

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Дудатьєв Ігор Андрійович

УДК 543.42:622.412:669.18

**ЗАСІБ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ
ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА
ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кучерук Володимир Юрійович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри метрології та промислової автоматики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Теплюх Зеновій Миколайович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
професор кафедри автоматизації теплових і хімічних процесів

доктор технічних наук, професор
Стенцель Йосип Іванович,
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), завідувач кафедри комп’ютерно-інтегрованих систем управління

Захист відбудеться “20” травня 2016 р. о 12⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГУК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “19” квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

К. В. Огородник

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальність роботи обумовлена проблемою раціонального використання енергоресурсів в Україні. Ефективність роботи котельних установок прямо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Невисока точність контрольно-вимірювальної апаратури, такої як засіб контролю концентрації компонентів димових газів, може спричинити неефективну роботу установки, зокрема неякісне згорання палива.

На сьогоднішній день існує багато вітчизняних та закордонних засобів контролю концентрації компонентів димових газів, що базуються на різноманітних методах вимірювань (оптичних, механічних, фізичних, хімічних). Але, в багатьох випадках, ці засоби занадто дорогі і, відповідно, термін окупності таких засобів досить великий, що робить їх впровадження на теплопостачальні підприємства не вигідним. З іншого боку, доступніші засоби не можуть забезпечити необхідну точність та достовірність контролю за рахунок конструктивних недосконалостей або низьких показників метрологічних характеристик, а це є необхідною умовою для ефективної роботи котельної установки.

Крім того, існуючі засоби контролю концентрації двоокису вуглецю не відповідають сучасним вимогам адаптивності. Вони враховують зовнішні збурення, але для повного вирішення задач адаптації необхідно ще враховувати особливості котла, а саме: його оптимальний коефіцієнт надлишку повітря у димових газах котельних установок, що є одним з основних факторів ефективності роботи котельної установки в цілому.

Також потребує вирішення науково-технічне завдання удосконалення методу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок, який би міг забезпечити високу точність при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок за рахунок вдосконалення існуючих математичних моделей визначення концентрації компонентів газів та інженерно-технічних рішень.

Тому питання розробки засобу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок, що забезпечує високу енергоефективність роботи цих установок, є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в Україні (згідно до Закону України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки” № 5460-17 від 16.10.2012 р.), відповідно до статті 3 цього закону “Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року” та пункту даної статті “Енергетика та енергоефективність”. Окремі наукові результати пов'язані з науково-дослідною роботою: “Розробка теоретичних засад побудови інформаційно-вимірювальних систем з часовим представленням вимірювальної інформації”. Автор виступав у НДР (№ держреєстрації 0109U006093, 2009 р.) виконавцем відповідних розділів, пов'язаних з програмною та апаратною реалізацією інформаційно-вимірювальної системи.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення достовірності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок за рахунок оцінювання та компенсації впливу впливних факторів на основі оптико-абсорбційного методу.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **завдання:**

- аналіз існуючих засобів та методів контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок;
- технічне обґрунтування реалізації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;
- розробити математичну модель засобу для контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу;
- розробити структурну схему засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;
- розробити методики компенсації впливу впливних факторів на результат вимірювання концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;
- розробити алгоритмічну організацію адаптації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок до реальних умов експлуатації.
- розробити програмне забезпечення засобу для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;
- провести експериментальні дослідження та підтвердження адекватності розробленого методу та засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є процес вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

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

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в дисертаційній роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів, які були використані для обробки експериментальних результатів, теорії планування наукового експерименту в ході експериментальних досліджень, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю, методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Одержав розвиток метод вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок в основній інфрачервоній області з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами, особливістю яких є різні робочі довжини хвиль фотоприймачів. Значення концентрації двоокису вуглецю отримують на основі співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків, які пройшли через відкриті вимірювальний та компенсаційний канали. При цьому співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків враховує як адитивні, так і мультиплікативні коефіцієнти поправок, що дозволило зменшити похибку вимірювання до значення менше 1% у діапазоні вимірювання та зменшити кількість контрольованих параметрів (вологість, запиленість).

2. Вдосконалена математична модель ослаблення випромінювання в середовищі димового газу котельних установок, яка, на відміну від існуючих, враховує параметри об'єкта контролю, а саме, значення тиску в загальному випадку представляється як атмосферний тиск та розрідження, причому у атмосферному тиску враховується ви-

сота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю до рівня 0,968.

3. Вдосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, яка враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача та пов'язує вихідну величину – значення вихідної напруги фотоприймача та вхідну – значення інтенсивності світового потоку, і, як наслідок, концентрацію двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, що дозволило підвищити точність вимірювання у 1,1-1,2 рази.

Практичне значення одержаних результатів. У роботі отримані такі практичні результати:

1. Розроблено структурно-алгоритмічну організацію засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу, яка враховує вплив впливних факторів та адаптаційні алгоритми функціонування його в реальних умовах.

2. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено:

- зв'язок суми розподілу Лоренца спектральних коефіцієнтів поглинання газу з різними інтенсивностями від швидкодії її обчислення, причому було встановлено, що оптимальним значенням інтенсивності лінії, які слід враховувати, є $S \geq 0,15$ ($\text{cm}^{-1}/\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2}$) в спектральній смузі $2300-2400 \text{ cm}^{-1}$ з кроком $0,01 \text{ cm}^{-1}$, що дозволило провести більш точний аналіз димової суміші при заданій швидкодії вимірювального контролю;

- зв'язок ширини спектра світлодіода з чутливістю оптичного каналу газового сенсора. Встановлено, що використання оптичного фільтра збільшує чутливість приблизно вдвічі, до того ж залежність інформаційного параметра оптичного газового сенсора має практично лінійний характер.

3. Розроблено програмний засіб CFG (Controlling flue gas) для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Програму контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок написано у програмному пакеті WinPLC7 на мові програмування STL.

4. Розроблено та досліджено експериментальний зразок засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, який має швидкість на рівні 0,6 с при максимальній відносній похибці 0,92%.

Впровадження результатів роботи

Результати дисертаційної роботи впроваджені та використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради (акт від 23 червня 2014 р.). Науково-технічний ефект впровадження дозволив, в залежності від продуктивності котельної установки, зменшити використання природного газу до 3 %, за рахунок оптимального процесу горіння у топці котла.

До основних результатів, що використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради, варто віднести такі:

1. Впроваджено методику контролю складу димових газів котельних установок.
2. Впроваджено програмний комплекс "CFG" (Controlling flue gas) контролю складу димових газів котельних установок.

3. Впроваджено структурно-алгоритмічну схему керування котельною установкою з контролем складу димових газів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету (акт від 25 вересня 2014 р.) при виконанні лабораторних та практичних робіт з

дисципліни "Мікропроцесорні засоби вимірювань і контролю" у вигляді лабораторного стенду та лабораторного практикуму, в якому використано оптико-абсорбційний інфрачервоний аналізатор концентрації газів, додаткові вимірювальні канали температури, тиску, вологості. Стенд реалізовано на базі ПЛК VІРА, програмне забезпечення написано на мові Ladder Diagram та Instruction List.

