

УДК 681.12

В. Ю. КУЧЕРУК,
І. А. ДУДАТЬЄВ,
В. В. БАРАНЕЦЬ,
Р. П. ДРАЧ

Вінницький національний технічний університет

ЗАСІБ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ У АТМОСФЕРНИХ ГАЗОПОДІБНИХ СЕРЕДОВИЩАХ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ

У статті розроблено засіб контролю концентрації природних газів у атмосферних газоподібних середовищах на основі оптико-абсорбційного методу з покращеними метрологічними характеристиками. Дослідження, проведені в роботі, дозволили отримати нові, науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є істотними для підвищення точності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації газів на основі оптико-абсорбційного методу з компенсацією впливних факторів оптичного перетворювача.

Ключові слова: засіб контролю, оптичний вимірювальний перетворювач, спектр поглинання, невизначеність вимірювання, вірогідність контролю.

V. KUCHERUK,
I. DUDATIEV,
V. BARANETS,
R. DRACH

Vinnitsia National Technical University

TOOL CONTROL OF CONCENTRATION OF NATURAL GASES IN ATMOSPHERIC GAS MONITORINGS ON THE BASIS OF OPTICAL-ABSORPTION METHOD

In the scientific work the method of controlling the concentration of natural gases in atmospheric gaseous media was developed on the basis of an opto-absorption method with improved metrological characteristics. The researches carried out in the work allowed to obtain new, scientifically substantiated theoretical and practical results that are essential for increasing the accuracy with the required speed of the process of controlling the concentration of gases on the basis of the opto-absorption method with the compensation of the influence factors of the optical converter. The analysis of existing systems and methods of gas concentration control is carried out. On the basis of analysis of known methods and means of controlling the concentration of gases, their main disadvantages were identified and the direction of research was selected. The mathematical model of the transfer of radiation to the flue gas boiler plants is improved, which, in contrast to the existing, takes into account the features of the control object, namely, the value of pressure in the general case is represented by atmospheric pressure and dilution, and in the atmospheric pressure, the height of the means is taken into account sea level control, which allowed to increase the reliability of control. The method of measuring the concentration of gases in the main infrared region was further developed and a structural scheme with open measuring and compensating channels for its implementation was developed, which made it possible to reduce the number of controlled parameters (humidity, dust), which, unlike the known ones, differs that the values of the concentration of gases are obtained on the basis of the ratio of the intensity indicators of the light streams that passed through the open measuring and compensation channels, and the ratio of light intensity intensities takes into account both additive and multiplicative coefficients of corrections depending on the range of measurements.

Keywords: control means, optical measuring transducer, absorption spectrum, uncertainty of measurement, probability of control.

ВСТУП. Ефективність роботи промислових об'єктів прямо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Невисока точність контрольно-вимірювальної апаратури, такої як засіб контролю концентрації газів, може спричинити неефективну роботу установки (зокрема неякісне згорання палива у котельнях).

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 промислових об'єктів.

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

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ГАЗІВ. У [6] зроблено аналіз методів та засобів визначення концентрації компонентів газів, 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 газів на основі оптико-абсорбційного методу та його уніфікація орієнтовно особливостей об'єкта контролю.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ. У роботі [15] проведено аналіз спектрів поглинання сенсорів засобу контролю та обрані інфрачервоні випромінювачі і приймачі (на прикладі CO₂). Графічне моделювання фрагменту бази даних HITRAN представлено на рис. 1 (на прикладі двоокису вуглецю).

