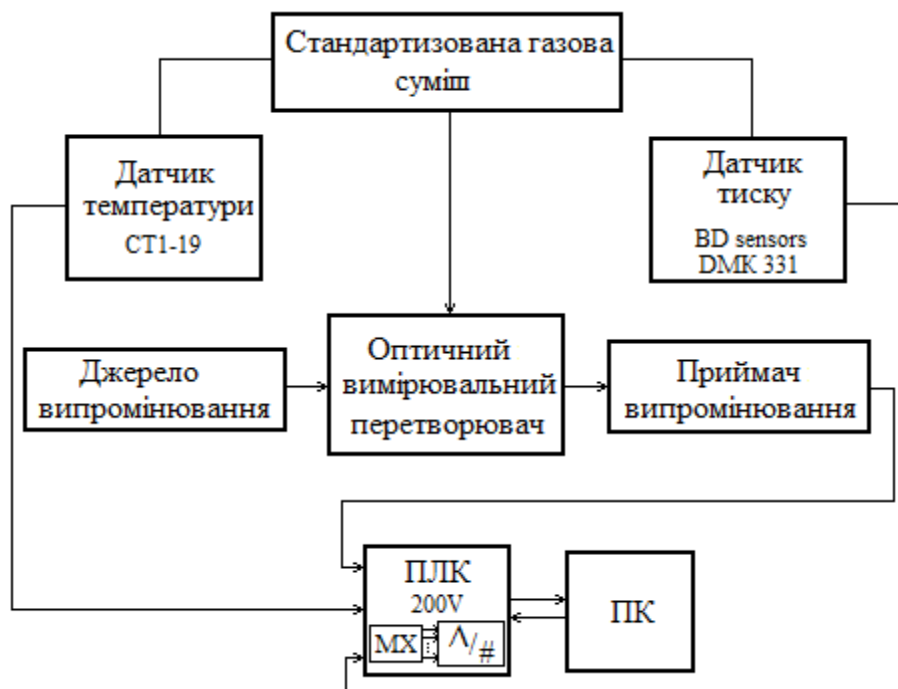


Рисунок 4.1 – Структурна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах

4.2 Розробка функціональної схеми засобу атмосферних газів

Функціональні вузли розробленого приладу для контролю концентрації вуглекислого газу (рис. 4.2):

- 1 – Основна частина методу контролю концентрації вуглекислого газу;
- 2 – корпус оптичного датчика;
- 3 – Шланг зонду для збору газу, який використовується для закачування зразків у та з контрольного пристрою;
- 4 – Фільтрація (видалення механічних домішок);
- 5 – вентилятори;
- 6 – датчик тиску;
- 7 – датчик температури;
- 8 – СВД робочого каналу;

- 9 – ФД робочого каналу;
- 10 – ФД опорного каналу;
- 11 – СВД опорного каналу;
- 12 – плата
- 13 – гніздо роз'єму;
- 14 – ПЛК з вбудованим АЦП;
- 15 – ПК;
- 16 – СтГС;
- 17 – нагрівач;
- 18 – Охолоджувач;
- 19 – Сигнал.

На рисунку 4.2 наведена функціональна схема способу контролю концентрації вуглекислого газу.

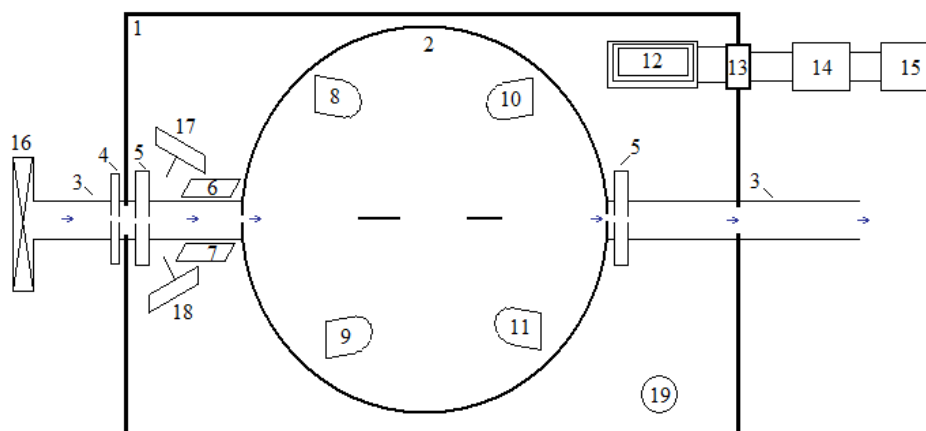


Рисунок 4.2 – Функціональна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах

Принцип роботи пристрою контролю концентрації газів такий: зразок газу потрапляє в паралельну робочу кювету та контрольну кювету через газозбірний зонд. При кількісному контролі концентрації вуглекислого газу також вимірюють його температуру і тиск розрідження за допомогою датчиків. Сигнали від датчиків надсилаються до ПЛК, який, у свою чергу, обробляє їх і

значення концентрації в % об. Відображається оператору на ПК. Якщо концентрація вуглекислого газу перевищує встановлений діапазон, спрацьовує звуковий сигнал. Оскільки даний зразок інструменту контролю був реалізований в лабораторному цеху, він був додатково оснащений парою охолоджуючих нагрівачів для примусової зміни температурних параметрів зразка.

Як визначено в розділі 1, оптичні методи аналізу газу перевершують за ефективністю електрохімічні та каталітичні методи, що використовуються в таких пристроях, з високою швидкістю, вибірковістю, стійкістю до корозійних середовищ і тривалим терміном служби.

У свою чергу, структурно-функціональна організація самого оптичного датчика газу має різні типи архітектури.

Традиційно в інфрачервоних аналізаторах використовуються датчики на основі джерел тепла та широкосмугові приймачі випромінювання з вузькосмуговими (інтерференційними) фільтрами. Прикладом такої структури є система аналізу газу (ГС), яка побудована за принципом прямої дії [5]. Принцип роботи полягає в наступному - інфрачервоне випромінювання від джерела світла потрапляє в дві сусідні і паралельні кювети - робочу кювету і кювету порівняння.