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

У співавторських роботах здобувачеві належать: [4] – запропонована модель управління котельною установкою (КУ) з зворотнім зв'язком; [16] – розроблена структура газоаналітичної системи; [11] – розроблена функціональна схема системи контролю складу димових газів котельних установок; [13], [4] – розроблено алгоритм роботи КУ з контролем складу димових газів; [17] – розроблена структурно-алгоритмічна організація інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) контролю складу димових газів котельних установок; [1] – обґрунтовано підхід застосування синергетичних методів керування КУ; [3] – розроблено програмне забезпечення та математичну модель вимірювання температури газової суміші; [15] – розроблена структура вимірювального каналу для контролю компонентів газової суміші; [16], [18] – обґрунтовано та розраховано оптимальний коефіцієнт надлишку повітря (КНП) для заданого тепlopостачального об'єкту; [3] – розроблено метод компенсацій температурної похибки оптичних перетворювачів; [4], [5], [22], [1], [7] – розроблено комплексну математичну модель визначення складу димових газів котельних установок з компенсацією дестабілізуючих факторів; [20], [21], [23] – теоретично обґрунтовано та практично реалізовано експериментальний зразок системи контролю складу димових газів котельних установок; [6] – зроблено огляд та систематизацію сучасних методів контролю газових сумішей; [25] – обґрунтовано вибір довжин хвиль для приймачів інфрачервоного випромінювання враховуючи особливості об'єкту; [26] – розроблено програмний комплекс контролю складу димових газів котельних установок, що сумісний з ПЛК Vіра та Siemens всіх серій.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (2008 – 2013), II-му та III-му Всеукраїнських з'їздах екологів з міжнародною участю (м. Вінниця 2009, 2011), I та II Міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія" (м. Вінниця, 2010, 2012), на X та XI міжнародній науково-практичній конференції "Контроль і управління в складних системах" (м. Вінниця, 2010, 2012), V and VI International conference on optoelectronic information technologies "Photonics-ODS 2010, 2012" (м. Вінниця 2010, 2012), на третій Міжнародній науково-практичній конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації" (м. Вінниця, 2011), V-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування" (м. Вінниця, 2011), I-й та II-й Міжнародній конференції студентів і молодих науковців "Сучасні інформаційні технології 2011, 2012" (м. Одеса, 2011, 2012), I-й та II-й Міжнародній науковій конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка "Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011, 2013)" (м. Вінниця, 2011, 2013), Міжнародній науково-технічній конференції "ТЕХНОЛОГІЯ-2013" (м. Северодонецьк 2012), VIII and IX international salon of inventions and new technologies «NEW TIME» (м. Севастополь, 2012).

Результати роботи було представлено на Міжнародних виставках та салонах винаходів. Результати роботи удостоєні 3 золотих медалей (VIII and IX International salon of inventions and new technologies «NEW TIME» (м. Севастополь, 2012, 2013), International Warsaw Invention Show (Warsaw, 2012).

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 38 наукових працях, в тому числі: 13 статей, 11 з яких у наукових фахових виданнях (з яких 1-е видання входить до наукометричної бази РІНЦ та 1-е видання до бази Index Copernicus), 23 матеріалів і тез доповідей на науково-технічних конференціях, 2 патенти України на корисну модель.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (202 бібліографічних посилання, 15 сторінок) та додатків (14 сторінок). Загальний обсяг роботи, в якому викладено основний зміст, складає 160 сторінок і містить 50 рисунків, 9 таблиць. Повний обсяг дисертації – 188 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, її зв'язок із науковими темами досліджень та показано необхідність розроблення засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газів котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу. Сформульовано мету та задачі дослідження. Визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, конкретну участь автора, апробацію результатів та структуру дисертації.

У **першому розділі** зроблено аналіз методів та засобів визначення концентрації компонентів димових газів котельних установок, зокрема двоокису вуглецю. Здійснено огляд найбільш поширених методів газового аналізу, розглянуто їх переваги і недоліки, можливості застосування для розв'язання поставлених задач. Розповсюдженим недоліком більшості існуючих методів, за винятком оптичних, є їх невисока селективність, тобто часто визначенню концентрації газу заважає присутність інших компонентів. Здійснений огляд показав, що найдоцільнішим є використання оптичних методів, серед яких для розв'язання поставлених задач найоптимальнішим є оптико-абсорбційний інфрачервоний метод. Тому метою подальшої роботи є розробка засобу контролю концентрації двоокису вуглецю на основі оптико-абсорбційного методу та його уніфікація орієнтовно особливостей об'єкта контролю.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі вимірювача концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Проведено аналіз спектрів поглинання сенсорів засобу контролю та обрані інфрачервоні випромінювачі і приймачі. Графічне моделювання фрагменту бази даних HITRAN представлено на рис. 1.

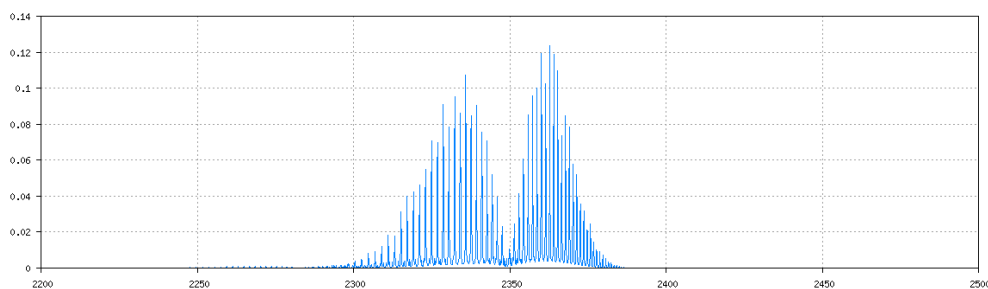


Рисунок 1 – Фрагменту бази даних HITRAN

Як видно з рис. 1, спектр поглинання двоокису вуглецю в заданому діапазоні має складну структуру за рахунок накладання спектрів газів які входять до його складу, тому коефіцієнт поглинання $k(\lambda)$ смуги виразимо сумою коефіцієнтів поглинання окремих ліній

$$k(\lambda) = \sum_i \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)^2}, \quad (1)$$

де S – інтенсивність смуги поглинання; λ_i та λ_0 – довжина та центр смуги поглинання; σ – ширина смуги поглинання.

Для розрахунку величини поглинання в інтервалі 4,1 – 4,3 мкм (2300-2400 см^{-1}) використовувалась аналітична модель спектрального розподілу коефіцієнтів поглинання газу, розрахована на основі таблиць інтенсивності ліній $S(\lambda_0)$ випромінювання газів в зазначеному спектральному діапазоні, що відповідає наступним наближенням:

1. Спектр коефіцієнта поглинання газу описується сумою розподілів Лоренца з різними λ_0 і $S(\lambda_0)$, але однаковими значеннями σ_L .

