

ШИФР «Контроль вуглецю»

КОНКУРСНА РОБОТА

на тему

**«Розробка засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових
газах»**

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДУ КАРБОНУ І РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СЕНСОРА	8
1.1 Особливості озону як об'єкту контролю.....	8
1.2 Вибір методу контролю концентрації оксиду карбону	8
1.3. Розробка функції перетворення. Фізичне та математичне представлення оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.	9
1.4. Розробка структурної схеми сенсора	10
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКСИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА ОЦІНКА ОСНОВНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	13
2.1 Аналіз спектрів поглинання сенсорів засобу контролю	13
2.2 Коефіцієнт поглинання CO ₂ у атмосфері.....	15
2.3 Оцінка статичних метрологічних характеристик	17
2.4 Оцінка динамічних метрологічних характеристик.....	19
РОЗДІЛ 3. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЕНСОРА ОКСИДУ КАРБОНУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
3.1 Програмна реалізація засобу контролю.....	20
3.2 Визначення вірогідності контролю та достовірності результатів експериментальних досліджень.....	24
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

АНОТАЦІЯ

Актуальність. Нині існує безліч національних та міжнародних методик контролю рівнів вуглекислого газу, які базуються на різноманітних методах вимірювання (оптичних, механічних, фізичних, хімічних). Однак, в багатьох випадках, ці методи є дуже дорогими, а відповідно, термін їх експлуатації дуже великий, що робить їх використання на різних підприємствах неефективним. З іншого боку, доступні методи не можуть забезпечити необхідну точність та достовірність контролю через конструктивні недоліки або низькі показники метрологічних характеристик, що є необхідною умовою для ефективної роботи багатьох систем.

Метою даної роботи є підвищення достовірності процесу моніторингу концентрації вуглекислого газу з необхідною швидкістю шляхом оцінки та компенсації впливу впливових факторів на основі оптико-абсорбційного методу за допомогою датчика вуглекислого газу.

В роботі були поставлені і вирішені наступні завдання для досягнення поставленої мети:

- аналіз поточних заходів і методів моніторингу концентрації вуглекислого газу включає огляд доступних технологій і методів, що використовуються для моніторингу вуглекислого газу;
- розробити математичну модель засобу для контролю рівня двоокису вуглецю на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу ;
- розробка структурної схеми для контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;
- розробка програмного забезпечення для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю;

Об'єкт досліджень - це процес вимірювання контролю концентрації двоокису вуглецю

Предметом дослідження - є методи та засоби підвищення достовірності контролю при заданій швидкодії оптико-абсорбційного методу контролю концентрації двоокису вуглецю.

Наукова гіпотеза дослідження – удосконалення достовірності процесу контролю концентрації двоокису вуглецю, розробка сенсора.

Методи дослідження. У роботі використовувались методи теорії вимірювального контролю, планування наукових експериментів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, помилок вимірювань та технічного контролю. Також використовувались методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Інформаційною базою написання роботи технікоекономічні характеристики, дані статистичних спостережень, Державних реєстрів, звітів національних асоціацій, міжнародних організацій, наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених та відкриті інформаційні ресурси.

Наукова цінність результатів дослідження було розроблено метод вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок за допомогою інфрачервоної зони з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами, де використовуються фотоприймачі з різними робочими довжинами хвиль.

Практичне значення дослідження:

1. Було розроблено структурно-алгоритмічну організацію системи контролю концентрації двоокису вуглецю на основі оптико-абсорбційного методу;
2. Була розроблена система контролю концентрації діоксиду вуглецю на основі методу оптичної абсорбції інфрачервоного випромінювання зі структурно-алгоритмічною організацією.

Апробація результатів наукових досліджень. Основні положення дослідження опубліковано в Збірнику студентських наукових праць. Сільськогосподарські науки. № 4(4). 2021. С. 120-124.

Впровадження. Результати конкурсної роботи прийнято до впровадження на ТОВ «ФРЕНДТ»

Структура та обсяг роботи. Робота складеться зі вступу, 3 розділів, переліку використаних джерел (15 Бібліографічних посилань, 2 сторінок) і містить рисунків 23, таблиць 4.

ВСТУП

Актуальність теми. На даний момент існує кілька національних і міжнародних стратегій моніторингу викидів вуглецю за допомогою різноманітних методів вимірювання (оптичних, механічних, фізичних, хімічних). Тим не менш, у багатьох випадках ці методи є надмірно дорогими і, відповідно, мають тривалий термін окупності (до 15 років), що робить їх не вигідними для різних організацій. І навпаки, більш доступні варіанти можуть не гарантувати необхідної точності та надійності контролю через структурні недоліки або неадекватні метрологічні характеристики, які є основними умовами для ефективного функціонування багатьох систем. [1].

Іншим недоліком існуючих засобів контролю кількості двоокису вуглецю є їх несумісність із сучасними вимогами до адаптивності. Сучасні засоби контролю враховують зовнішні збурення, але для повного вирішення задач адаптації необхідно ще враховувати внутрішні, зокрема - накладання смуг оптичних спектрів.

Для досягнення високої точності та швидкості процесу контролю концентрації двоокису вуглецю, необхідно розробити новий метод контролю, який враховуватиме зовнішні та внутрішні збурення, а також базуватиметься на вдосконалених математичних моделях визначення концентрації компонентів газів. Для цього можна використовувати інженерно-технічні рішення, які дозволять оптимізувати процес контролю, зменшити витрати та підвищити якість продукції.

Метою даної роботи є підвищення достовірності процесу моніторингу концентрації вуглекислого газу з необхідною швидкістю шляхом оцінки та компенсації впливу впливових факторів на основі оптико-абсорбційного методу за допомогою датчика вуглекислого газу.

В роботі були поставлені і вирішені наступні завдання для досягнення поставленої мети:

- аналіз існуючих методів контролю концентрації двоокису вуглецю.

— розробка математичних моделей для визначення кількості компонентів газу на основі збурення оптичних спектрів та на основі інших методів вимірювання.

— розробка програмного забезпечення для опрацювання отриманих даних та побудови графіків концентрації газу.

— розробка пристроїв для вимірювання концентрації газу, які враховують внутрішні збурення.

— проведення експериментальних досліджень для перевірки розроблених математичних моделей та пристроїв.

Об'єктом дослідження у цій роботі є процес контролю концентрації діоксиду вуглецю за допомогою вимірювальних методів.

Предметом дослідження є покращення точності контролю концентрації двоокису вуглецю з використанням оптико-абсорбційного методу при заданій швидкості вимірювання.

Наукова гіпотеза дослідження – удосконалення достовірності процесу контролю концентрації двоокису вуглецю, розробка сенсора.

Методи дослідження. У роботі використовувались методи теорії вимірювального контролю, планування наукових експериментів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, помилок вимірювань та технічного контролю. Також використовувались методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Інформаційною базою написання роботи технікоекономічні характеристики, дані статистичних спостережень, Державних реєстрів, звітів національних асоціацій, міжнародних організацій, наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених та відкриті інформаційні ресурси.