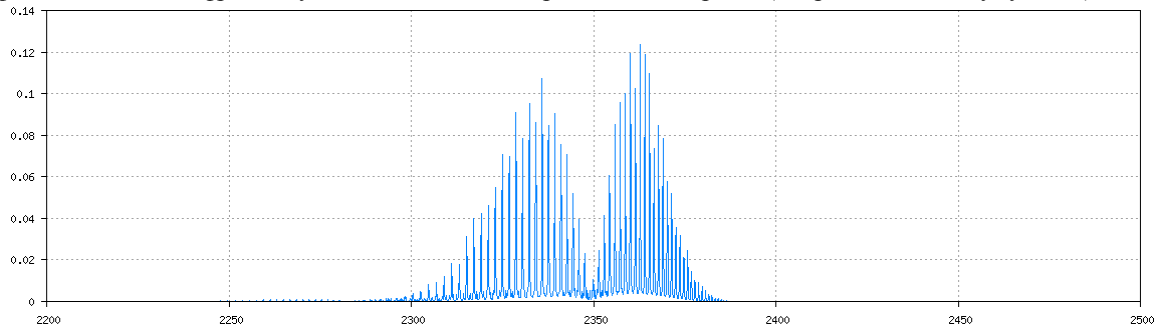


Рис. 1. Фрагменту бази даних HITRAN

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) використаємо аналітичну 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:

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

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.

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

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

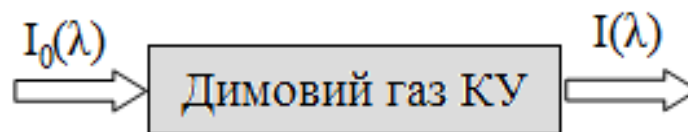


Рис. 2. Модель ослаблення випромінювання в середовищі димових газів

На основі закону Бугера-Ламберта-Бера [1, 4] отримано математичну модель, яка описує процес ослаблення випромінювання в оптичному вимірювальному перетворювачі та враховує основні фактори, які пов'язані з особливостями об'єкта контролю, що впливають на її коректність [3, 5, 12]

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda} = I_0 \cdot e^{-\frac{\sigma}{\pi} \cdot \frac{-0,0083T}{P_0} \cdot \frac{C}{M} \cdot l}, \quad (2)$$

де I_1 – 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.

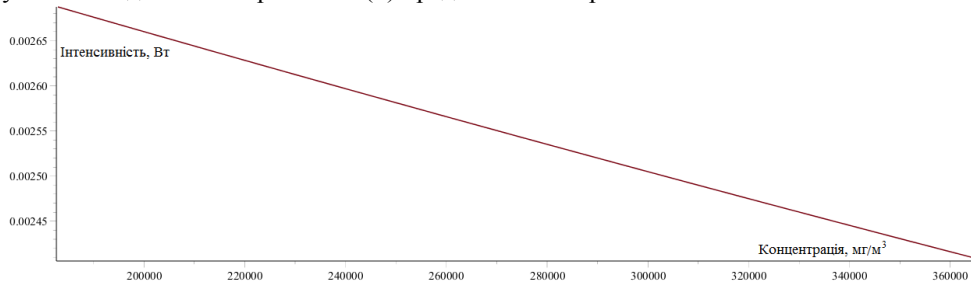


Рис. 3. Моделювання залежності концентрації димового газу від інтенсивності (в робочому діапазоні)

Також розроблено математичну модель вимірального перетворювача концентрації газів

$$U_F = I_0 \cdot e^{\frac{\int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i})^2} \cdot \frac{-0,0083T}{P_0 \cdot e^{-\frac{M_m \cdot g \cdot h}{R \cdot T} - P_{\text{роз}}}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R_{ZZ}, \quad (3)$$

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

Моделювання проводилось при вхідній інтенсивності 3 мВт, опорі зворотного зв'язку 9.88 МОм, інтегральній струмовій чутливості фотодіоду $5.06 \frac{\text{А}}{\text{л}} \cdot \frac{1}{2}$, площею фоточутливого шару фотоприймача 26 мм².

Моделювання залежності концентрації CO₂ від напруги у робочому та повному діапазоні представлено на рис. 4.