2. Спектри коефіцієнтів поглинання всіх газів задаються в спектральній смузі 2300-2400 см^{-1} (довжини хвиль випромінювання 4,1 – 4,3 мкм) з кроком 0,01 см^{-1} . Виконання цієї умови необхідно для зручності аналізу сумішей газів і врахування впливу впливних газів.

3. У моделі враховуються тільки лінії, що мають інтенсивність $S \geq 0,1$ [$\text{см} \cdot \text{атм}$] при нормальних умовах вимірювання.

Модель ослаблення випромінювання в середовищі димових газів котельних установок представлена на рис. 2.

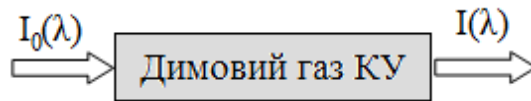


Рисунок 2 – Модель ослаблення випромінювання в середовищі димових газів

На основі закону Бугера-Ламберта-Бера отримано математичну модель, яка описує процес ослаблення випромінювання в оптичному вимірювальному перетворювачі та враховує основні фактори, які пов'язані з особливостями об'єкту контролю, що впливають на її коректність

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\int_0^l k_s(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} \cdot P_0 \cdot e^{-\frac{M_m \cdot g \cdot h}{R \cdot T}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l, \quad (2)$$

де I_l – інтенсивність випромінювання, яке пройшло через досліджуваний газ; I_0 – початкова інтенсивність випромінювання; M_m – молярна маса сухого повітря (0,029 $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$); g – прискорення вільного падіння; h – висота, яка є сумою висоти димової труби та поверхні її основи над рівнем моря; C – концентрація газу ($\text{мг}/\text{м}^3$); l – довжина шляху поглинання; σ – ширина смуги поглинання; M – молярна маса досліджуваного газу; T – температура димового газу; R – універсальна газова стала; P_0 – тиск на рівні моря; $P_{\text{роз}}$ – тиск розрідження.

Результати моделювання рівняння (2) представлені на рис. 3.

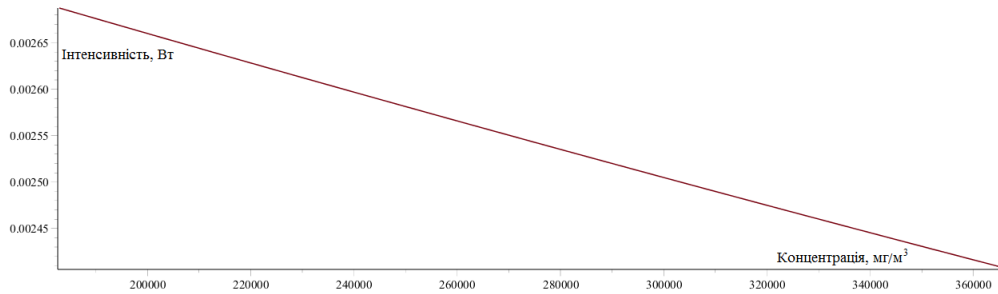


Рисунок 3 – Моделювання залежності концентрації димового газу від інтенсивності (в робочому діапазоні)

Також розроблено математичну модель вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю в димових газах котельних установок

$$U_F = I_0 \cdot e^{\frac{\int_0^{\infty} k_i(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i})^2} \cdot P_0 \cdot e^{-\frac{-0,0083 \cdot T}{R \cdot T}} \cdot \frac{C}{M} \cdot I} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R_{ZZ}, \quad (3)$$

де S – площа фоточутливого шару фотоприймача, що освітлюється; S_{I0} – інтегральна струмова чутливість фотодіоду при немодульованому опроміненні; R_{ZZ} – опір в колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача; U_F – вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач.

Моделювання проводилось при вхідній інтенсивності 3 мВт, опорі зворотнього зв'язку 9.88 МОм, інтегральній струмовій чутливості фотодіоду $5.06 \frac{A}{M^2}$, площею фоточутливого шару фотоприймача 26 мм^2 . Моделювання залежності концентрації CO_2 від напруги у робочому та повному діапазоні представлено на рис. 4.

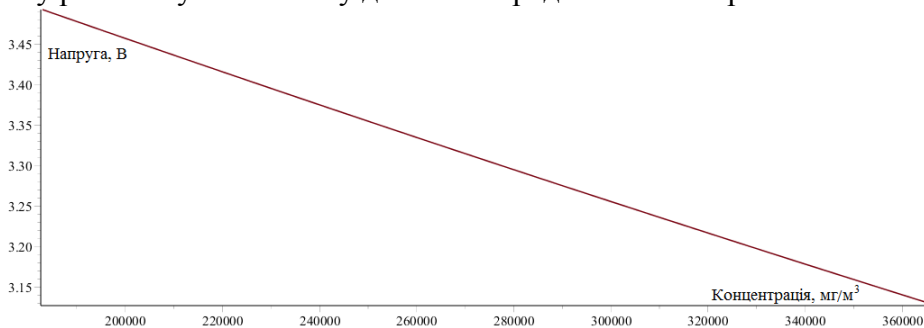


Рисунок 4 – Моделювання залежності концентрації CO_2 від напруги

У розділі представлено рівняння перетворення додаткових вимірювальних каналів, які необхідні для забезпечення роботи моделей (2) та (3).

Досліджено вплив ширини спектру приймача інфрачервоного (ІЧ) випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора. Визначено, що використання оптичного фільтру збільшує чутливість оптичного газового сенсору приблизно на 10% та зменшує відносну похибку вимірювання до 0.05%.

Проведено дослідження опорної та робочої довжини хвилі для оптичного газового сенсора та розробка методу адитивно-мультиплікативної компенсації впливних факторів. Визначено, що поглинання двоокису вуглецю в діапазоні 1900 см^{-1} майже дорівнює нулю. Тому в якості джерела (ІЧ) випромінювання для опорного оптичного каналу використано лазер з робочою довжиною $\lambda = 1900 \text{ см}^{-1}$. Слід зазначити, що в цьо-

му діапазоні поглинання CO , NO_2 , SO_2 , CH_4 складає від 10^{-21} до 10^{-23} см/моль, що на декілька порядків вище, ніж поглинання CO_2 в цьому діапазоні.