Газ, що аналізується, закачується в робочу кювету, яка містить повітря без газу і утворює канал порівняння (із закритим входом і виходом). Тому реалізація робочого каналу та каналу порівняння здійснюється за принципом, що обидві кювети мають відкриті входи та виходи. Структурна схема опорного оптичного каналу та робочого оптичного каналу наведена на рисунку 4.4

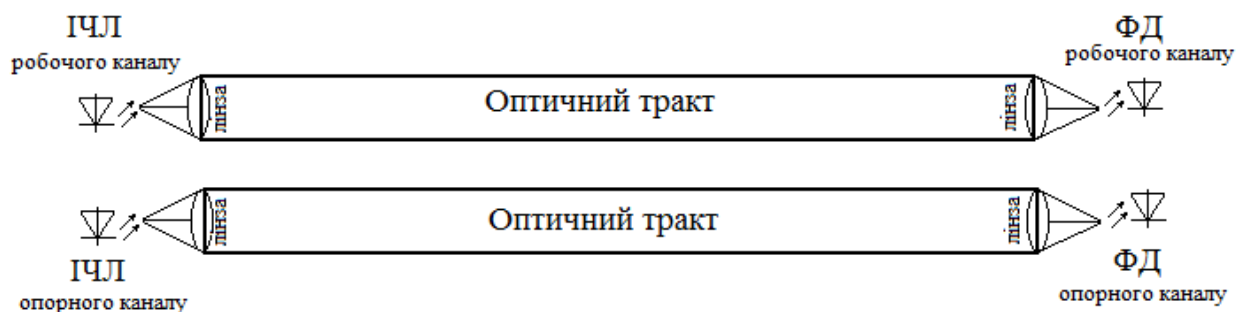


Рисунок 4.4 – Схематична модель опорного та робочого оптичних каналів.

Кювети однакові за структурою, але відрізняються конфігурацією лазерних фотодіодів.

4.3 Аналіз шляхів подачі газу на засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах

Для підтримки ресурсозберігаючого режиму роботи КУ необхідно з високою точністю забезпечувати оптимальне співвідношення «паливо-повітря» в котлі та підтримувати максимально низький коефіцієнт надлишку повітря. Для цього, з одного боку, необхідно подати в топку котла необхідну кількість повітря в залежності від кількості палива, що надходить, а з іншого боку, з заданою інтенсивністю видаляти з неї продукти згоряння. Досягти цього можна за такою схемою керування котлом: інформація з газоаналізатора (інформація про склад продуктів згоряння в топці котла) надходить на ПЛК, який, у свою чергу, контролює надходження повітря в топку та відтік (з топки котла) у стандартизованих оптимальних межах. Процес управління базується на запропонованій моделі матеріально-теплогового балансу рідинної та газової складових котла.

Блок вхідної параметричної стабілізації (БСВП). Зразки, відібрані безпосередньо з димоходу для аналізу газових сумішей, мають великий «розкид» параметрів, а саме: температура, вологість, тиск, запиленість. Якщо газ

із нестабільними параметрами подається безпосередньо до вимірювального датчика, це спричинить велику помилку у вихідній інформації про склад газу. Тому рекомендовано включати БСВП до складу ГС. БСВП повинна відповідати таким вимогам: швидкісне, ефективне і надійне видалення механічних домішок, зниження вологості суміші до необхідного значення, стабільність температури і тиску.

Інакше кажучи, за рахунок введення БСВП до складу ГС компенсуються зазначені фактори впливу. Але є неоднозначність: при зменшенні статичної складової похибки зростає динамічна (при проходженні вибірок через БСВП(1)), і навпаки, при зменшенні динамічної збільшується статична (при відкритих оптичних каналах (2)) [4].

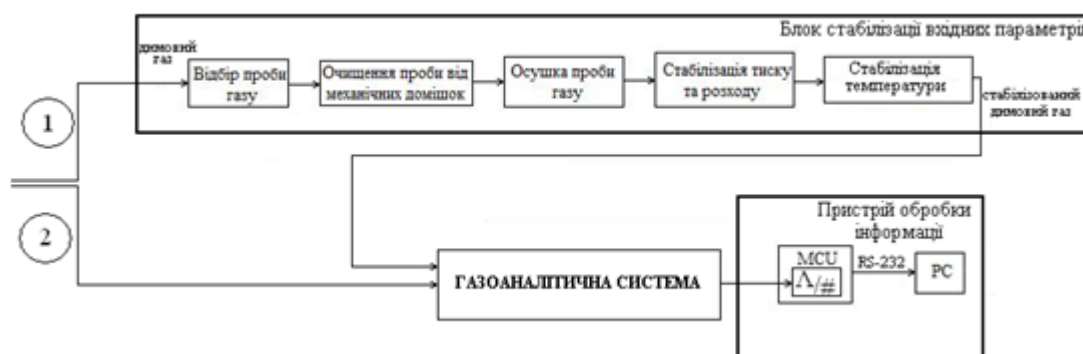


Рисунок 4.5 – Шляхи подачі газу на ГС, для його аналізу

Насправді похибка в стаціонарному стані є статичною похибкою. Існування перехідних процесів може призвести до динамічних помилок. Тривалість перехідного процесу для заданої динамічної похибки визначається рівнянням [31]

$$\Delta_{\text{дн}} = k \cdot e^{-\left(\frac{t_{\text{пн}}}{\tau}\right)}, \quad (4.1)$$

де $t_{\text{пн}}$ – тривалість перехідного процесу; τ – стала часу; $\Delta_{\text{дн}}$ – динамічна похибка засобу вимірювання; k – коефіцієнт передачі.

Тривалість перехідного процесу при заданому значенні динамічної похибки визначається як:

$$t_{\text{III}} = \tau \cdot \ln\left(\frac{k}{\Delta_{\text{дн}}}\right). \quad (4.2)$$

Тому в вимірювальних приладах з аперіодичними перехідними процесами, що описуються перехідними процесами першого порядку, динамічна похибка зменшується зі зменшенням тривалості перехідного процесу.

Хід перехідного процесу в ВП після зміни концентрації змішаного газу показано на рис. 3.6 Перехідні характеристики $h(t)$ були побудовані в середовищі Scilab. Результати моделювання процесу перетворення за відкритим оптичним каналом наведено в [134], а за закритим оптичним каналом (оптичний газоаналізатор ГІАМ-15М) – у [3].