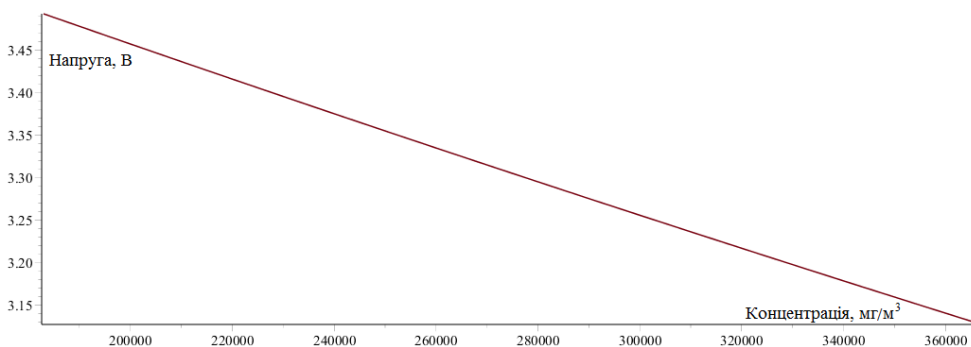


Рис. 4. Моделювання залежності концентрації CO₂ від напруги

Дослідження впливу ширини спектру приймача інфрачервоного (ІЧ) випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора визначено, що використання оптичного фільтру збільшує чутливість оптичного газового сенсора 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 цьому діапазоні поглинання CO, NO₂, SO₂, CH₄ складає від 10⁻²¹ до 10⁻²³ см/моль, що на декілька порядків вище, ніж поглинання CO₂ 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

$$Add = U_{вих.о.к} - U_{вих.р.к} = I_{LEDo.к} \cdot e^{k^{poz}} \cdot e^{k^3} \cdot S_{I0o.к} \cdot S_{o.к} \cdot R_{zзо.к} - I_{LEDr.к} \cdot e^{k^{poz}} \cdot e^{k^{pozCO_2}} \cdot e^{k^3} \cdot S_{I0p.к} \cdot S_{p.к} \cdot R_{zзр.к} = \Delta U_{CO_2p.к} \quad (4)$$

$$Mul = \frac{U_{вих.р.к}}{U_{вих.о.к}} = \frac{I_{LEDr.к} \cdot e^{k^1} \cdot e^{k^2} \cdot e^{k^3} \cdot S_{I0p.к} \cdot S_{p.к} \cdot R_{zзр.к}}{I_{LEDo.к} \cdot e^{k^1} \cdot e^{k^3} \cdot S_{I0o.к} \cdot S_{o.к} \cdot R_{zзо.к}} = e^{k^2} \quad (5)$$

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.

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ГАЗІВ. На рис. 5, рис. 6 представлено узагальнену структурну (рис.5) та функціональну (рис.6) схеми засобу контролю концентрації газів.