За рахунок цього можна використати розроблені алгоритми адитивної та мультиплікативної компенсації впливних факторів. Адитивна та мультиплікативна компенсація впливних факторів, виражена через напругу, має вигляд

$$Add = U_{вих.о.к} - U_{вих.р.к} = I_{LEDо.к} \cdot e^{k^{роз.}} \cdot e^{k^3} \cdot S_{10о.к} \cdot S_{о.к} \cdot R_{здо.к} - I_{LEDр.к} \cdot e^{k^{роз.}} \cdot e^{k^{роз.CO_2}} \cdot e^{k^3} \cdot S_{10р.к} \cdot S_{р.к} \cdot R_{зр.к} = \Delta U_{CO_2р.к} \quad (4)$$

$$Mul = \frac{U_{вих.р.к}}{U_{вих.о.к}} = \frac{I_{LEDр.к} \cdot e^{k^1} \cdot e^{k^2} \cdot e^{k^3} \cdot S_{10р.к} \cdot S_{р.к} \cdot R_{зр.к}}{I_{LEDо.к} \cdot e^{k^1} \cdot e^{k^3} \cdot S_{10о.к} \cdot S_{о.к} \cdot R_{здо.к}} = e^{k^2} \quad (5)$$

Проаналізувавши рівняння (4) та (5) зроблено висновок, що при концентрації CO_2 до 3%об. оптимальніше використовувати адитивний алгоритм компенсації, а при більше 3%об. – мультиплікативний.

У **третьому розділі** представлено узагальнену структурну (рис.5) та функціональну (рис.6) схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

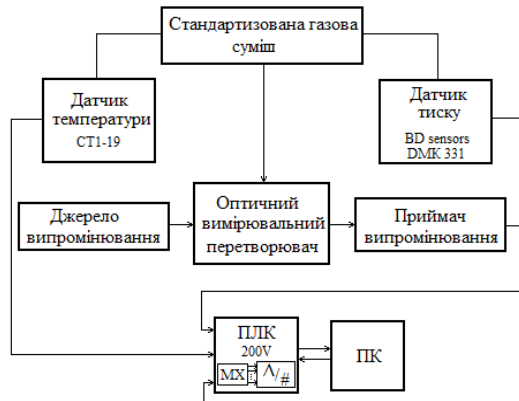


Рисунок 5 – Структурна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок

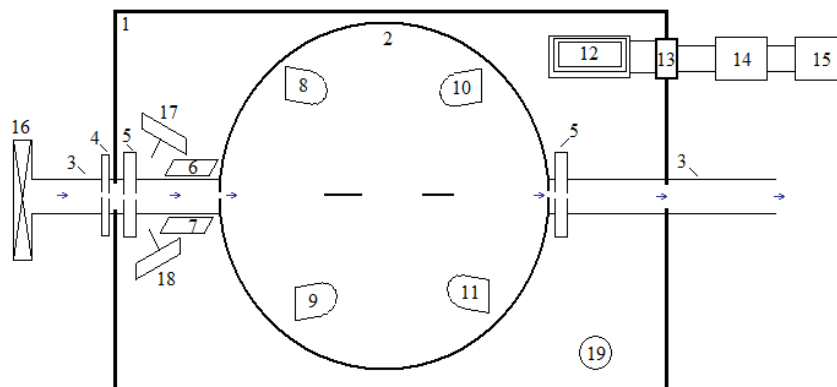


Рисунок 6 – Функціональна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок: 1 – корпус засобу контролю складу концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок; 2 – корпус оптичного сенсору; 3 – газозбірний зонд-шланг для закачування/відкачування проби у/з засобу контролю; 4 – фільтр (від механічних домішок); 5 – вентилятори; 6 – сенсор тиску; 7 – сенсор температури; 8 – СВД робочого каналу; 9 – ФД робочого каналу; 10 – ФД опорного

каналу; 11 – СВД опорного каналу; 12 – плата; 13 – гніздо для роз'ємів; 14 – ПЛК з вбудованим АЦП; 15 – ПК; 16 – перевірювальна газова суміш; 17 – нагрівач; 18 – охолоджувач; 19 – сигналізація

Проведено аналіз шляхів подачі димового газу на засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Визначено, що використання відкритого оптичного каналу зменшує перехідний процес з 7 до 0.6 с. Протікання перехідного процесу у вимірювальному перетворювачі (ВПО після зміни концентрації газової суміші представлено на рис. 7.

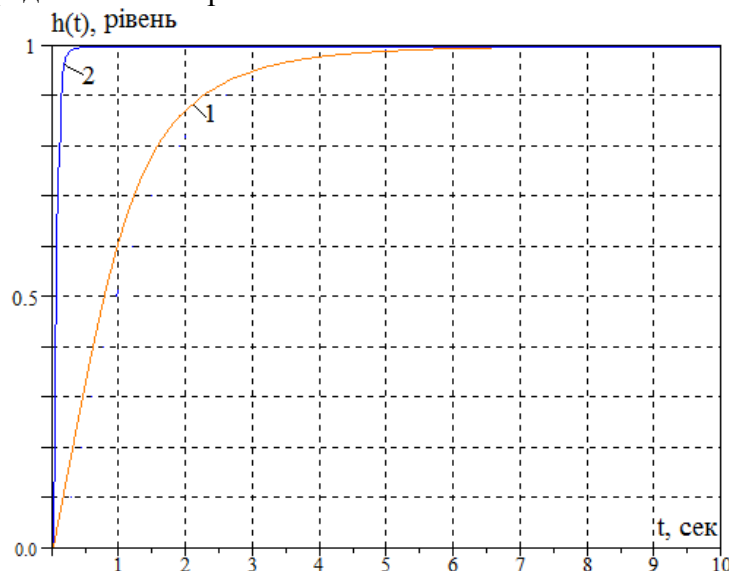


Рисунок 7 – Перехідний процес у ВПО з закритим – 1 (відкритим – 2) оптичним каналом

У розділі проведено оцінювання основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Графічну залежність вихідного коду N_x від концентрації C представлено на рис. 8.

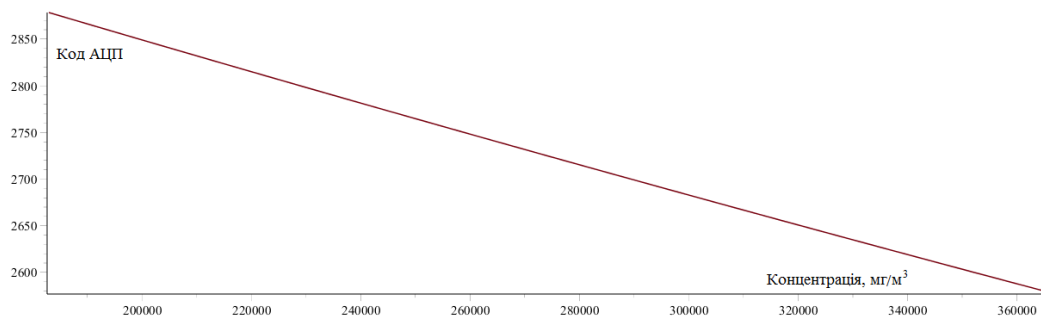


Рисунок 8 – Графічне представлення рівняння вимірювального каналу концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок (в робочому діапазоні)

Моделювання інтенсивності випромінювання від тиску та температури представлено (при сталій концентрації) на рис. 9.