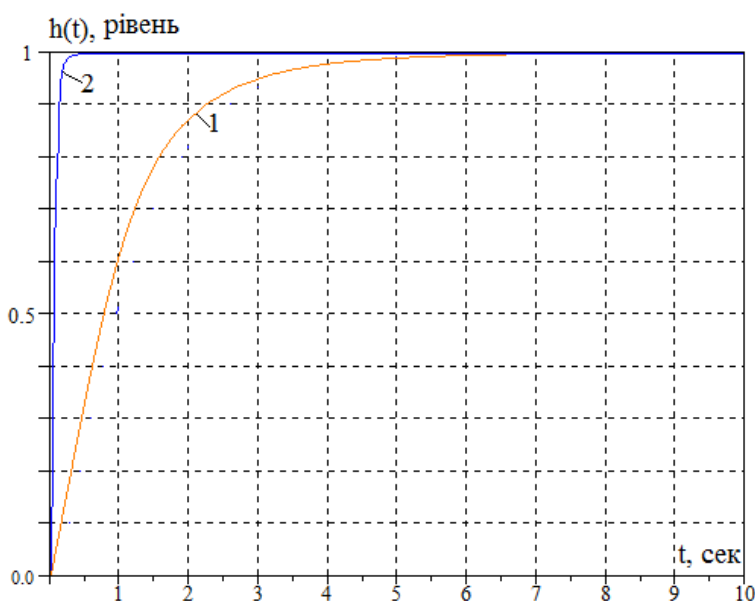


Рисунок 4.6 – Графік перехідного процесу у ВП з закритим – 2 (відкритим – 1) оптичним каналом

Де $t \approx$ від 0.0 до 3.0 – це час, затрачений на транспортування проби, що обумовлено інерційністю елементів ГС. А при $t \approx$ від 0.0 до 0.1 с – це час, обумовлений інерційністю елементів ГС.

Отже, є проблема $\Delta_{дн1} > \Delta_{дн2}$, при $\Delta_{СТ1} < \Delta_{СТ2}$, і навпаки $\Delta_{дн1} < \Delta_{дн2}$, при $\Delta_{СТ1} > \Delta_{СТ2}$. Розв'язання цієї проблеми було розпочато в розділі 2 шляхом введення додаткових вимірювальних каналів у методику контролю концентрації вуглекислого газу і буде продовжено в наступному розділі (розробка структури оптичного датчика).

4.4 Оцінення основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у атмосферних газах

Рівняння для перетворення даних вимірювання у форму, яку можна використовувати для обчислення вихідного коду N_x від напруги U_x записується як функція даних вимірювання:

$$N_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot 2^{n-1}, \quad (4.3)$$

де U_x - значення напруги на виході датчика при заданому параметрі C ; N_x - значення коду після АЦП; U_0 - опорна напруга; n - розрядність АЦП.

Підставимо рівняння (2.3) у рівняння (3.3) та абсолютне значення опорної напруги отримаємо рівняння вимірювального каналу за напругою:

$$N_x = \frac{I_0 \cdot e^{\frac{\int_0^\infty k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i})^2} \cdot \frac{-0,0083 \cdot T}{P_0 \cdot e^{\frac{M_M \cdot g \cdot h}{R \cdot T} - P_{розр.}}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l}}{5.5} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R \cdot 2^{12}. \quad (4.4)$$

Графічна залежність вихідного коду N_x від концентрації C показана на рис. 4.7 – 4.8.

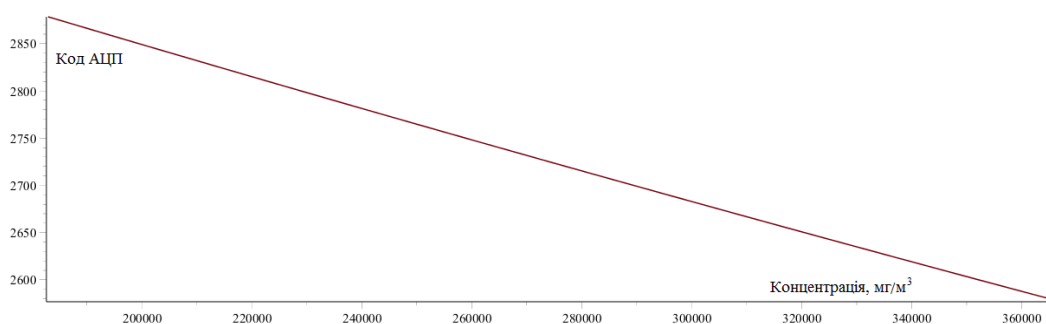


Рисунок 4.7 – Графік рівняння для вимірювання концентрації CO2 в газах (у передбаченому діапазоні)

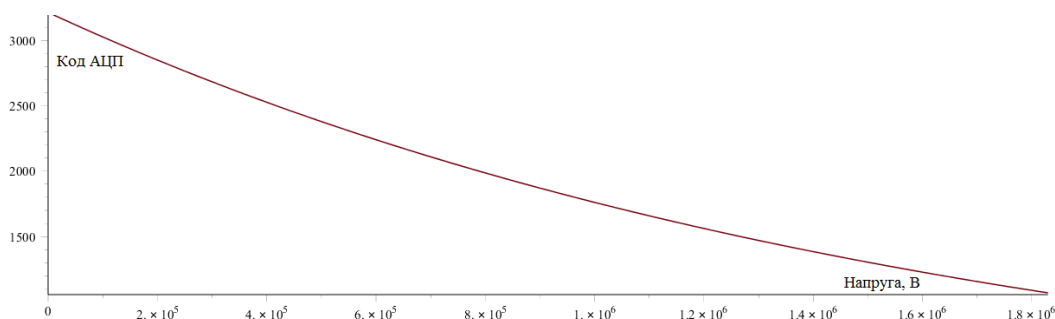


Рисунок 4.8 – Графік рівняння для вимірювання концентрації CO2 (повний діапазон)

Інтенсивність випромінювання на виході оптичного каналу I_x , зв'язано з U_x в рівності:

$$I_0 = \frac{U_F}{e^{\frac{\int_0^\infty k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} \cdot \frac{-0,0083 \cdot T}{P_0 \cdot e^{\frac{M_M \cdot g \cdot h}{R \cdot T} - P_{розр.}}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l}} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R_{ZZ}}. \quad (4.5)$$

Залежність інтенсивності випромінювання від напруги (в робочому діапазоні 10-20%) представлена на рисунку 4.9.