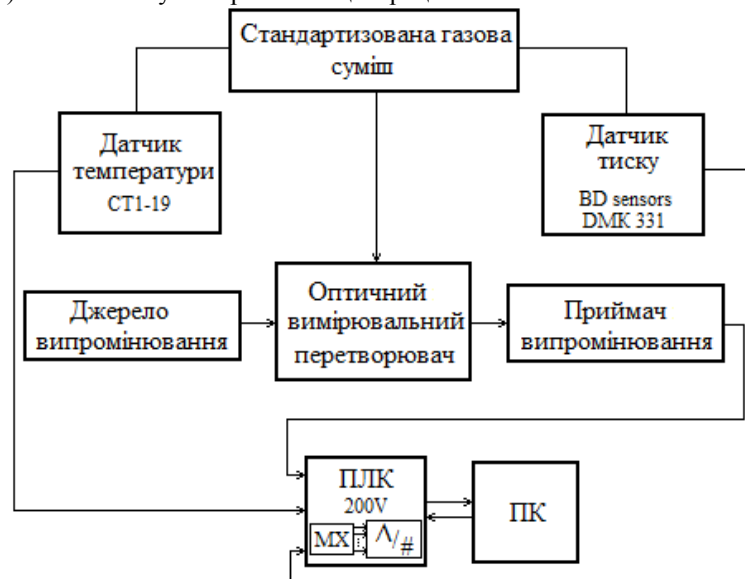


Рис. 5. Структурна схема засобу контролю концентрації газів

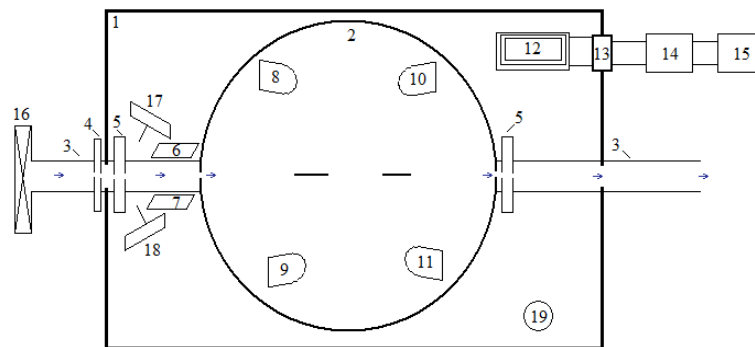


Рис. 6. Функціональна схема засобу контролю концентрації газів: 1 – корпус засобу контролю; 2 – корпус оптичного сенсора; 3 – газозбірний зонд-шланг для закачування/відкачування проби у/з засобу контролю; 4 – фільтр (від механічних домішок); 5 – вентилятори; 6 – сенсор тиску; 7 – сенсор температури; 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 – перевірна газова суміш; 17 – нагрівач; 18 – охолоджувач; 19 – сигналізація

Проведено аналіз шляхів подачі димового газу на засіб контролю концентрації газів. Визначено, що використання відкритого оптичного каналу зменшує перехідний процес з 7 до 0.6 с. Протікання перехідного процесу у вимірювальному перетворювачі (ВП) після зміни концентрації газової суміші представлено на рис. 7.

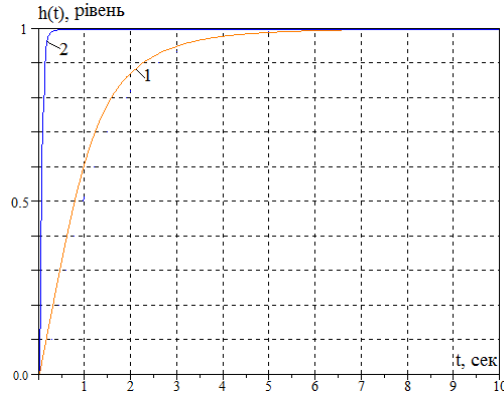


Рис. 7. Перехідний процес у ВП з закритим – 1 (відкритим – 2) оптичним каналом

Проведено оцінювання основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації газів (на прикладі двоокису вуглецю). Графічну залежність вихідного коду N_x від концентрації C представлено на рис. 8.

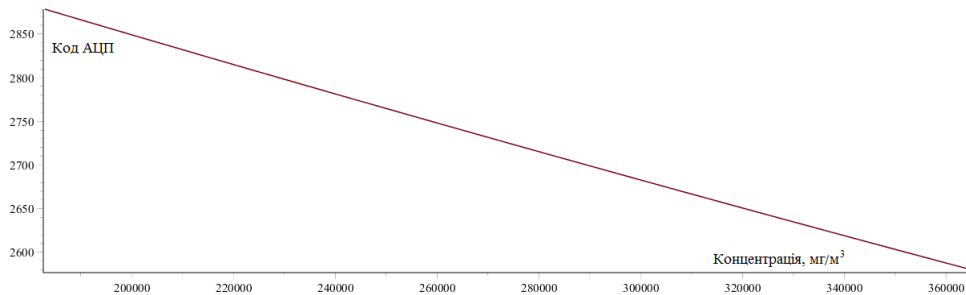


Рис. 8. Графічне представлення рівняння вимірювального каналу концентрації двоокису вуглецю (в робочому діапазоні)