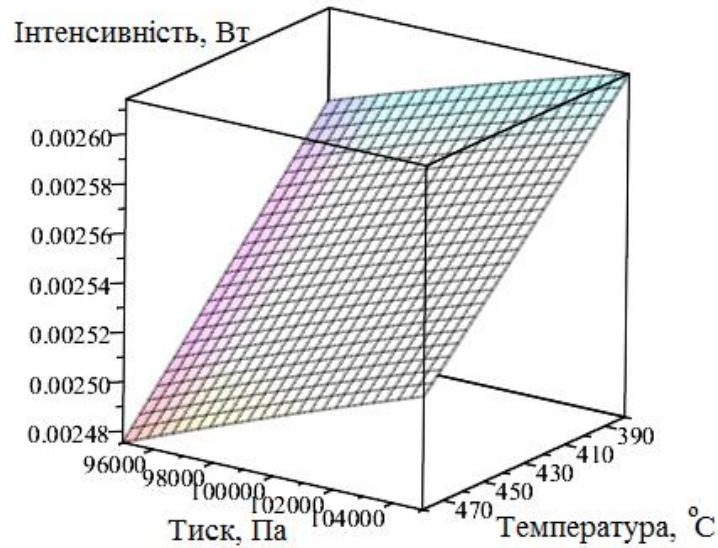


Рисунок 9 – Залежність інтенсивності випромінювання від тиску та температури

Моделювання напруги на виході оптичного сенсора від тиску та температури представлено (при сталій концентрації) на рис. 10.

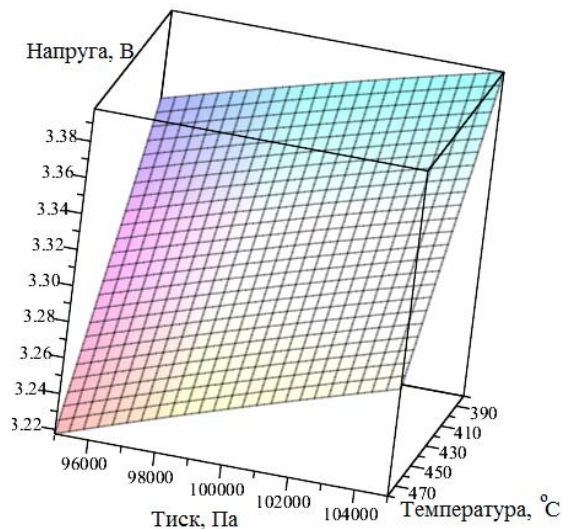


Рисунок 10 – Залежність напруги на виході оптичного сенсора від тиску та температури

Для розробленого засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок враховано інструментальну та методичну складову загальної похибки.

Інструментальна похибка виникає у вимірювальних каналах (оптичному, температури, тиску, вологості). Основними складовими інструментальної похибки в розробленому засобі контролю є: джерело випромінювання (в розробленому засобі лазерний діод) $\Delta_{\text{Джер. випром.}}$, похибка перетворення приймача випромінювання $\Delta_{\text{Прийм. випром.}}$, похибки,

що виникають у оптичному вимірювальному перетворювачі $\Delta_{\text{Мат. опт.тракту}}$, похибки додаткових вимірювальних каналів температури та тиску $\Delta_{\text{Дод. каналів}}$, похибка АЦП $\Delta_{\text{АЦП}}$.

Отже, загальна інструментальна похибка буде мати вигляд:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{\text{джер. випром.}}^2 + \Delta_{\text{Дод. каналів}}^2 + \Delta_{\text{Прійм. випром.}}^2 + \Delta_{\text{АЦП}}^2 + \Delta_{\text{Мат. опт.тракту}}^2} \quad (6)$$

Методичні похибки виникають через недосконалість методу вимірювання (не залежать від якості виготовлення засобу контролю) та наближень, що допускаються при проектуванні засобу контролю. До основних методичних похибок віднесемо: похибка вимірювального перетворення математичної моделі $\Delta_{\text{Фун. перет}}$, похибка адитивнос-

ті $\Delta_{\text{адит.}}$, похибка вимірювального перетворення $\bar{\Delta}_{\text{в.п.}}^2$.

Таким чином, загальна методична похибка:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{\text{Фун. перет}}^2 + \Delta_{\text{адит. ефект}}^2 + \Delta_{\text{Вимір. перетер.}}^2} \quad (7)$$

Показано, що загальна похибка вимірювань дорівнює сумі інструментальної і методичної похибок і складає 1,9 %.

Розроблено алгоритмічну організацію адаптації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок до реальних умов експлуатації, яка враховує не лише зовнішні збудження, а і тип котлоагрегата. Для цього запропоновано підхід при якому факторами "внутрішньої" адаптації є зміна впливних величин (тиск, температура, вологість, запиленість, концентрація CO₂-O₂), а при "зовнішній" – сам об'єкт (тобто тип або модель котла, на якому проводиться робота).

У четвертому розділі запропоновано програмну реалізацію засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

Для реалізації поставленої задачі використано ПЛК VIPA серії System 200V та програмний пакет WINPLC7 для конфігурування, програмування, налагодження програм та діагностики контролерів VIPA всіх серій.

Приклад роботи програми та алгоритм роботи засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок представлено на рис. 11 та рис. 12.