Наукова цінність результатів дослідження

1. Було розроблено метод вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок за допомогою інфрачервоної зони з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами, де використовуються фотоприймачі з різними робочими довжинами хвиль.

Значення концентрації двоокису вуглецю отримуються шляхом порівняння інтенсивності світлових потоків, які пройшли через відкритий вимірювальний та компенсаційний канали. Цей метод дозволяє зменшити похибку вимірювання до менше ніж 1% в діапазоні вимірювання та зменшити кількість контрольованих параметрів, таких як вологість та запиленість.

2. Було удосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Ця модель враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача і зв'язує вхідну величину - значення вихідної напруги фотоприймача - з вхідною - значенням інтенсивності світлового потоку, яка, в свою чергу, відповідає концентрації двоокису вуглецю. Це підвищило точність вимірювання на 1,1-1,2 рази..

Практичне значення дослідження: В роботі було отримано наступні практичні результати:

1. Було розроблено структурно-алгоритмічну організацію системи контролю концентрації двоокису вуглецю на основі оптико-абсорбційного методу, яка враховує вплив впливних факторів та має адаптаційні алгоритми функціонування в реальних умовах.

2. Розроблено програмний засіб для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю, що був написаний у програмному пакеті WinPLC7 на мові програмування STL.

Апробація результатів наукових досліджень. Основні положення дослідження опубліковано в Збірнику студентських наукових праць. Сільськогосподарські науки. № 4(4). 2021. С. 120-124.

Впровадження. Результати конкурсної роботи прийнято до впровадження на ТОВ «ФРЕНДТ»

Структура та обсяг роботи. Робота складеться зі вступу, 7 розділів, переліку використаних джерел (15 Бібліографічних посилань, 2 сторінок) і містить рисунків 23, таблиць 4

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДУ КАРБОНУ І РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СЕНСОРА

1.1 Особливості озону як об'єкту контролю

Оксид карбону (IV) - це хімічна сполука, яка зустрічається у природних газах у кількості від кількох відсотків до практично чистого вуглекислого газу. Вона не має кольору, має кислу смак і запах. Ця сполука є кінцевим продуктом окиснення вуглецю, не горить, не підтримує горіння та дихання. Токсична дія вуглекислого газу проявляється при його концентрації у повітрі 3-4%, і проявляється у подразненні дихальних шляхів, запамороченні, головному болі, шумі у вухах, психічному збудженні та непритомному стані.

Вуглекислий газ - не має кольору та запаху і є природною складовою атмосфери. Він є продуктом згоряння викопного палива і має парникові властивості, що призводить до утримання тепла на поверхні Землі і сприяє глобальному потеплінню. [2].

Діоксид вуглецю широко використовується в хімічній промисловості при виробництві соди та інших продуктів, а також у виробництві цукру, вина, пива, газованої води та інших товарів народного господарства.

1.2 Вибір методу контролю концентрації оксиду карбону

Для вибору методу та способу визначення оксиду вуглецю було порівняно такі методи контролю концентрації: термокондуктометричний, термохімічний, магнітний, пневматичний, пневмоакустичний, інфрачервоний, хемілюмінесцентний, флуоресцентний, фотоколориметричний, стрічковий, амперометричний, іонізаційний, напівпровідниковий та еталонний методи за такими параметрами: діапазон вимірювань, швидкість вимірювань, складність використання, можливість вимірювання декількох компонентів, вибірковість вимірювань.

Методи порівняємо у табл. 1.1 та визначимо оптимальний.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів для контролю оксиду карбону

Метод/ Параметр	Діапазон вимірю- вань	Швидко- дія	Несклад- ність	Багато- компонентність	Вибір- ковість
Термокондукто- метричний	0,5	0	1	1	0
Термохімічний	0,5	0	1	1	0
Магнітний	0,5	0	1	1	0,5
Пневматичний	0,5	0	1	1	0,5
Пневмоакустичний	0,5	0,5	0	0	0,5
Інфрачервоний	1	1	0	1	1
Хемілюмінесцентний	1	1	0	1	1
Флуоресцентний	1	1	0	1	1
Фотоколоримет- ричний	1	1	0	1	0,5
Стрічковий	0,5	0	1	1	0,5
Амперометричний	0,5	0	1	1	0,5
Іонізаційний	0	1	0	1	0
Напівпровідниковий	0	0,5	1	1	0,5
Еталонний	1	1	1	1	1

Джерело: таблиця побудована автором на основі техніко-економічного аналізу

Отже, було встановлено, що для визначення концентрації оксиду вуглецю найбільш оптимальним є інфрачервоний метод, який базується на використанні інфрачервоного газоаналізатора.

1.3. Розробка функції перетворення. Фізичне та математичне представлення оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.

Фізичний процес поглинання оптичного випромінювання через газову кювету полягає в тому, що молекули газу поглинають кванти випромінювання, які відповідають певним частотам і тим самим збуджуються. Якщо поглинається ультрафіолетове або видиме випромінювання або випромінювання короткохвильової частини інфрачервоного спектру, то енергія електронів підвищується, що відповідає коливанню ядер атомів та їх обертанню навколо центру тяжіння. В результаті цього спектри поглинання молекул складаються з ряду смуг, що мають складну структуру.

На рис. 1.1. показана частина спектру, знятого при товщині шару газу 100 мм, тиску 10000 ррт і температурі 20°C.

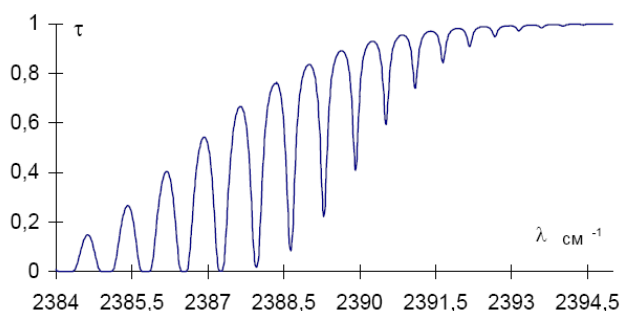


Рисунок 1.1 – Коливально-обертальні смуги поглинання вуглекислого газу

Джерело:[13]

Всі гази, за винятком O₂, N₂, H₂O, Cl₂ та одноатомних газів, поглинають інфрачервоне випромінювання [3]. Спектри поглинання одноатомних газів або парів металів відрізняються від інфрачервоних спектрів поглинання молекул своєю відносною простотою і складаються не з смуг, а з окремих ліній, які у багатьох випадках розташовані тільки в ультрафіолетовій області спектру.

1.4. Розробка структурної схеми сенсора

Вимірювальний перетворювач має відповідати даним метрологічним характеристикам [4]:

- коефіцієнт перетворення (чутливість) ВП визначається відношенням

$$k = \frac{\Delta X}{\Delta Y}, \quad (1.1)$$

де ΔY – зміна вихідного сигналу ВП;

ΔX – зміна сигналу на вході ВП.