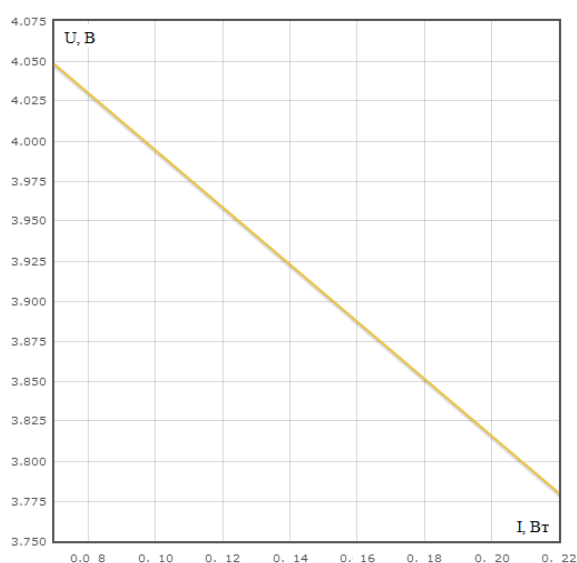


Рисунок 4.9 – Залежність інтенсивності випромінювання від напруги

Залежність інтенсивності випромінювання від тиску (Р) та температури (Т) продемонстровано (при сталій концентрації) на рис. 4.10.

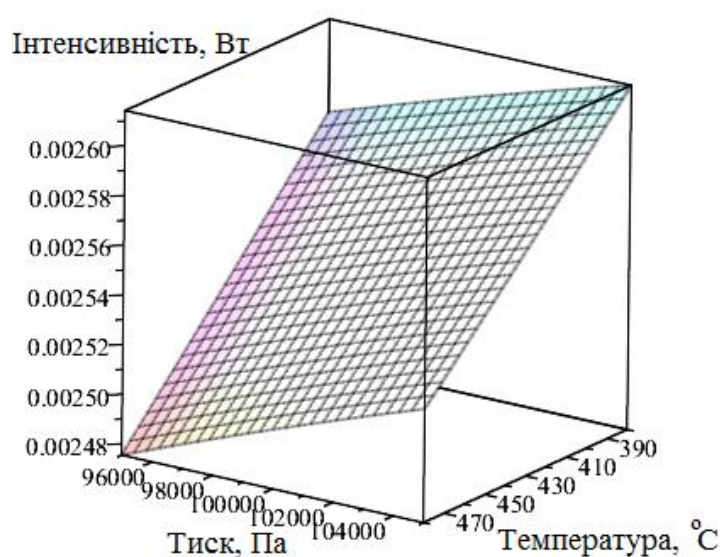


Рисунок 4.10 – Залежність інтенсивності випромінювання від тиску та температури представлено (при сталій концентрації)

Залежність вихідної напруги оптичного датчика від тиску та температури (при постійній концентрації) наведена на рисунку 4.11.

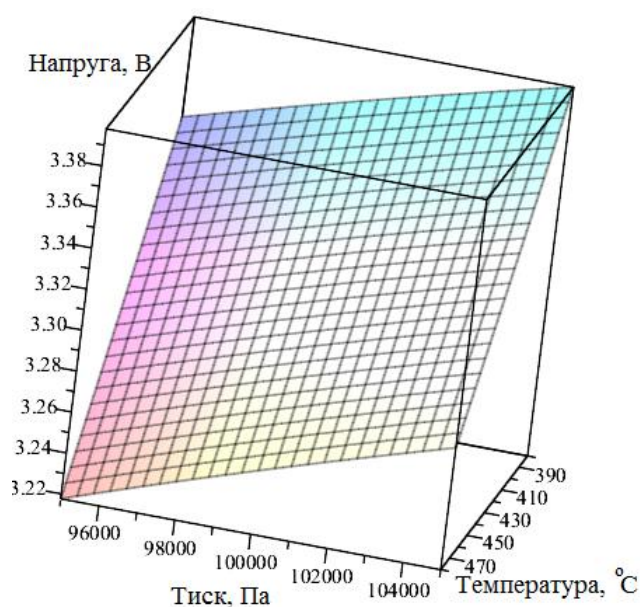


Рисунок 4.11 – Залежність напруги на виході оптичного сенсора від тиску та температури представлено(при $C=\text{const}$)

Виміряні значення та значення впливу непрямого вимірювання показані на рис. 4.12

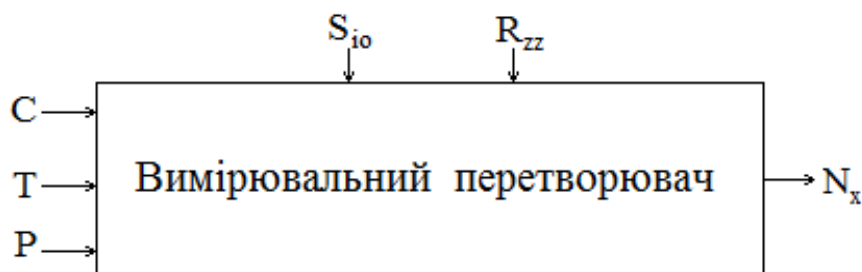


Рисунок 3.12 –Представлення вимірювального перетворення

Відповідно до представлення перетворення вимірювання, форма функції перетворення є:

$$y = N_x = \text{fun}(\bar{x}, \bar{f}) = \text{fun}(C, T, P, S_{io}, R_{zz}), \quad (4.7)$$

$$\text{де } \bar{x} = (C, T, P), \quad \bar{f} = (S_{io}, R_{zz}).$$

Вивчіть процес трансформації. Динамічна похибка представлена динамічною характеристикою, яка визначається як миттєва різниця між значенням вхідного сигналу, розрахованим на основі вхідного сигналу, і значенням номінальної статичної характеристики, і різницею між миттєвим значенням сигналу в цей момент [3]. Динамічна поведінка, що описується диференціальними рівняннями першого порядку, є найбільш характерною властивістю вимірювальних приладів. Узагальнене рівняння, що характеризує аперіодичні ланки, має вигляд:

$$\tau \cdot \frac{dy}{dt} + y = k \cdot x, \quad (4.8)$$

де k – коефіцієнт передачі; τ – стала часу, що визначається параметрами засобу вимірювань; $x(t)$ – вхідна величина засобу вимірювання; $y(t)$ – вихідна величина засобу вимірювання.