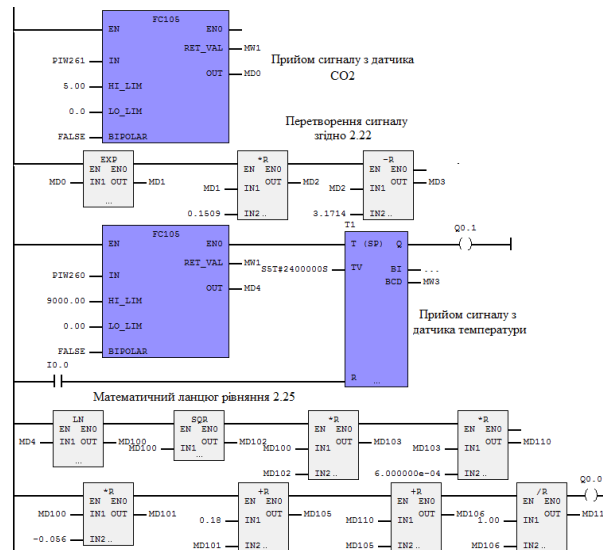


Рисунок 11 – Приклад роботи програми CFG

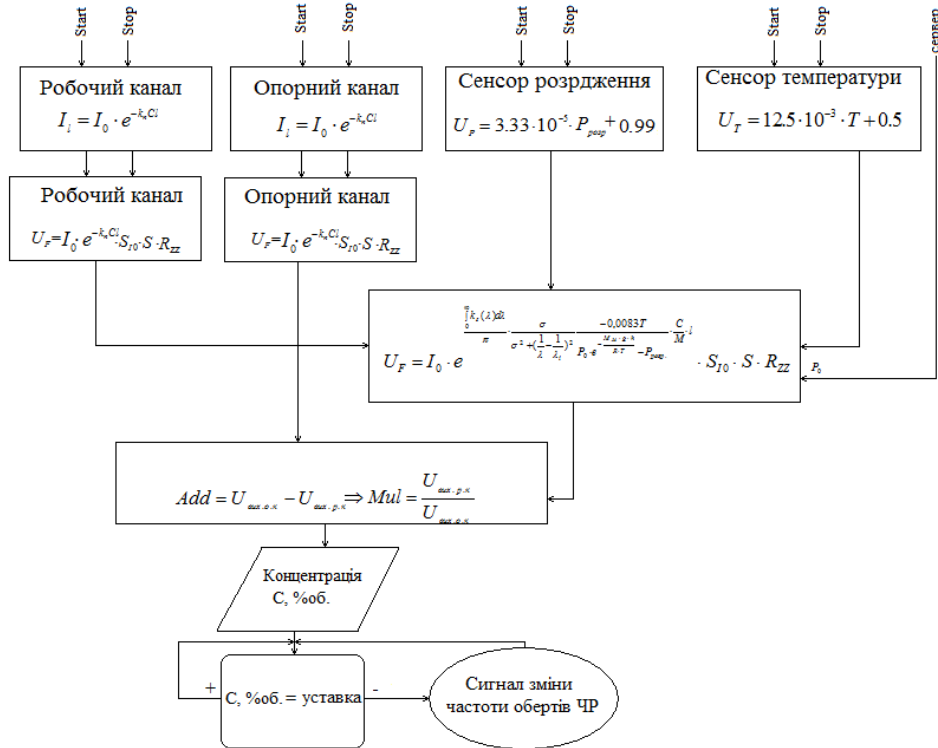


Рисунок 12 – Алгоритм роботи засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок

Для перевірки математичної моделі розробленої у розділі 2, на макетній установці проведено експериментальні дослідження по визначенню концентрації діоксиду вуглецю у димових газах із відомим вмістом CO₂ (10-12-14-16 %об.) на довжині хвилі 4,267 мкм. Як джерело випромінювання застосовувався лазерний діод на основі InAsSbP потужністю 1,5 мВт, як приймач випромінювання – тонкоплівковий термоелектричний приймач (працює без охолодження).

Обчислено концентрацію CO₂ згідно математичної моделі, розробленої у розділі 2, що враховує вплив впливних факторів. В підсумку отримано ряд значень концентрації двоокису вуглецю (таб. 1).

Таблиця 1 – Концентрація CO₂ згідно з математичною моделлю (3)

№ 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

Як свідчать розрахунки, значенням, яке найбільше відрізняється від дійсного, є 10.092%. Отже, максимальна абсолютна, відносна та зведена похибка визначення концентрації за допомогою засобу контролю складають

$$\Delta = X_B - X_D = 0.092\%об.; \tag{8}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{X_D} = \frac{10.092 - 10.000}{10.000} \cdot 100\% = 0.92\%; \quad (9)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \frac{0.092}{100} \cdot 100\% = 0.092\%. \quad (10)$$

Згідно міжнародних рекомендацій оцінено невизначеності вимірювань концентрації газів за допомогою розробленого засобу контролю. Для зразкової концентрації двоокису вуглецю 14448 мг/м^3 значення сумарної стандартної невизначеності складає $121,01 \text{ мг/м}^3$. А розширена невизначеність результату вимірювання при достовірності контролю $0,968$ складає $237,18 \text{ мг/м}^3$.

Також визначено вірогідність контролю та точність вимірювань концентрації двоокису вуглецю. Розглянемо спочатку інструментальну вірогідність контролю. Вона визначається наступним чином

$$D_i = 1 - \alpha - \beta, \quad (11)$$

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

Контрольованим параметром у даній роботі є концентрація газу C . Її визначення проводяться із певною похибкою Δ (рис. 13).

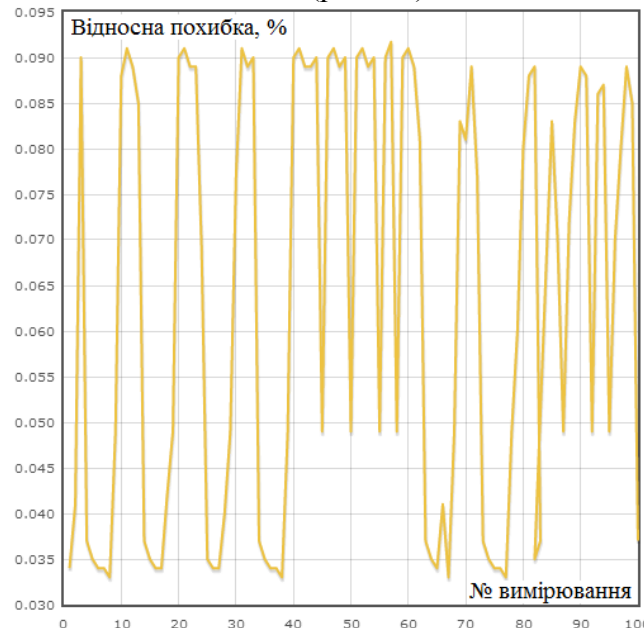


Рисунок 13 – Графічне представлення похибки вимірювань Δ

Значення концентрації газу та значення похибок описуються рівняннями

$$f(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(C-\bar{C})^2}{2\sigma^2}}, \quad (12)$$

$$\varphi(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(\Delta-\bar{\Delta})^2}{2\sigma^2}}, \quad (13)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення.

Графічне представлення функцій $f(C)$ і $\varphi(\Delta)$ наведено на рис. 14-15.

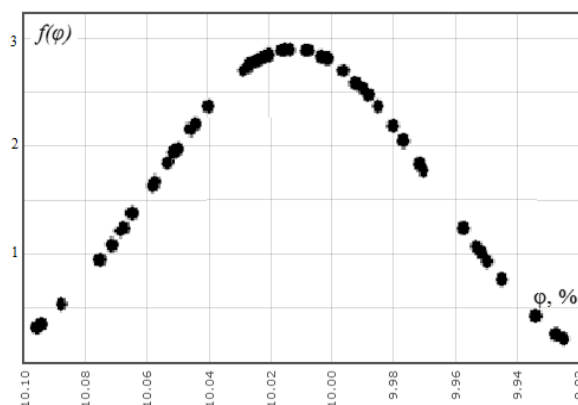


Рисунок 14 – Функція щільності розподілу ймовірностей концентрації газу

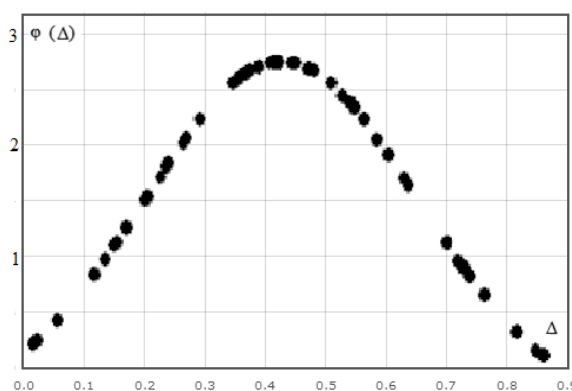


Рисунок 15 – Функція щільності розподілу ймовірностей похибки вимірювання концентрації газу

Границі допуску задамо в межах 3% відхилення від дійсного значення концентрації газу (10 %об. або 14448 мг/м^3): $C_A = 9,7 \text{ %об.}$, $C_B = 10,3 \text{ %об.}$ або $C_A = 14015 \text{ мг/м}^3$, $C_B = 14881 \text{ мг/м}^3$.