Для аналізу газової суміші в діапазонах від мікро- до макроконцентрацій потрібно мати вимірювальний перетворювач (ВП) з максимальним значенням коефіцієнта k , а також забезпечити стабільність і незалежність коефіцієнта від зовнішніх факторів.

Ідеальна ФП ВП повинна бути лінійною та стабільною у часі. Однак ВП, які використовуються у газоаналізаторах, характеризуються нелінійною ФП. Нелінійність ФП потребує індивідуальної градування пристроїв або використання функціональних перетворювачів - лінеаризаторів.. Градувальна характеристика (ГХ) ВП представлена на рис. 1.2.

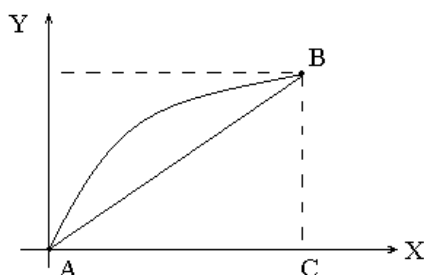


Рисунок 1.2 – Градувальна характеристика ВП

Джерело:[9]

При наявності нелінійності в характеристиці ВП, чутливість перетворювача в робочому діапазоні не є постійною. В такому випадку чутливість в будь-якій точці характеристики визначається співвідношенням

$$S = \frac{dY}{dX} = \lim \frac{\Delta Y}{\Delta X} . \quad (1.2)$$

Перехідний процес, що відбувається у ВП, наведено на рис. 1.3.

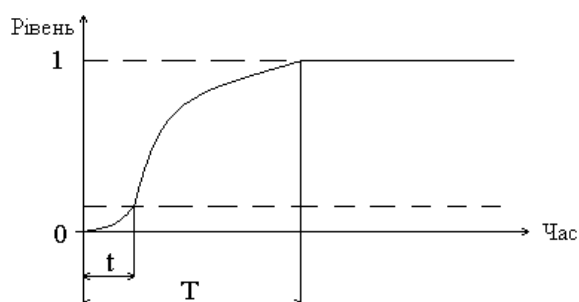


Рисунок 1.3 – Перехідний процес у ВП

Джерело:[9]

З метою розвитку промислових контролерів задачі обробки вимірювальної інформації краще виконувати за допомогою цих контролерів, що

забезпечує спряження вихідного сигналу ВП з входом контролера. Програмований робот NXT 2.0 може бути використаний для реалізації такої системи. Система контролю оксиду вуглецю здійснює вимірювання в безперервному режимі. Функціональна схема системи подана на рис. 1.4

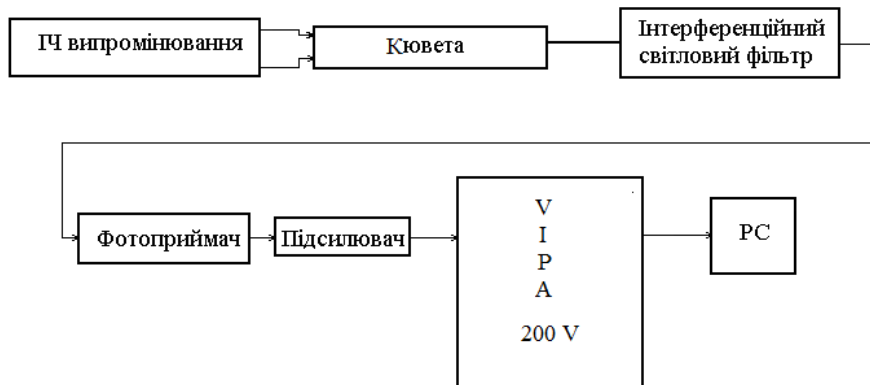


Рисунок 1.4 – Функціональна схема системи контролю оксиду карбону

Джерело: створено авторим на основі аналізу методу контролю оксиду карбону

Останнім часом, оптичні сенсори все частіше будуються на основі світлодіодів і фотодіодів [5], що дозволяє значно поліпшити конструкцію сенсора: відмовитися від механічних модуляторів, інтерференційних фільтрів, знизити енергоспоживання та габарити..

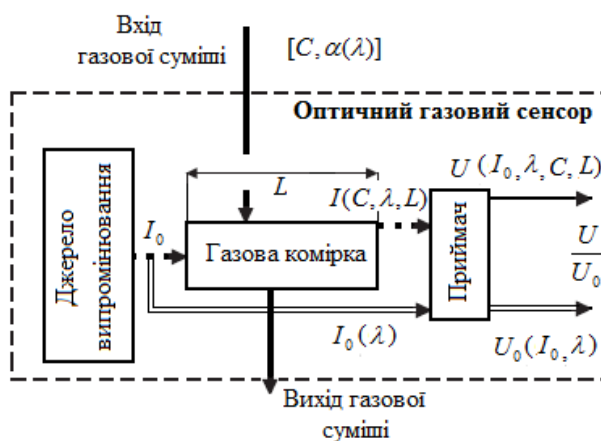


Рисунок 1.5 – Структурна схема розробленого оптичного газового сенсора

Джерело: створено авторим на основі моделі оптичного газового сенсора

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА ОЦІНКА ОСНОВНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Аналіз спектрів поглинання сенсорів засобу контролю

Для вимірювання довжини налаштування фотоприймачів у системі контролю концентрації оксиду карбону застосовується аналіз спектрів поглинання газів, зокрема атмосферних газів [6].

На малюнках 2.1-2.5 зображений аналіз спектрів поглинання основних компонентів атмосферних газів в котельних установках в інфрачервоному діапазоні від 0.75 до 15 мкм (13330-667 см⁻¹).

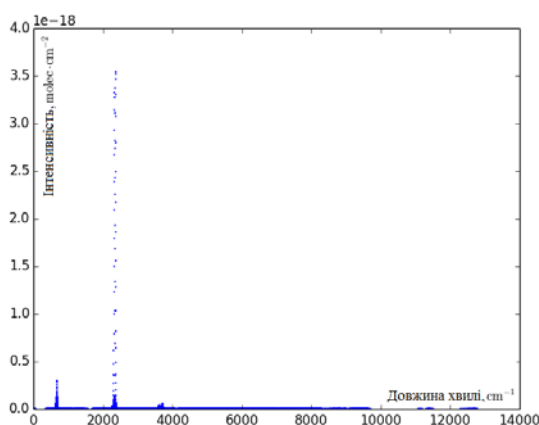


Рис. 2.1. Спектр поглинання CO₂ у діапазоні 0.75-15 мкм

Джерело:[14]