Інерційні властивості характеризуються постійними часу. Знаючи τ , легко визначити час, необхідний для наближення перехідного процесу до статичного режиму з будь-якою заданою точністю.

Стаціонарна помилка є статичною помилкою. Існування перехідних процесів може призвести до динамічних помилок. Тривалість перехідного процесу для заданої (дозволеної) динамічної похибки визначається наступним рівнянням:

$$\Delta_{дн} = k \cdot e^{-\left(\frac{t_{дн}}{\tau}\right)}, \quad (4.9)$$

де $t_{дн}$ – тривалість перехідного процесу.

З рівняння (4.9) тривалість перехідного процесу при заданому значенні динамічної похибки визначається за формулою:

$$t_{III} = \tau \cdot \ln\left(\frac{k}{\Delta_{дн}}\right). \quad (4.10)$$

Тому в засобах вимірювання з неперіодичними перехідними процесами, що описуються перехідними процесами першого порядку, тривалість перехідного процесу зменшується зі зменшенням постійної τ і збільшенням допустимої динамічної похибки.

Візьмемо початкове значення $U(T)$ за одиничну функцію (функцію Хевісайда) і отримаємо аналітичну залежність перехідних властивостей аперіодичних ланок

$$U(T) = k \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (4.11)$$

де k – коефіцієнт пропускання; τ – постійна часу, яка визначається параметрами вимірювального пристрою.

Результати, отримані шляхом моделювання відгуку датчиків пристрою керування на вхідний сигнал $1(t)$, наведені на рисунку 2. 3.15-3.17 Використовуйте імпульсний таймер у пакеті програм WinPLC7 для експериментальної побудови перехідних характеристик $h(t)$ (модель, використана для дослідження перехідного процесу, показана на рисунку 4.13).

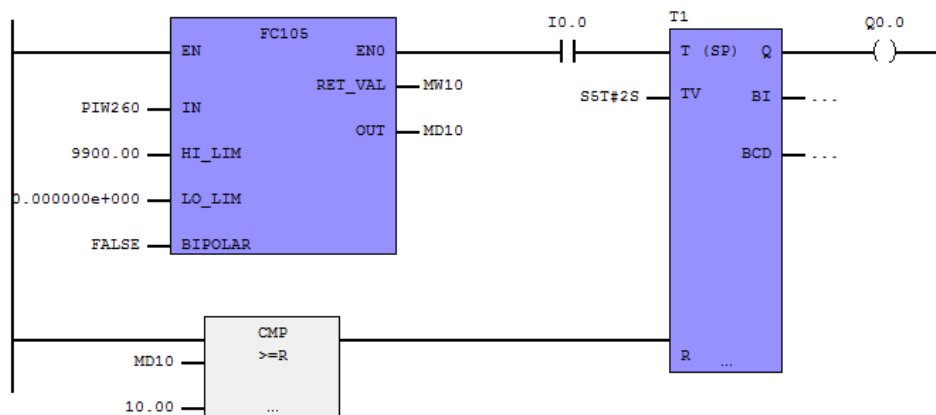


Рисунок 4.13 – Модель для дослідження перехідного процесу

Хід перехідного процесу в ВП після зміни концентрації газової суміші (вбудований у пакет Scilab) на основі експериментальних даних показано на рисунку 4.14:

$$C(t) = 10 \cdot (1 - e^{-0.07}) \quad (4.12)$$

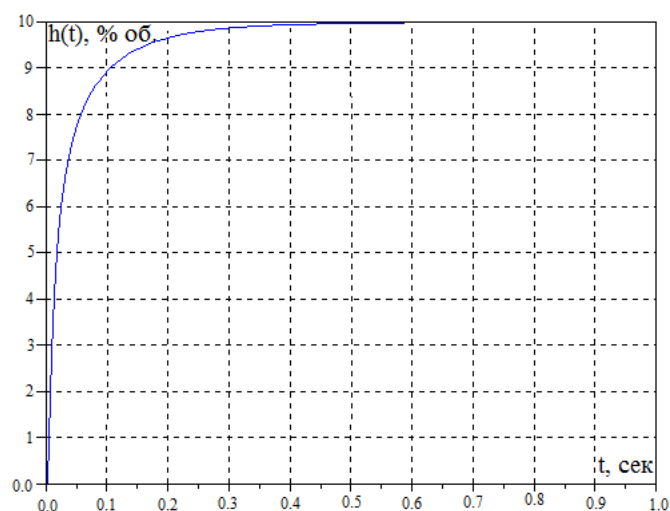


Рисунок 4.14 – Перехідний процес у вимірювальному каналі CO₂

Протікання перехідного процесу у ВП після зміни температури представлено на рис. 4.15:

$$P(t) = 0.58 \cdot (1 - e^{-0.09}) \quad (4.13)$$

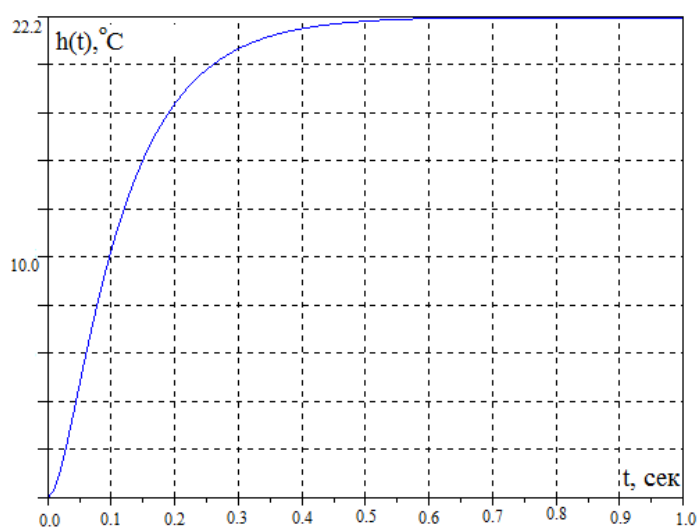


Рисунок 4.15– Графічне зображення перехідного процесу у вимірювальному каналі температури