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

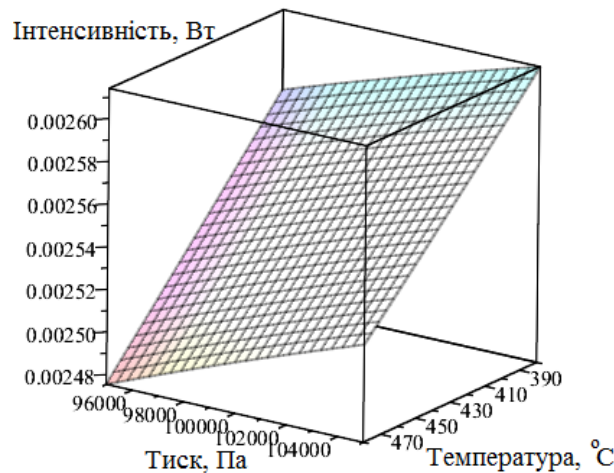


Рис. 9. Залежність інтенсивності випромінювання від тиску та температури

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

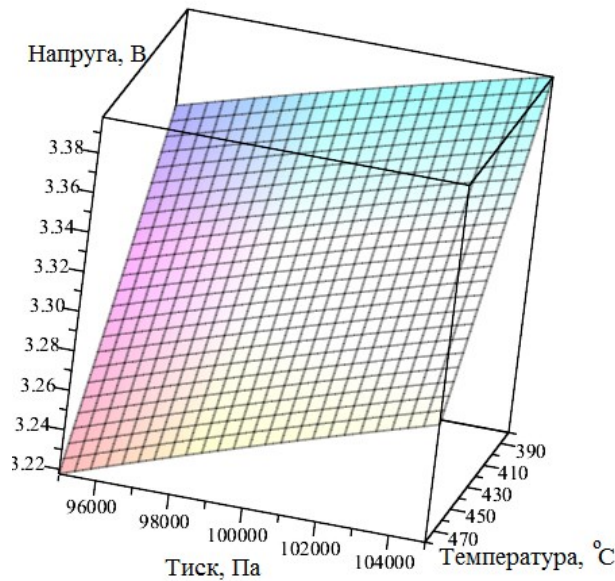


Рис. 10. Залежність напруги на виході оптичного сенсора від тиску та температури

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ГАЗІВ. 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 [16, 17].

Приклад роботи програми та алгоритм роботи засобу контролю концентрації газів представлено на рис. 11.

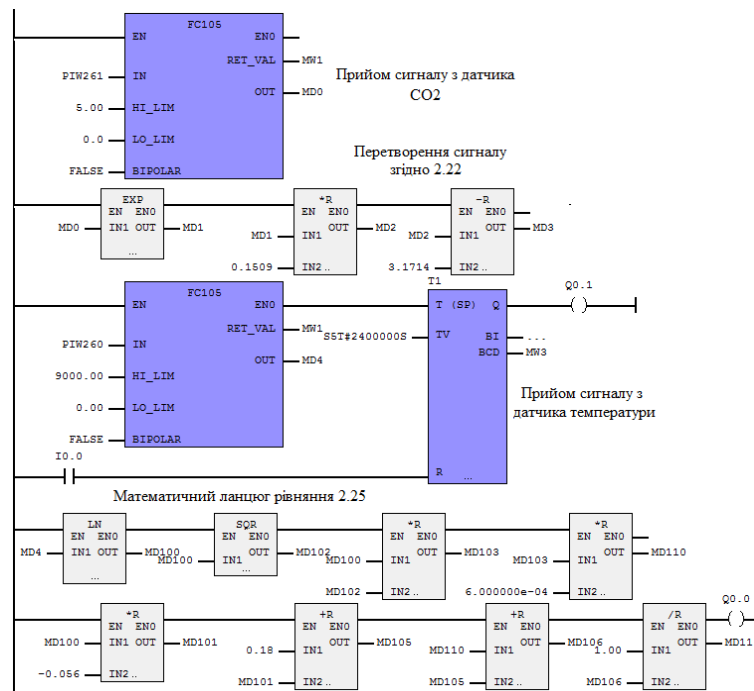


Рис. 11. Приклад роботи програми CFG

Для перевірки математичної, 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).