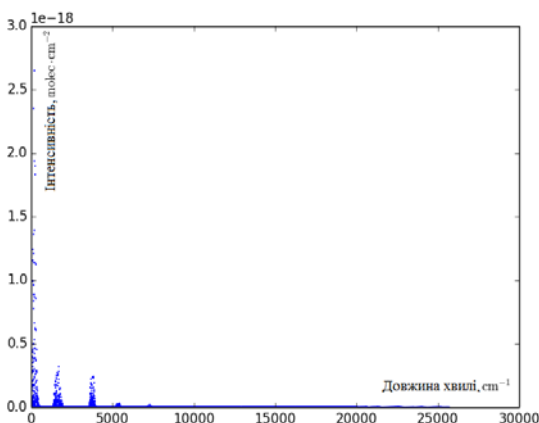


Рис. 2.2. Спектр поглинання H₂O у діапазоні 0.75-15 мкм

Джерело:[14]

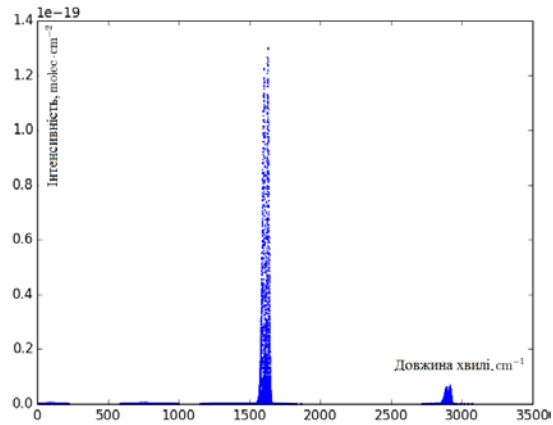


Рис. 2.3. Спектр поглинання N₂O у діапазоні 0.75-15 мкм

Джерело:[14]

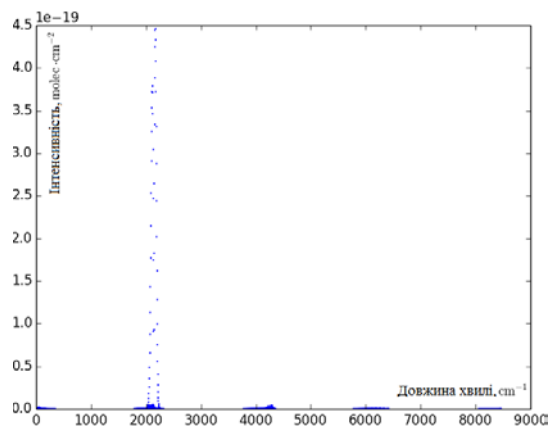


Рис. 2.4. Спектр поглинання CO у діапазоні 0.75-15 мкм

Джерело:[14]

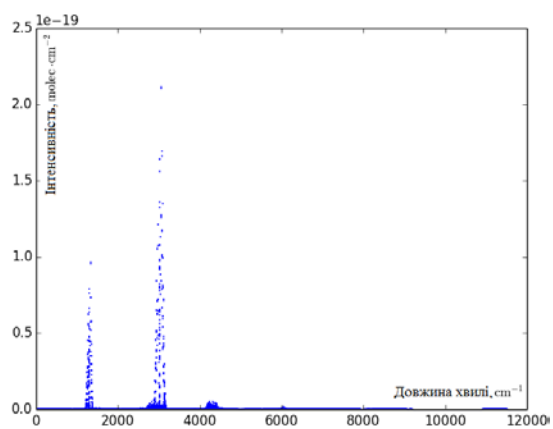


Рис. 2.5. Спектр поглинання CH₄ у діапазоні 0.75-15 мкм

Джерело:[14]

З аналізу спектрів зроблено висновок, що найактивніша область знаходиться в межах $2200\text{-}2500\text{ см}^{-1}$.

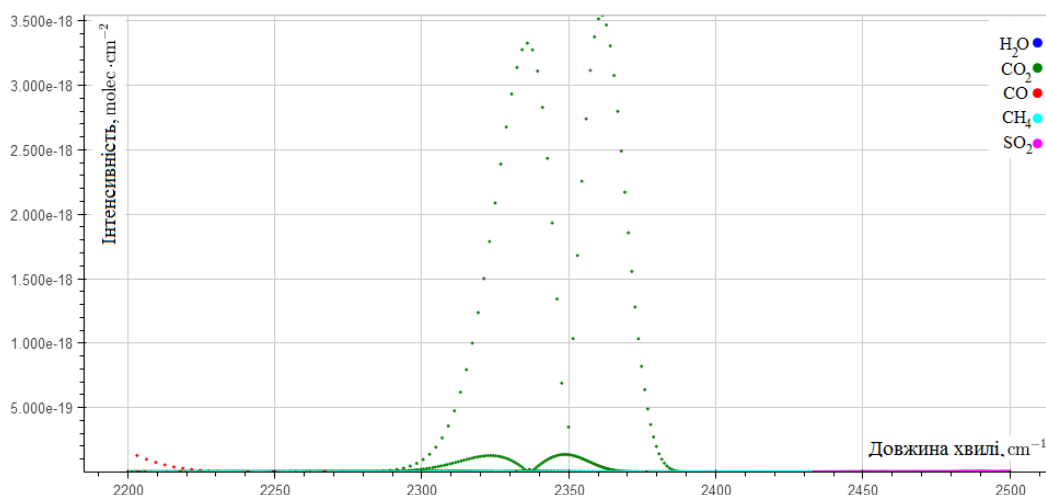


Рис. 2.6. Спектр поглинання основних компонентів атмосферних газів у діапазоні $4 - 4.5\text{ мкм}$ ($2200 - 2500\text{ см}^{-1}$)

Джерело:[14]

Як видно з аналізу спектрів поглинання основних атмосферних газів практично всі смуги поглинання знаходяться поруч одна до одної. До того ж, пари води які присутні у газах, займають широкий спектр довжин смуг поглинання. Після аналізу довжин поглинання газів необхідно за вже відомими вхідними даними обрати інфрачервоні випромінювачі і приймачі.

2.2 Коефіцієнт поглинання CO_2 у атмосфері

Для основних газів існують табличні значення спектрального показника поглинання, але вони приведені до нормальних або стандартних умов. Це тому, що спектральний показник поглинання залежить від тиску і температури, і від них залежить напівширина спектральної лінії.

Аналізуючи спектри поглинання CO_2 , було виявлено найбільш інтенсивну смугу поглинання з центральною довжиною хвилі $4,264\text{ мкм}$. Контур цієї смуги можна описати за допомогою функції Лоренца [7], записаної через довжину хвилі λ .

$$k_i(\lambda) = \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2}, \quad (2.1)$$

де S – інтенсивність смуги поглинання, λ та λ_0 – довжина та центр смуги поглинання, σ – ширина смуги поглинання.

В свою чергу

$$S(\lambda_s) = \int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda. \quad (2.2)$$

Бреслер П.І. [8] пропонує розглядати смуги поглинання як послідовність однакових за інтенсивністю та шириною рівновіддалених ліній λ_i .