Хід перехідного процесу у ВП після зміни тиску представлено на рис. 4.16.

$$P(t) = 0.67 \cdot (1 - e^{-0.1}) \quad (4.14)$$

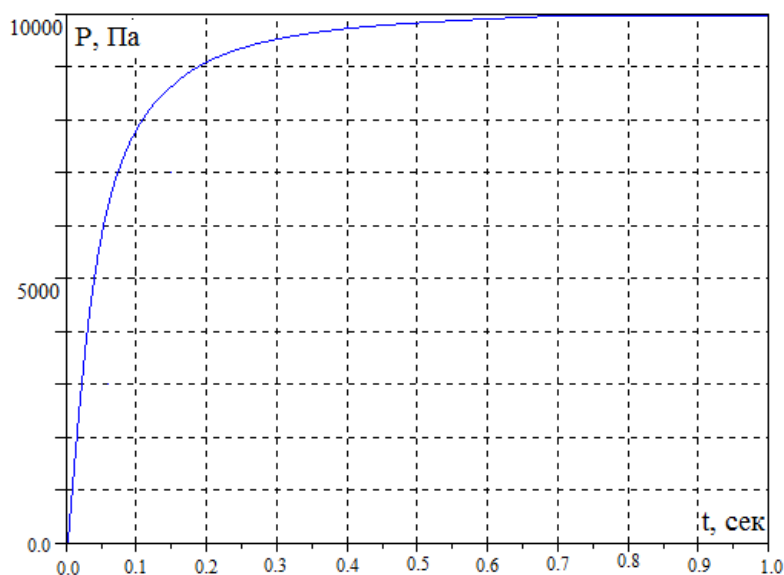


Рисунок 4.16 – Графічне представлення перехідного процесу у вимірюваль-
ному каналі тиску

Коли $t \approx$ від 0 до 0,1 с, це час від моменту зміни концентрації газу на вході до моменту досягнення вихідного сигналу певного рівня. Це час транспортування зразка та інерція елементів.

Коли t становить приблизно від 0,1 до 0,35 секунд наприкінці цього часу, миттєве значення вихідного сигналу буде пов'язане зі значенням зміни концентрації CO₂ у газах. Цей період базується на динамічних властивостях суміші.

З рис. 4.16 можна зробити висновок, що поставлену проблему в під-розділі дипломної роботи ($\Delta_{дн1} > \Delta_{дн2}$, при $\Delta_{ст1} < \Delta_{ст2}$, і навпаки $\Delta_{дн1} < \Delta_{дн2}$, при $\Delta_{ст1} > \Delta_{ст2}$) – вирішено. Порівнюючи отримані дані з даними на рисунку 3.6, можна побачити, що миттєвий час обробки сигналу збільшився

приблизно до 0,44 секунди (порівняно з відкритим світловим каналом) і зменшився приблизно до 6 секунд (порівняно із закритим світловим каналом). Отримані результати повністю відповідають вимогам ISO і можна сказати, що поставлені цілі досягнуті (з необхідною швидкістю).

4.5 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі запропоновано структуру та функціональну схему пристрою контролю концентрації вуглекислого газу в атмосфері, а також наведено рівняння перетворення каналу вимірювання.

Розраховано статичні та динамічні характеристики пристрою контролю концентрації вуглекислого газу газам.

Розроблено алгоритмічну організацію, яка адаптує методику контролю концентрації вуглекислого газу в атмосфері до реальних умов експлуатації.

За допомогою розробленого засобу оцінено можливі значення інструментальних і методичних похибок вимірювань концентрації газу. Визначено, що сумарна похибка вимірювань не перевищує 1,9%.

ВИСНОВКИ

У дослідженні вивчаються методи та прилади, що використовуються в процесі визначення концентрації газових сполучень. Було проведено загальний опис найбільш поширених методів аналізу газу, обговорено їх переваги та недоліки, потенційні застосування та проблеми. Одним із загальних недоліків більшості існуючих методів, за винятком оптичних, є їх недостатня селективність, тобто наявність інших компонентів часто впливає на вимірювання концентрації газу. Низьким порогом виявлення, тобто здатністю розпізнавати невеликі концентрації газів, володіють лише електрохімічні та оптичні методи аналізу газів. У рецензованій статті показано, що найбільш практичним підходом є використання оптичних методів, серед яких оптико-абсорбційний метод є найефективнішим для вирішення вищезазначених проблем.

У результаті наступною важливою метою додаткових робіт є вдосконалення оптимального способу контролю концентрації газових компонентів та отримання уніфікованих, приблизно, властивостей об'єкта контролю.

Розроблено конструктивні та функціональні рішення пристроїв, зокрема оптичних датчиків, для контролю концентрації компонентів атмосферних газів. Надано рекомендації щодо розробки методів вимірювання та контролю концентрації компонентів атмосферних газів. Оцінено основні кількісні властивості розробленого засобу контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теплюх З.М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу атмосферних газів / З.М. Теплюх // *Енергетика и Электрификация*. - 2004. – №3. – С. 10-18.
2. Кучерук В.Ю. Синергетичні методи керування теплоенергетичними об'єктами / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія”*. – Вінниця, 2010. – С. 47.
3. Бугайов Ю.В. Використання мікропроцесорних систем для компенсації температурної похибки оптичних перетворювачів / Ю.В. Бугайов, Ю.В. Шабатура // *Вісник Технологічного університету Поділля*. - 2003. – №3/Т.2. – С. 152-154.
4. Бужинський В.В. Автоматизація теплоенергетичних та теплотехнологічних процесів і установок / В.В. Бужинський, М.М. Чепурний. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 48 с.
5. Патент на корисну модель 5163, Україна, G01 N27/72. Високоточний термомагнітний газоаналізатор / Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В.; заявники та патентовласники Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В. №20040705790; заявлено 14.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – 2005.- 4 с.
6. Howell Y.R. Solution of Thermal Transfer through Radiant Media Between Gray Walls / Howell Y.R., Permuter M. Monte Carlo // *Yourn. Heat Transfer*. - 1964. – P. 116-122.
7. Zanelly S. On the calculation of spatical temperature and radiative transfer in industrial watertube boiler/ Zanelly S., Corsi R., Rieri Y. // *Heat Transfer in Flames*. – Washington: Scripta Book Company, 1973. – P. 18-24.