$$\delta = \frac{\Delta}{X_d} = \frac{10.092 - 10.000}{10.000} \cdot 100\% = 0.92\%; \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \frac{0.092}{100} \cdot 100\% = 0.092\%. \quad (7)$$

ВИСНОВКИ. У статті розроблено засіб контролю концентрації газів на основі оптико-абсорбційного методу з покращеними метрологічними характеристиками.

Основні наукові висновки та результати роботи полягають в такому:

1. Проведено аналіз існуючих систем та методів контролю концентрації газів. На основі аналізу відомих методів та засобів контролю концентрації газів встановлені їх основні недоліки та вибрано напрямки 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 газів 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 газів 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. Розроблено структурну та функціональну схеми засобу контролю концентрації газів та представлено рівняння перетворення вимірювального каналу.

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

7. 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 має швидкодію на рівні 0,44 с при максимальній відносній похибці 0,92%.

Література

1. Kucheruk V. Automatic control of concentration of flue gases / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // Pomiry avtovatyka kontrola. – 2013. – № 7. – 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 методу / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Наукові праці ВНТУ. – Вінниця, 2011. – № 3. – 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. – 2013. – № 1(2). – С. 50–59.
7. Патент на корисну модель U201202374 від 28.02.2012. Оптико-абсорбційна система газового аналізу з компенсацією дестабілізуючих факторів / Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А.
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. 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.

11. Кучерук В.Ю. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудат'єв // *Матеріали І Міжнародної конференції студентів і молодих науковців "Сучасні інформаційні технології 2011"* – Одеса, 2011. – С. 55–56.
12. Kucheruk V. Optical-gas analysis absorption system with compensation of destabilizing factors / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // VIII International salon of inventions and new technologies «New Time», september, 2012. – Sevastopol, 2012. – P. 330–331.
13. Kucheruk V. Laboratory stand control composition smoke gases / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // *Міжнародна науково-технічна конференція ТЕХНОЛОГІЯ – 2013*. – Северодонецьк, 2013. – С. 94–95.
14. Кучерук В.Ю. Огляд методів контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудат'єв // *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. – 2013. – № 1(2). – С. 50–59.
15. Kucheruk V. Physical nature metrological select of range of infrared waves to optical absorption methods of control flue gas boilers / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // II International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS –2013). – Vinnitsya, 2013. – P. 26–27.
16. Kucheruk V. Energi saving gas analysis systems with the use of software CFG / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // IX International salon of inventions and new technologies «New Time» september. – Sevastopol, 2013. – P. 221–222.
17. Кучерук В.Ю. Мікропроцесори в ІВТ. Лабораторний практикум у середовищі WinPLC7 з використанням ПЛК VIPA / В.Ю. Кучерук, В.М. Севаст'янов, І.А. Дудат'єв. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 82 с.