Таблиця 2.1 – Фізичні властивості смуг поглинання атмосферних газів

Порядковий номер газової суміші	Хвильове число (ν)	Інтенсивність лінії газу (S)	Спектральна напівширина ліній (σ)
23	2373.455087	2.058E-30	0.06800
63	2373.470292	1.330E-28	0.06440
23	2373.473365	1.213E-25	0.06010
24	2373.507231	2.038E-30	0.05680
23	2373.529430	1.972E-29	0.07280
24	2373.556092	1.370E-30	0.05660
11	2373.572984	9.372E-28	0.01980
21	2373.576440	5.582E-28	0.07940
61	2373.587840	1.521E-29	0.04700
24	2373.629919	1.621E-23	0.06580
24	2373.636738	1.411E-30	0.05660
21	2373.661105	3.602E-28	0.08150
21	2373.665624	1.034E-18	0.06810
61	2373.671538	3.617E-29	0.04500
63	2373.681517	2.192E-28	0.02240

Джерело: взято автором з довідникової літератури

2.3 Оцінка статичних метрологічних характеристик

На рис. 2.7 представлено узагальнену структурну схему моделі вимірювального каналу концентрації компонентів газової суміші.

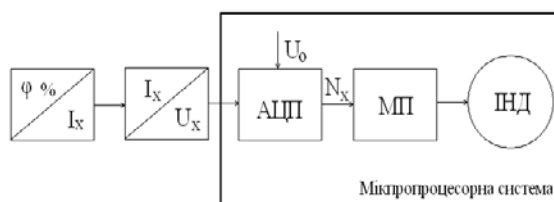


Рисунок 2.7 – Модель вимірюваного каналу

Джерело:[8]

На рис. 2.7. прийнято наступні позначення: φ/I_x – перетворювач концентрація-струм; I_x/U_x – перетворювач струм-напруга; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; U_0 – опорна напруга; N_x – значення коду після аналого-цифрового перетворення; МП, ІНД – мікропроцесор та індикація.

Закон Ламберта-Бера стверджує, що величина потоку випромінювання, який проходить через кювету з газом, залежить від концентрації та довжини пройденого шляху газу.

$$I_{\bar{o}} = a \cdot [1 - \exp(-b \cdot \varphi_x)] , \quad (2.3)$$

де I_x – вихідний електричний сигнал (струм);

a – постійна;

b – постійна;

φ – масова концентрація компонента газової суміші.

Вигляд залежності, що відображає функцію (для постійної довжини оптичного тракту ($l = const$)), представлений на рис. 2.8.

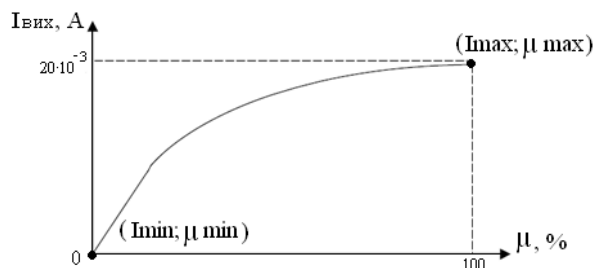


Рисунок 2.8 – Графічне представлення рівняння перетворення

Джерело:[8]

Графічна залежність вихідного коду N_x від концентрації φ_x представлено на рис. 2.9.

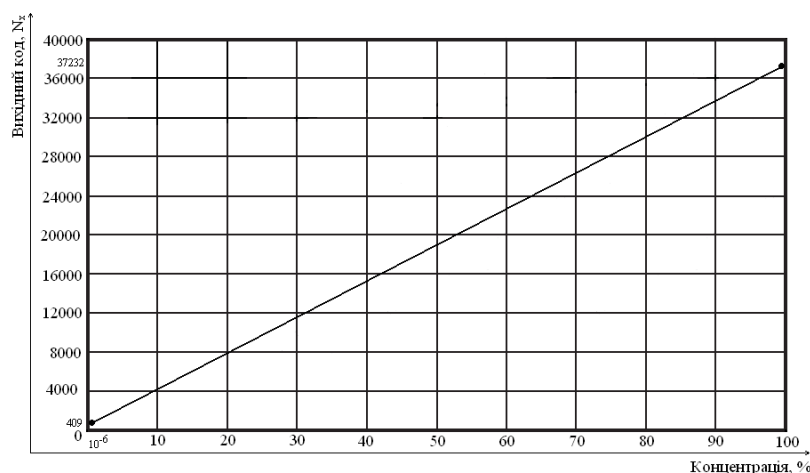


Рисунок 2.9 – Графічне представлення рівняння вимірювального каналу концентрації компонентів газової суміші

Джерело:[8]

Дуже важливим метрологічним параметром є діапазон вимірювання. У стандарті ДСТУ 2681-94 відрізняють діапазон показів та діапазон вимірювань.

Діапазон показів - це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим і кінцевим її значеннями і який вказується на приладі.

$$D_{\text{показів}} = 0 - 100\% , \quad (2.4)$$

Діапазон вимірювань - це інтервал значень вимірюваної величини, в межах якого забезпечується допустима точність вимірювань, враховуючи похибки, які допускаються за стандартами

$$D_{\text{вимірювань}} = 10^{-6} - 100\% , \quad (2.5)$$

"Повний діапазон" вимірювань в практиці також означає відношення верхньої межі вимірювання x_{max} до порогу чутливості

$$D = \frac{x_{\text{max}}}{x_f} = \frac{100}{10^{-6}} = 10^8 . \quad (2.6)$$

2.4 Оцінка динамічних метрологічних характеристик.

Динамічна похибка вимірювання - це різниця між істинним значенням фізичної величини і її вимірним значенням в динамічному режимі, коли вимірювальний прилад ще не встиг зреагувати на швидкі зміни значення величини.

Динамічну похибку можна представити за допомогою динамічних характеристик і визначити як миттєву різницю між значенням вхідного сигналу, зібраного за відповідним часовим інтервалом, та значенням номінальної статичної характеристики у той самий момент часу. Динамічні характеристики включають такі параметри, як час наростання сигналу, час затухання сигналу, добову похибку, коефіцієнт підсилення високих частот і т.д.

Динамічні характеристики за ознакою повноти опису властивостей засобу вимірювань поділяють на повні і частотні [9, 10].

Так, повні динамічні характеристики повністю описують залежність вихідного сигналу засобу вимірювання від будь-яких змін вхідного сигналу, які можуть відбуватися в часі, а також від впливових величин.

Частотні динамічні характеристики вимірювальних приладів описують, як прилад реагує на зміни вхідного сигналу в залежності від його частоти. Вони можуть бути представлені у вигляді функцій передачі або амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик.

РОЗДІЛ 3. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЕНСОРА ОКСИДУ КАРБОНУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програмна реалізація засобу контролю

Для виконання поставленої задачі ми будемо використовувати програмовані логічні контролери (ПЛК) VIPA з серії System 200V [10]. Модулі System 200V можна використовувати для розширення систем автоматизації, що базуються на контролерах Siemens та індустріальній шині PROFIBUS, використовуючи при цьому єдиний інструмент розробки. Серія System 200V побудована за модульним принципом

Програмне забезпечення. Для реалізації даної задачі ми використовуватимемо програмне забезпечення WINPLC7 для конфігурування, програмування, налагодження програм та діагностики контролерів VIPA усіх серій. WINPLC7 містить всі необхідні інструменти для створення проекту, такі як конфігуратор апаратних засобів, символний редактор, конфігуратор мережі PROFIBUS, редактор програм та емулятор контролера.