8. Кучерук В.Ю. Метод компенсації температурної похибки оптико-абсорбційних температурних перетворювачів концентрації газової суміші / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатсьєв // Оптико електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2011. – №1 (21). – С. 163-167.
9. Dils B. Ground-based CO observations at Jungfraujoch // Comparison between FTIR and NDIR measurements / Dils B., Mahieu E., Demoulin P., Steinbacher M., Buchmann B., and De Maziere M. - 2009. - 154p.
10. Ван-дер-Зил. Источники, описание, измерение / А. Ван-дер-Зил, А. Шум. – М.: Сов. радио, 1973.
11. Meszaros T., Haszpra L., Gelencser A.: Tracking changes in carbon monoxide budget over Europe between 1995 and 2000, Atmos. Environ., 39, 7297–7306. - 2005.
12. Stemmler K., Zellweger C., Ridgeon P.: Two highspeed, portable GC systems designed for the measurement of non-methane hydrocarbons and PAN: Results from the Jungfraujoch High Altitude Observatory, J. Environ. Monit., 6, 234–241. - 2004.
13. Stuart B. H. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. — Wiley, 2004. — 242 p.
14. J. Hildenbrand. Micromachined mid-infrared emitter for fast transient temperature operation for optical gas sensing system /J. Hildenbrand, A. Kurzinger, C. Peter, E. Moreton, J. Wollenstein, F. Numann, M. Ebert, and J. Korvic. - in Proc. 7-th IEEE SENSORS. - Lecce, Italy. - Oct. 2008. - p. 297–300.
15. G. S. Landsberg. Optics / G. S. Landsberg. - Moscow: Nauka Publishing House. – 1976. - p. 567.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У МІСТІ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-20Б
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Бондар М. Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС

Дудатьєв І. А.

(прізвище та ініціали)

«14»

об

2024 р.