References

1. Kucheruk V. Automatic control of concentration of flue gases / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // *Pomiary avtovatyka kontrola*. – 2013. – № 7. – P. 621–623.
2. Kucheruk V.Iu. Resursoenerhozberezhna systema avtomatychnoho keruvannya kotelnoiu ustanovkoiu z kontrolem skladu dymovykh haziv / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*. – Kyiv, 2010. – № 3–4. – S. 98–103.
3. Kucheruk V.Iu. Systema vymiriuvannya temperatury dymovykh haziv kotelnykh ustanovok / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Visnyk ChDTU*. – 2011. – № 1. – S. 123–128.
4. Kucheruk V.Iu. Systema avtomatychnoho keruvannya kotelnoiu ustanovkoiu z kontrolem skladu dymovykh haziv na osnovi optyko-absorbtsiinoho infrachervonoho metod / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Naukovi pratsi VNTU*. – Vinnitsya, 2011. – № 3. – Rezhym dostupu : http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_3/2011-3.htm.
5. Kucheruk V.Iu. Metod kompensatsii volohosti dymovykh haziv kotelnykh ustanovok z pokrashchenymy metrolohichnymy kharakterystykamy / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. – Vinnitsya, 2012. – № 1. – С. 74–78.
6. Kucheruk V.Iu. Ohliad metodiv kontroliu skladu dymovykh haziv kotelnykh ustanovok / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoj derzhavnoi akademii tekhnichnogo rehulivannya ta yakosti*. – 2013. – № 1(2). – S. 50–59.
7. Patent na korysnu model U201202374 vid 28.02.2012. Optyko-absorbtsiina systema hazovoho analizu z kompensatsiieiu destabilizuiuchykh faktoriv / Kucheruk V.Iu., Dudatiev I.A.
8. Kucheruk V.Iu. Systema kontroliu skladu dymovykh haziv / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Zbirnyk naukovykh statei III-ho vseukrainskoho zizdu ekologiv z mizhnarodnoiu uchastiu*. – Vinnitsya 2011. – T 2. – С. 345–347.
9. Dudatiev I.A. Enerhozberihaiucha elektromekhanichna systema avtomatychnoho keruvannya kotelnoiu ustanovkoiu z kontrolem skladu dymovykh haziv. / I.A. Dudatiev // *Vseukrainskyi konkurs studentskykh naukovykh robit haluzi "Elektrotekhnika ta elektromekhanika"*. – Dniprodzerzhynsk, 2010. – S. 27.
10. Kucheruk V.Iu. Optyko-absorbtsiinyi infrachervonyi metod kontroliu skladu dymovykh haziv kotelnykh ustanovok // V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev / V International conference on optoelectronic information technologies "Photonics-ODS 2010". – Vinnitsya, 2010. – P. 189.
11. Kucheruk V.Iu. Kompiuteryzovana informatsiino-vymiriuvalna systema kontroliu skladu dymovykh haziv kotelnykh ustanovok / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Materialy I Mizhnarodnoi konferentsii studentiv i molodykh naukovtsiv "Suchasni informatsiini tekhnologii 2011"*. – Odesa, 2011. – S. 55–56.
12. Kucheruk V. Optical-gas analysis absorption system with compensation of destabilizing factors / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // VIII International salon of inventions and new technologies «New Time», september, 2012. – Sevastopol, 2012. – P. 330–331.
13. Kucheruk V. Laboratory stand control composition smoke gases / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // *Mizhnarodna nauково-tekhnichna konferentsiia TEKhNOLOGIJA – 2013*. – Sievierodonetsk, 2013. – С. 94–95.
14. Kucheruk V.Iu. Ohliad metodiv kontroliu skladu dymovykh haziv kotelnykh ustanovok / V.Iu. Kucheruk, I.A. Dudatiev // *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoj derzhavnoi akademii tekhnichnogo rehulivannya ta yakosti*. – 2013. – № 1(2). – S. 50–59.
15. Kucheruk V. Rysical nature metrological select of range of infrared waves to optical absorption methods of control flue gas boilers / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // II International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS –2013). – Vinnitsya, 2013. – P. 26–27.
16. Kucheruk V. Energi saving gas analysis systems with the use of software CFG / V. Yu. Kucheruk, I. Dudatiev // IX International salon of inventions and new technologies «New Time» september. – Sevastopol, 2013. – R. 221–222.
17. Kucheruk V.Iu. Mikroprotsesory v IVT. Laboratornyi praktykum u seredovyschii WinPLC7 z vykorystanniam PLK VIPA / V.Iu. Kucheruk, V.M. Sevastianov, I.A. Dudatiev. – Vinnitsya : VNTU, 2013. – 82 s.