Це програмне забезпечення можна використовувати для вирішення різноманітних задач автоматизації [11]. Пакет містить вбудований додаток Hardware configuration, який забезпечує зв'язок між мікроконтролером та комп'ютером.

Для написання програми ми використаємо програмний пакет WINPLC7 та мову програмування Statement List (STL). Алгоритм програми складається з наступних кроків: спочатку з датчика, який контролює концентрацію двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, отримується змінний електричний сигнал. Цей сигнал потім поступає до функціонального блоку FC105 (Scaling analog value), де перетворюється на змінну типу "real" (MDx). Значення MDx відповідає значенню електричного сигналу, що лежить в межах від 0 до 5 В.

Комплекс програмного забезпечення для контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, що був розроблений [12], зображений на рисунку 3.1.

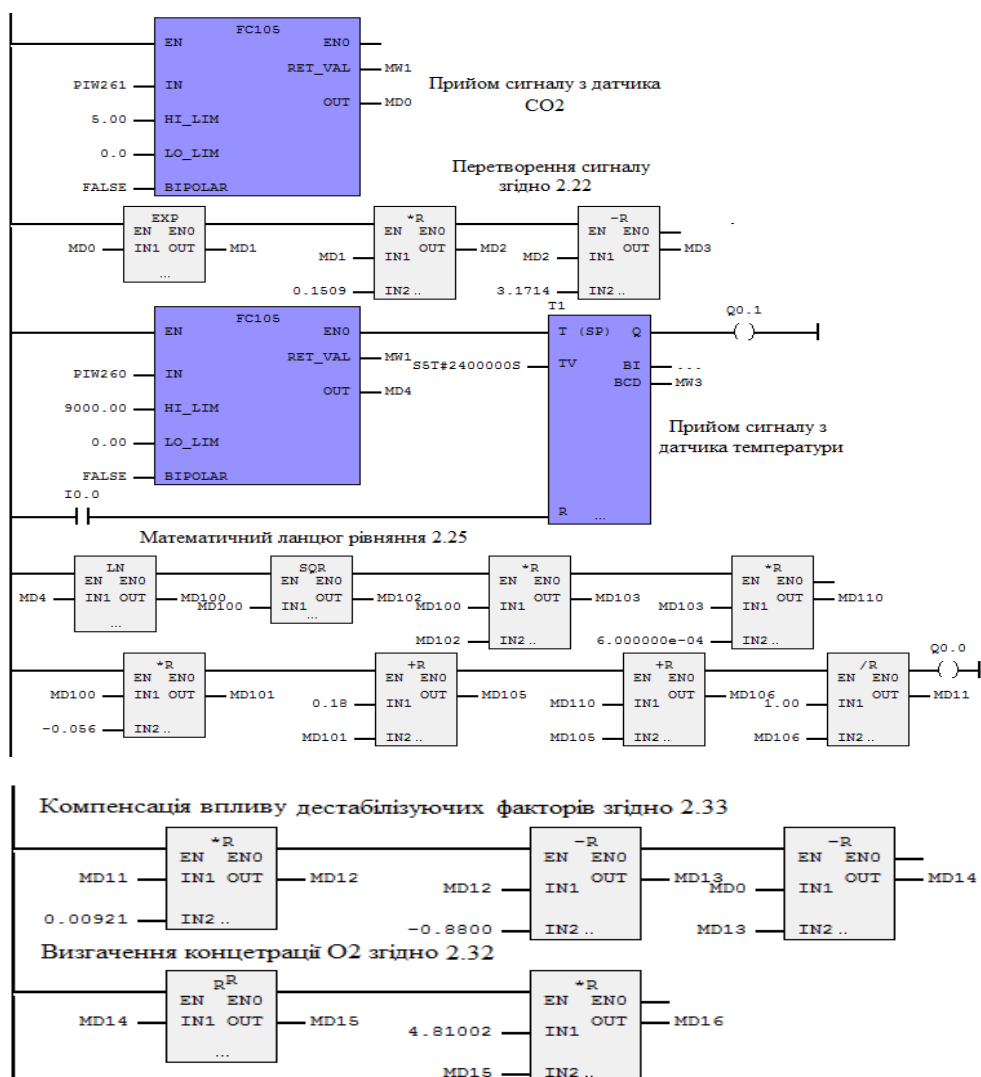


Рис. 3.1. Програмний комплекс

Джерело:[12]

На рисунку 3.2 представлений приклад функціонування програми на першому каналі при подачі нульового електричного сигналу на ПЛК. Це зроблено з метою перевірки правильності роботи алгоритму та програми.

Введення додаткового каналу вимірювання густини димового газу дозволило удосконалити метод аварійного контролю згасання пальників котла. Цей метод відрізняється від існуючих методів тим, що аналізує не лише концентрацію метану, а також густину димового газу. Це дозволило підвищити достовірність встановлення правильної діагностики та зменшити кількість помилкових спрацювань при аварійному контролі.

Ця програма демонструє роботу каналу вимірювання температури на прикладі вимірювального каналу, який реалізований у програмному пакеті WINPLC7 за допомогою мови програмування Ladder Diagram (LAD) [13]. Функціональний блок FC 105 (Scaling analog value) отримує значення з датчика температури у заданому діапазоні (0-9000 Ом) та відображає його як дійсне значення (змінна MD 4). При початку надходження сигналу з датчика запускається

програмований таймер (T1). Змінна MD 4 передається у математичний ланцюг, що описує функціональну залежність (2.24) та на виході ланцюга (змінна MD1)

відображає значення температури газової суміші у градусах Цельсія. У робочому режимі сигналізатори Q0.0 та Q0.1 знаходяться у стані логічної одиниці. На рисунку 4.4 показаний приклад роботи програми при значенні опору 1621.92 Ом, отриманого з датчика та відповідної температури 116.82 градусів Цельсія на секунду після початку вимірювання [14].