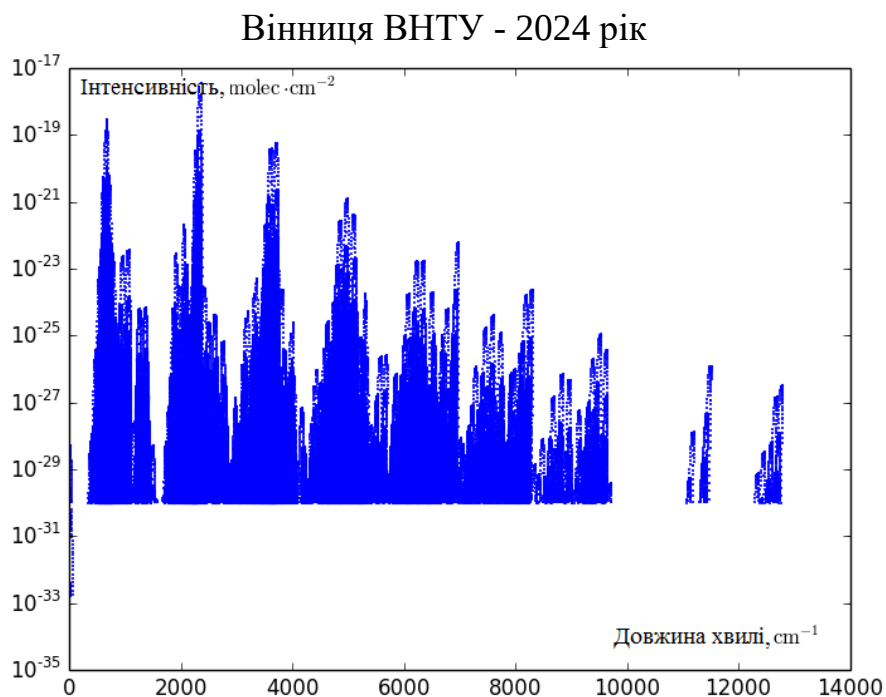


Рисунок 1 – Спектр поглинання CO₂ у діапазоні 0.75-15 мкм

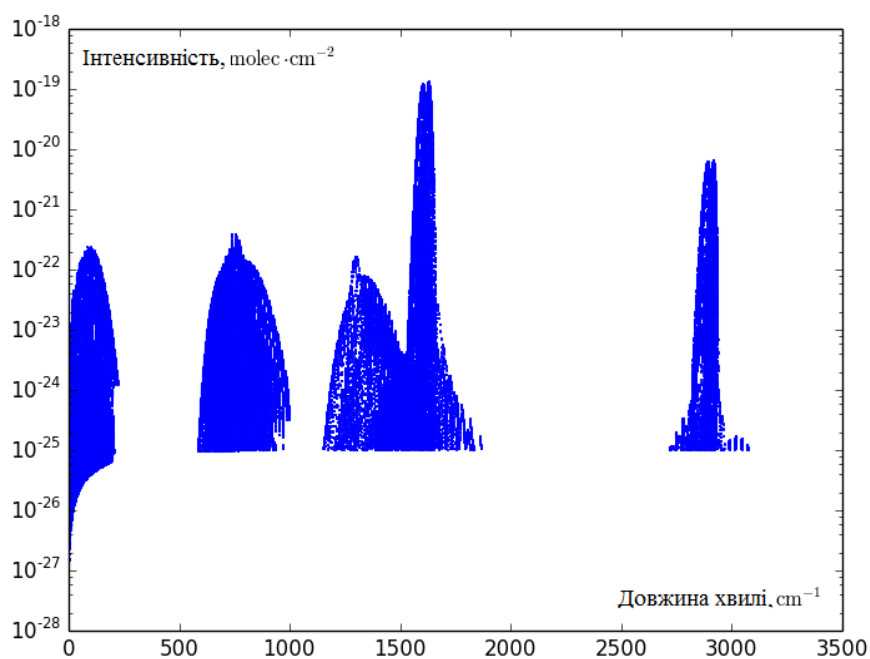


Рисунок 2 – Спектр поглинання N₂O у діапазоні 0.75-15 мкм

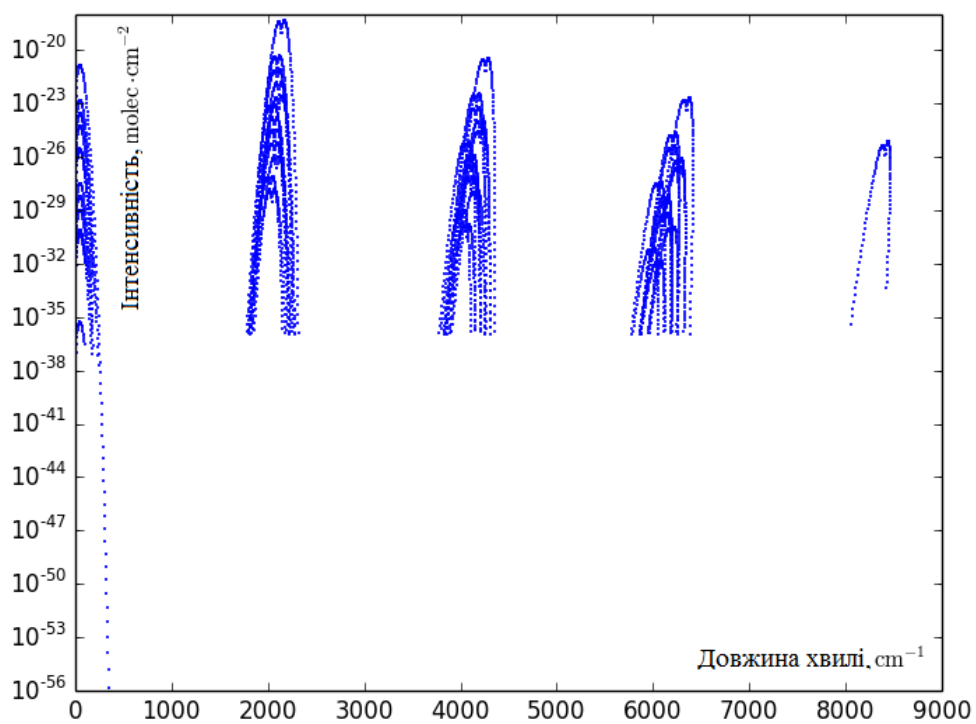


Рисунок 3 – Спектр поглинання CO у діапазоні 0.75-15 мкм

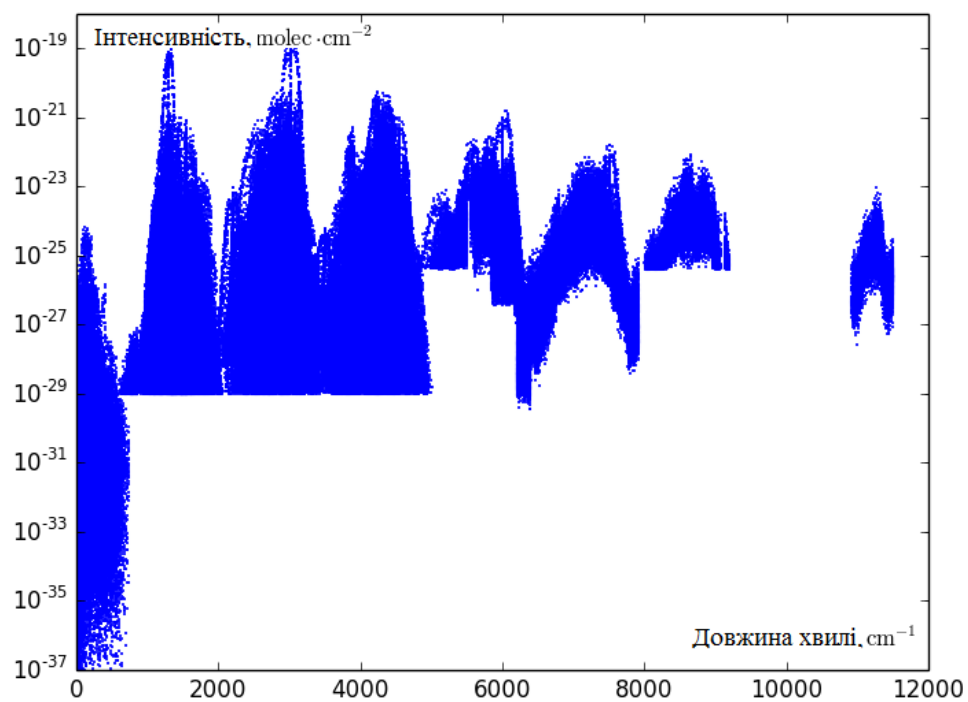


Рисунок 4 – Спектр поглинання CH₄ у діапазоні 0.75-15 мкм



Рисунок 5 – Газоаналізатор

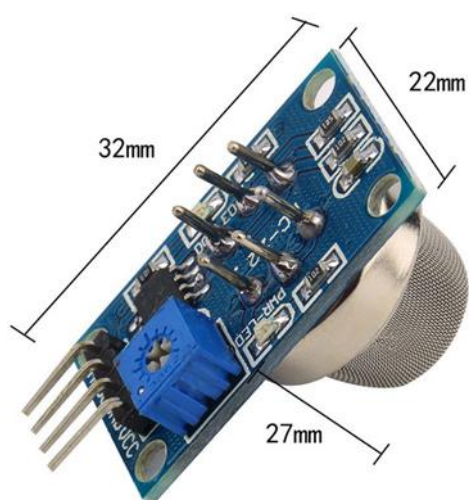


Рисунок 6 – Модуль датчика якості повітря MQ-135

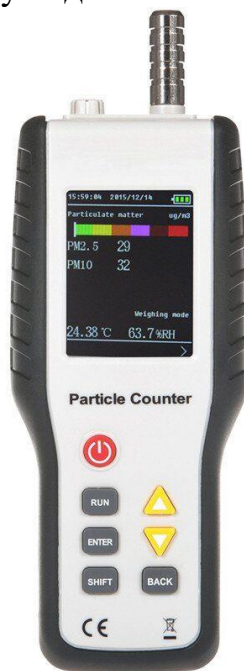


Рисунок 7 – Тестер запиленості Walcom

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ
У МІСТІ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Розробка засобу контролю рівня забруднення повітря у місті на основі оптико-абсорбційного методу»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 79.5% Схожість 20.5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи


(підпис)

Максим БОНДАР
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)