Підставляючи задані та експериментальні значення отримано значення $\alpha = 0,0312$, $\beta = 0,0010$. Інструментальна вірогідність контролю $D_i = 0,968$, вона є вищою у порівнянні із вірогідністю контролю відомих приладів газового аналізу (0,8–0,94). Отже, враховуючи цей результат, можна вважати мету роботи досягнуто (достовірність контролю підвищено на 0,028).

Методична вірогідність контролю концентрації газу із використанням розробленого засобу підвищується у порівнянні із існуючими засобами контролю за рахунок врахування більшої кількості впливних параметрів (температури, тиску, розширення спектральних ліній досліджуваного газу).

Точність вимірювань є оберненою величиною до відносної похибки, вираженої у відносних одиницях. Враховуючи, що за результатами експериментальних досліджень для зразкової концентрації CO_2 14448 мг/м^3 (10%об. у відносному відношенні) отримано значення сумарної стандартної невизначеності 121 мг/м^3 , то відносна похибка вимірювань складає 0,92 %. Таким чином, отримуємо точність $T = 108$. Порівнюючи це значення із значеннями точності існуючих приладів, можна зробити висновок, що точність вимірювань за допомогою розробленого засобу підвищено у порівнянні із існуючими приладами.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В дисертаційній роботі розроблено засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу з покращеними метрологічними характеристиками.

Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, дозволили отримати нові, науково-обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є істотними для підвищення точності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу з компенсацією впливних факторів оптичного перетворювача.

Основні наукові висновки та результати роботи полягають в такому:

1. Проведено аналіз існуючих систем та методів контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. На основі аналізу відомих методів та засобів контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок встановлені їх основні недоліки та вибрано напрямок досліджень.

2. Вдосконалено математичну модель перенесення випромінювання в середовище димового газу котельних установок, яка, на відміну від існуючих, враховує особливості об'єкта контролю, а саме, значення тиску в загальному випадку представляється як атмосферний тиск та розрідження, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю.

3. Одержав подальший розвиток метод вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок в основній інфрачервоній області та розроблено структурну схему з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами для його здійснення, що дало змогу зменшити кількість контрольованих параметрів (вологість, запиленість), який, на відміну від відомих, відрізняється тим, що значення концентрації двоокису вуглецю отримують на основі співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків, які пройшли через відкриті вимірювальний та компенсаційний канали, причому співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків враховує як адитивні, так і мультиплікативні коефіцієнти поправок залежно від діапазону вимірювання.

4. Вдосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача інтенсивності світлового потоку, яка враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача, отримано рівняння перетворення, що однозначно пов'язує вихідну величину – значення вихідної напруги фотоприймача та вхідну – значення інтенсивності світлового потоку, що дозволило підвищити достовірність контролю.

5. Проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірювального перетворювача, коефіцієнту поглинання CO_2 у димових газах котельних установок та досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.

6. Технічно обґрунтовано реалізацію засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Розраховано статичні та динамічні характеристики засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу.

7. Розроблено структурну та функціональну схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок та представлено рівняння перетворення вимірювального каналу.

8. Розроблено методи компенсації впливу впливних факторів на результат вимірювання концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Експериментально досліджено залежність вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури без термокомпенсації та з термокомпенсацією. Наведено методіку термокомпенсації вихідних характеристик оптичного перетворювача. Оцінено вплив тиску, вологості та запиленості проби димового газу на результат вимірювання концентрації компонентів.

9. Розроблено програмний засіб та промисловий зразок для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Обґрунтовано вибір апаратного забезпечення (це потужний контролер VIPA 200V), та програмне забезпечення для реалізації засобу. Програму контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок написано у програмному пакеті WinPLC7 на мові програмування STL.

10. Розроблено алгоритм контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, який дозволив підтримувати оптимальне співвідношення паливо-повітря у топці котла протягом всього періоду роботи КУ.

11. Розроблено алгоритмічну організацію адаптації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок до реальних умов експлуатації, яка враховує не лише зовнішні збудження, а і тип котлоагрегата.

12. Проведено експериментальні дослідження з метою перевірки адекватності розробленої математичної моделі. Результати експерименту показали повну відповідність теоретичних та практичних (експериментальних) результатів. Розроблений засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок установок має швидкодію на рівні 0,44 с при максимальній відносній похибці 0,92%.

13. Оцінена адекватність розробленої математичної моделі та визначено вірогідність контролю та точність вимірювань концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Проведено оцінку невизначеностей вимірювання. Результатом оцінок є підтвердження адекватності розробленої моделі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kucheruk V. Automatic control of concentration of flue gases / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // *Pomiry avtovatyka kontrola*. - № 7. – 2013. - P.621-623.
2. Кучерук В.Ю. Ресурсоенергозбережна система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Вісник інженерної академії України*. – Київ, 2010. – №3-4. – С. 98-103.
3. Кучерук В.Ю. Система вимірювання температури димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Вісник ЧДТУ*. - 2011. – №1. – С.123-128.
4. Кучерук В.Ю. Система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного метод / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Наукові праці ВНТУ*. – №3. – Вінниця, 2011. Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_3/2011-3.htm.
5. Кучерук В.Ю. Метод компенсації вологості димових газів котельних установок з покращеними метрологічними характеристиками / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. –Вінниця, 2012. – №1. – С.74-78.
6. Кучерук В.Ю. Огляд методів контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. - №1(2). - 2013. – С. 50 – 59.

7. Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А. Оптико-абсорбційна система газового аналізу з компенсацією дестабілізуючих факторів. Патент на корисну модель U201202374 від 28.02.2012
8. Кучерук В.Ю. Система контролю складу димових газів / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Збірник наукових статей III-го всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. – Вінниця 2011. – Т 2. – С. 345 – 347.
9. Дудатьєв І.А. Енергозберігаюча електромеханічна система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів. / І.А. Дудатьєв // Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт галузі “Електротехніка та електромеханіка”. – Дніпродзержинськ, 2010. – С. 27.
10. Кучерук В.Ю. Система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Науково-практична конференція професорсько-викладацького складу та студентів ВНТУ. –Вінниця, 2010. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2010/inaeksu/txt/Dudatiev.pdf>.
11. Кучерук В.Ю. Оптико-абсорбційний інфрачервоний метод контролю складу димових газів котельних установок // В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв / V International conference on optoelectronic information technologies “Photonics-ODS 2010”. – Vinnytsia, 2010. – P. 189.
12. Кучерук В.Ю. Система автоматичного керування котельною установкою / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Тези доповідей десятої міжнародної науково-практичної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)». – Вінниця, 2010. – С. 265.
13. Кучерук В.Ю. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Матеріали I Міжнародної конференції студентів і молодих науковців “Сучасні інформаційні технології 2011”. – Одеса, 2011. – С. 55-56.
14. 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.
15. 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.
16. Кучерук В. Система для контролю складу димових газів котельних установок з підтримкою оптимального коефіцієнту надлишку повітря у топці котлоагрегата / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування”. – Вінниця, 2011. – С. 125-126.
17. Кучерук В.Ю. Мікропроцесорна інформаційно-вимірювальна система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // I International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS -2011). – Vinnitsya, 2011. – P. 167.
18. Кучерук В.Ю. Система забезпечення оптимального ККД роботи котельної установки характеристиками / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // II Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія”. – Вінниця, 2012. - С. 39.
19. Kucheruk V. Yu. Laboratory stand control composition smoke gases of caldron option / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // Матеріали II Міжнародної конференції студентів і молодих науковців “Сучасні інформаційні технології 2012”. – Одеса, 2012. - С. 67-68.

20. Кучерук В.Ю. Лабораторний стенд контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Тези доповідей десятої міжнародної науково-практичної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)». – Вінниця, 2012. – 77 с.
21. Kucheruk V. Laboratory stand control composition smoke gases of caldrion options / Kucheruk V., Dudatiev I. // VI International conference on optoelectronic information technologies “Photonics-ODS 2012”. - Vinnytsia, VNTU 2012. - P. 124
22. Kucheruk V. Optical-gas analysis absorption system with compensation of destabilizing factors / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // VIII International salon of inventions and new technologies «New Time», september , 2012. – Sevastopol, 2012. - P. 330-331.
23. Kucheruk V. Laboratory stand control composition smoke gases / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // Міжнародна науково-технічна конференція ТЕХНОЛОГІЯ – 2013. - Севеодонецьк, 2013. - С. 94-95.
24. Кучерук В.Ю. Огляд методів контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. - №1(2). - 2013. – С. 50 – 59.
25. Kucheruk V. Physical nature metrological select of range of infrared waves to optical absorption methods of control flue gas boilers/ Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // II International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS -2013). – Vinnitsya, 2013. – P. 26-27.
26. Kucheruk V. Energi saving gas analysis systems with the use of software CFG / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // IX International salon of inventions and new technologies «New Time» september. - Sevastopol, 2013. - p. 221-222.
27. Кучерук В.Ю. Мікропроцесори в ІВТ. Лабораторний практикум у середовищі WinPLC7 з використанням ПЛК VIPA / В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов, І.А. Дудатьєв // Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 82 с.

АНОТАЦІЯ

Дудатьєв І.А. Засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газів котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця. – 2016.

В дисертаційній роботі розроблено засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу з покращеними метрологічними характеристиками.

Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, дозволили отримати нові, науково-обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є істотними для підвищення точності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу з компенсацією впливних факторів оптичного перетворювача.

Ключові слова: *засіб контролю, оптичний вимірювальний перетворювач, концентрація двоокису вуглецю, спектр поглинання, невизначеність вимірювання, вірогідність контролю.*

АННОТАЦИЯ

Дудатьев И.А. Средство контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок на основе оптико-абсорбционного метода. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Винницкий национальный технический университет, Винница. – 2016.

В диссертационной работе разработано средство контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок на основе оптико-абсорбционного метода с улучшенными метрологическими характеристиками.

Проведен анализ существующих средств и методов контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок. На основе анализа известных методов и средств контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок установлены их основные недостатки и выбрано направление исследований.

Усовершенствована математическая модель ослабления излучения в среде дымового газа котельных установок, которая, в отличие от существующих учитывает особенности объекта контроля, а именно значение давления в общем случае представляется как атмосферное давление и разрежение, причем в атмосферном давлении учитывается высота средства контроля над уровнем моря, что позволило повысить достоверность контроля.

Усовершенствована математическая модель фотоэлектрического измерительного преобразователя интенсивности светового потока, которая учитывает паразитные параметры элементов фотоприемника, получено уравнение преобразования, однозначно связывающие исходную величину - значение выходного напряжения фотоприемника и входную - значение интенсивности светового потока, что позволило повысить достоверность контроля.

Разработана структурная и функциональная схемы средства контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок и представлено уравнение преобразования измерительного канала.

Разработано программное средство и промышленный образец для автоматического контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок. Обоснован выбор аппаратного обеспечения - это мощный контроллер VIPA 200V, и программное обеспечение для реализации средства. Программа контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок написано в программном пакете WinPLC7 на языке программирования STL.

Разработан алгоритм контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок, который позволил поддерживать оптимальное соотношение топливо-воздух в топке котла в течение всего периода работы КУ.

Разработано алгоритмическую организацию адаптации средства контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок к реальным условиям эксплуатации, которая учитывает не только внешние возмущения, а и тип котлоагрегата.

Проведенные экспериментальные исследования с целью проверки адекватности разработанной математической модели. Результаты эксперимента показали полную соответность теоретических и практических (экспериментальных) результатов. Разработанный способ контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок имеет быстрдействие на уровне 0,44 с при максимальной относи-

тельной погрешности 0,92%.

Оценена адекватность разработанной математической модели и определены достоверности контроля и точность измерений концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок. Была проведена оценка неопределенностей измерения. Результатом оценок было подтверждение адекватности разработанной модели.

Исследования, проведенные в диссертационной работе, позволили получить новые, научно обоснованные теоретические и практические результаты, которые являются существенными для повышения точности при необходимой производительности процесса контроля концентрации двуокиси углерода в дымовых газах котельных установок на основе оптико-абсорбционного метода с компенсацией влияющих факторов оптического преобразователя.

Ключевые слова: *средства контроля, оптический измерительный преобразователь, концентрация двуокиси углерода, спектр поглощения, неопределенность измерения, достоверность контроля.*

ABSTRACT

Dudatyev I. Tool control the concentration of carbon dioxide in the flue gas boilers based on optical absorption method. - Manuscript.

Thesis for obtaining the PhD degree on the speciality 05.11.13 – Devices and methods of the control and definition of structure of substances. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. – 2016.

The thesis developed a means of controlling the concentration of carbon dioxide in the flue gases from boilers optical absorption method with improved metrological characteristics.

Studies conducted in the dissertation, provided a new, science-based theoretical and practical results that are essential to improve the accuracy at the required speed process control the concentration of carbon dioxide in the flue gas boilers based on optical absorption method with compensation impact the factors optical converter.

Keywords: *vehicle control, optical measuring transducer, the concentration of carbon dioxide absorption spectrum, the uncertainty of measurement, reliability of control*

Підписано до друку 18.04.2016 р. Формат 29.7×42 ¹/₄

Наклад 100 прим. Зам. № 2016-063

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету.

м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59