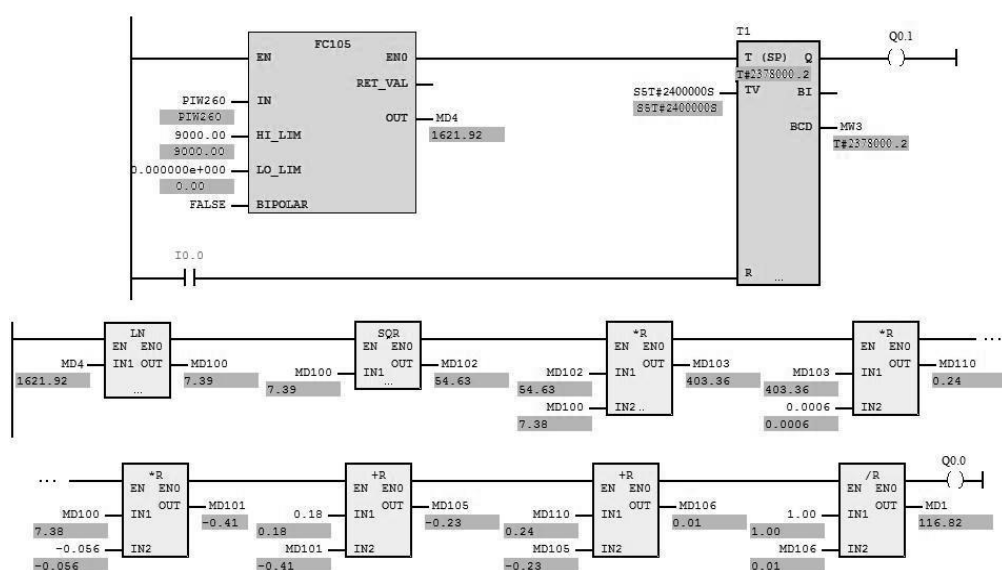


Рис. 3.4. Програмна реалізація вимірювального каналу температури

Джерело:[12]

3.2 Визначення вірогідності контролю та достовірності результатів експериментальних досліджень

Схема для проведення лабораторного дослідження ЗВК представлена на рис. 3.5.

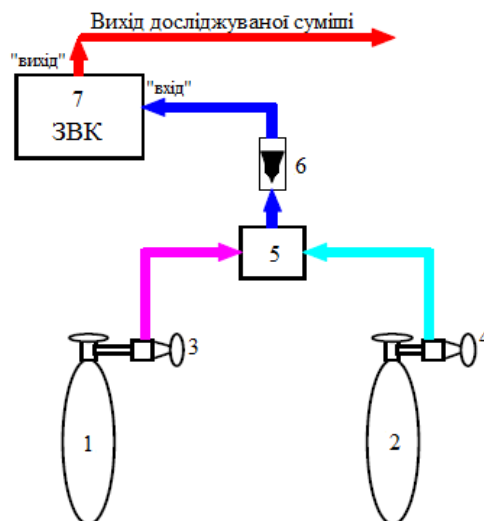


Рис. 3.5. Схема проведення лабораторного дослідження ЗВК:

1, 2 – балони з перевірювальною газовою сумішшю, 3,4 – крани, 5 – змішувач, 6 – ротометр, 7 – ЗВК

Джерело: схема запропонована автором для експериментальних досліджень

Математична модель, розроблена у розділі 2, була перевірена шляхом проведення експериментальних досліджень для визначення концентрації діоксиду вуглецю у димових газах при відомому вмісті CO₂ на довжині хвилі 4,267 мкм на макетній установці. В якості джерела випромінювання було використано лазерний діод на основі InAsSbP потужністю 1,5 мВт, а в якості приймача випромінювання - тонкоплівковий термоелектричний приймач. Експериментальні вимірювання були поділені на 10 циклів, а характеристики зовнішнього мікроклімату під час дослідження адекватності представлені в таблиці .3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри мікроклімату при проведенні експерименту

Параметр \ № циклу вим.	Температура, °C	Вологість, %	Тиск мм. рт. ст..	Опади (дощ, сніг)
1	15.7	75	741	-
2	14.1	76	744	-
3	20.0	55	748	-
4	22.2	39	736	-
5	21.8	57	738	-
6	23.2	40	743	-
7	18.2	97	732	+
8	17.1	98	735	+
9	20.9	44	741	-
10	20.7	57	742	-

Джерело: таблиця результатом експериментальних досліджень

Математична модель, розроблена в розділі 4 і враховуюча вплив впливових факторів, дозволяє обчислити концентрацію CO₂. За результатами експериментів було отримано послідовність значень концентрації двоокису вуглецю (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Концентрація CO₂ згідно з математичною моделлю

№ циклу вимір.\ дійсне значення	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.004	0.001	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
10	10.035	10.035	10.044	10.092	10.092	10.092	10.092	10.092	10.035	10.035
12	12.017	12.018	12.007	12.034	12.055	12.043	12.023	12.011	12.015	12.017
14	14.029	14.027	14.021	14.022	14.029	14.021	14.023	14.028	14.021	14.022
16	16.017	16.019	16.007	16.009	16.003	16.011	16.015	16.016	16.017	16.015

Джерело: таблиця створена в результаті чисельного експерименту на базі математичної моделі

Структуру моделі для оцінення похибок засобу контролю представлено на рис. 3.6.

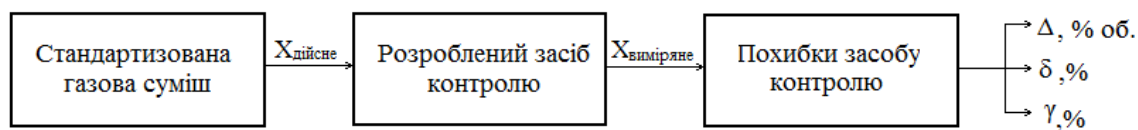


Рис. 3.6. Похибки засобу контролю

Джерело:[9]

Максимальна абсолютна похибка визначення концентрації вуглекислого газу за допомогою засобів контролю складає 10.092%. Також можна обчислити максимальну відносну похибку, яка дорівнює цьому значенню, та зведену похибку, яка залежить від способу обчислення та є значенням, яке розраховується для оцінки точності вимірювань.

$$\Delta = X_B - X_D = 0.092\% \text{ об.} \quad (3.1)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{X_D} = \frac{10.092 - 10.000}{10.000} \cdot 100\% = 0.92\%. \quad (3.2)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \frac{0.092}{20} \cdot 100\% = 0.46\%. \quad (3.3)$$

Тоді граничне значення зведеної похибки

$$-\gamma_{ep} < \gamma < +\gamma_{ep} \Rightarrow -0.1\% < \gamma < 0.1\% \quad (3.4)$$

Звідси можна визначити допустимі границі абсолютної та відносної похибок

$$\Delta_{ep} = \pm \frac{\gamma_{ep}}{100\%} \cdot X_N = \pm 0.1\% \text{ об.} \quad (3.5)$$

$$\delta_{ep} = \pm \gamma_{ep} \cdot \frac{X_N}{X_B} = \pm 0.99\% \quad (3.6)$$

Другими словами, при зменшенні вимірюваної величини точність засобу контролю буде зменшуватись, оскільки граничне значення абсолютної похибки є сталим, а відносна похибка збільшується. Це означає, що якщо покази приладу будуть значно меншими за межу вимірювання, то точність засобу контролю буде

недостатньою. Провівши вимірювання за показом приладу X_{II} , отримуємо оцінку вимірюваної величини, істинне значення якої X лежить в межах

$$X_{II} - \Delta_{ep} < X < X_{II} + \Delta_{ep} \Rightarrow -9.9\% об. < X < 10.1\% об. \quad (3.7)$$

Для оцінення невизначеності вимірювань можна використовувати алгоритм, який описаний в джерелі [15]. В цьому дослідженні було проведено серію вимірювань інтенсивності випромінювання, яке проходило через досліджуваний газ, а також були враховані впливні величини - температура і тиск.

Хімічна формула

Концентрація

ppm (млн⁻¹)

мг/м³

Температура, °C

Результат розрахунку 10000 ppm (млн⁻¹) CO2 = 14447.9071 мг/м³

Рис. 3.7. Вікно програми переведу ppm у мг/м³

Джерело: рисунок створений в результаті застосування алгоритмів оцінювання невизначеності вимірювання

Вірогідність контролю відображає ступінь об'єктивності отриманих результатів порівняно з нормованим значенням вимірюваної величини. Вона складається з інструментальної та методичної складових.

Розглянемо спочатку інструментальну вірогідність контролю. Вона визначається таким чином

$$D_i = 1 - \alpha - \beta, \quad (3.8)$$

де α – помилка першого роду (ризик виробника); β – помилка другого роду (ризик замовника).

У даній роботі контрольованим параметром є концентрація газу C (4), яку визначають із певною похибкою Δ . Відповідно, помилки 1-го та 2-го роду описуються рівняннями [15]:

$$f(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \cdot e^{-\frac{(C-\bar{C})^2}{2\delta^2}}; \quad (3.9)$$

$$\varphi(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \cdot e^{-\frac{(\Delta-\bar{\Delta})^2}{2\delta^2}}, \quad (3.10)$$

Графічне представлення функцій $f(C)$ і $\varphi(\Delta)$ зображене на рис. 3.8–3.9.

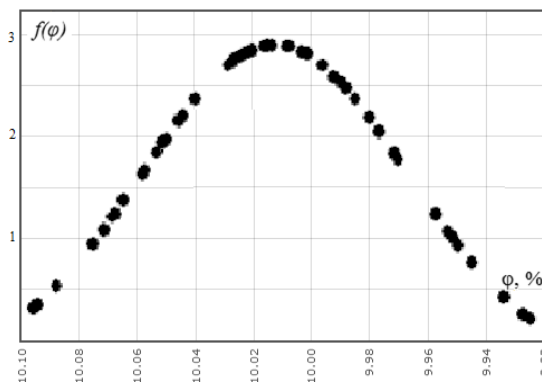


Рис. 3.8. Функція щільності розподілу ймовірностей концентрації газу

Джерело: рисунок отриманий автором при визначенні помилки першого роду

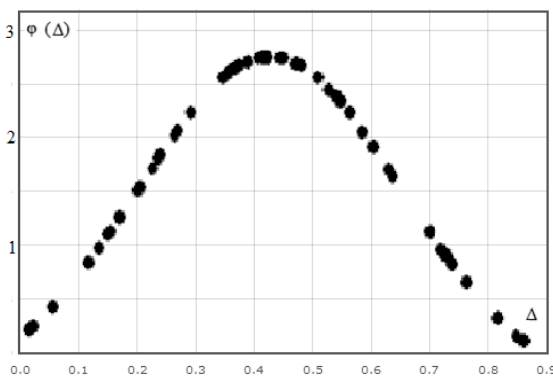


Рис. 3.9. Функція щільності розподілу ймовірностей похибки вимірювання концентрації газу

Джерело: рисунок отриманий автором при визначенні помилки другого роду

Підставивши в формули (3.8) задані значення та експериментальні результати, ми отримали значення коефіцієнтів $\alpha = 0,0312$ та $\beta = 0,0010$.

Точність вимірювання може бути виражена як обернена величина до відносної похибки, вираженої у відносних одиницях. Враховуючи, що за результатами експериментальних досліджень для зразкової концентрації CO_2 14448 мг/м³ (10% об. у відносному відношенні) отримане значення сумарної стандартної невизначеності 121 мг/м³, то відносна похибка вимірювань складає 0,92%. Таким чином, отримуємо точність $T = 108$.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень у цій роботі було отримано нові, науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які мають велике значення для поліпшення точності при контролі концентрації, особливо в умовах, коли процес повинен відбуватися дуже швидко.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. На основі аналізу існуючих систем та методів контролю оксиду вуглецю був проведений аналіз відомих методів та засобів контролю. В результаті аналізу були встановлені основні недоліки відомих методів та вибраний напрямок подальших досліджень..

2. Була створена математична модель приладу для вимірювання оксиду вуглецю на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.

3. В роботі обґрунтовано технічне втілення структури сенсора для вимірювання оксиду вуглецю. Розроблено статичні та динамічні характеристики сенсора..

4. Було розроблено програмний засіб для автоматичного контролю оксиду карбону. Для забезпечення високої продуктивності та швидкості було вибрано потужне програмоване логічне керування (ПЛК) VIPA 200V, а також програмне забезпечення для його реалізації. Програма для контролю оксиду карбону була реалізована в програмному пакеті WinPLC 7 на мові STL.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Й. Опейда, О. Швайка. Глосарій термінів з хімії: *Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії* ім. Л. М. Литвиненка / НАН України. Донецьк : «Вебер», 2008. 758 с.
2. Чепіль С.Ю. Система контролю температури природного газу. *Збірник студентських наукових праць. Сільськогосподарські науки. № 4(4).* 2021. С. 120-124.
3. Інфрачервоне проміння : термінологічний словник-довідник / Шмиг Р. А. , Боярчук В. М. , Добрянський І. М. , Барабаш В. М. ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. 105 с.
4. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / В. М. Ванько, Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець та ін. ; за ред. Є. С. Поліщука ; Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. 584 с.
5. Сушко О.А. Рожицький М.М. Оптичний сенсор на основі напівпровідникових квантово-розмірних структур для визначення конденсованої ароматики у водних об'єктах довкілля. *Системи обробки інформації.* – 2013. С. 259-264.
6. Kochanov R. V. HITRAN Application Programming Interface (HAPI). USA, 2015. 52 p.
7. Larkin P. J. Infrared and raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. Elsevier, 2011. 230 p.
8. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. Посіб. / Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Вінниця : ВДТУ, 2001. 257 с.
9. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. посіб. / Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 220 с.
10. Офіційний сайт корпорації SE. URL: <https://www.vipa.com/de/home/>
(дата звернення 05.03.2023)

11. Інструкції до програмного забезпечення SE. URL: <https://www.winplc7.com/> (дата звернення 06.03.2023)
12. Kucheruk V.Yu., Energi saving gas analysis systems with the use of software CFG. *International salon of inventions and new technologies*. Sevastopol, 2013. p. 222.
13. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О., Кулаков П.І. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC: навч. посіб. Вінниця : ВДТУ, 2002. 132 с.
14. Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А. Система вимірювання температури димових газів котельних установок: монографія. Черкаси: Вісник ЧДТУ, 2011. 128 с.
15. Василевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2006. С. 147-151.