

УДК 533.12

<sup>1</sup>О. М. Васілевський, д.т.н., доц., <sup>2</sup>О. М. Возняк, к.т.н., доц.,  
<sup>3</sup>І. А. Дудатьєв, асистент, Д. В. Мостовий, студент, Д. А. Підвашецький, студент

## ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub> НА БАЗІ ПРОМИСЛОВО-ЛОГІЧНОГО КОНТРО- ЛЕРА VIRA 200

Метою статті є аналіз методів вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> та розробка системи вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>.

### Вступ

Актуальність роботи обумовлена проблемою зростання концентрації вуглекислого газу у атмосфері Землі. За останні 50 років концентрація вуглекислого газу в атмосфері землі підвищилася з 0,0315% або 315 ppm до 400 ppm і росте на 2.2 ppm в рік. Як відомо, причиною багатьох проблем із самопочуттям і синдрому хронічної втоми може бути надлишок вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в повітрі приміщення. Спалювання викопних палив, таких як вугілля, нафта і природний газ, є основною причиною емісії антропогенного CO<sub>2</sub>, вирубка лісів є другою за значимістю причиною. У 2008 році в результаті спалювання викопного палива в атмосферу було виділено 8,670 млрд тонн вуглецю (31,8 млрд тонн CO<sub>2</sub>), в той час як в 1990 році річна емісія вуглецю становила 6,14 млрд тонн. Тому наявність точної вимірювальної апаратури для паливної промисловості є досить актуальною [1].

### Аналіз стану досліджень та публікацій

Термокондуктометричний метод реалізований у термокондуктометричних газоаналізаторах. Їх дія заснована на залежності теплопровідності газової суміші від її складу. Для більшості справедливо рівняння:

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

де  $\lambda$  – теплопровідність суміші;  $\lambda_i$  – теплопровідність  $i$ -того компоненту;  $C_i$  – концентрація;  $n$  – число компонентів.

Термокондуктометричні газоаналізатори не мають високої вибіркової і використовуються, якщо компонент який контролюється по теплопровідності істотно відрізняється від інших, наприклад для визначення концентрацій H<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> в газових сумішах, що містять N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> і інші. Діапазон вимірювання - від одиниць до десятків відсотків за об'ємом [2].

Зміна складу газової суміші приводить до зміни її теплопровідності і, як наслідок, титри і електричне опори металевого або напівпровідникового терморезистора, що нагрівається струмом, розміщеного в камері, через яку пропускається суміш. При цьому:

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

де  $\alpha$  – конструктивний параметр камери.

У разі пропускання через нього струму  $I$  при теплопровідності газового середовища відповідає температурний коефіцієнт електричного опору терморезистора. Міра концентрації компоненту – електричний струм який вимірюється вторинним приладом. Термокондуктометричні газоаналізатори широко застосовують для контролю процесів у виробництві (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>).

Оптико-абсорбційного інфрачервоного метод реалізований у інфрачервоних газоаналізаторах. Їх дія заснована на виборчому поглинанні молекулами газів і пари ІЧ-випромінювання в діапазоні 1-15 мкм. Це випромінювання поглинають всі гази, молекули яких складаються не менше ніж з двох різних атомів [3]. Висока специфічність молекулярних спектрів поглинання різних газів обумовлює високу вибірковість таких газоаналізаторів і їх широке застосування в лабораторіях і промисловості. Діапазон вимірюваних концентрацій 0-100%. У дисперсійних газоаналізаторах використовують випромінювання однієї довжини хвилі, одержане за допомогою монохроматорів (призми, дифракційної решітки).

У недисперсійних газоаналізаторах, завдяки особливостям оптичної схеми приладу (застосуванню світлофільтрів, спеціальних приймачів) використовують немонохроматичне випромінювання.

Як приклад приведена найпоширеніша схема такого газоаналізатора. Випромінювання від джерела послідовно проходить через світлофільтр і робочу кювету, в яку подається суміш яка аналізується, і потрапляє в спеціальний приймач. Якщо в суміші присутній компонент що визначається, то залежно від концентрації він поглинає частину випромінювання, і реєстрований сигнал пропорційно змінюється. Джерелом випромінювання зазвичай служить нагріта спіраль з широким спектром випромінювання, ІЧ-лазер або світлодіод, випускаючі випромінювання у вузькій області спектру. Якщо використовується джерело немонохроматичного випромінювання, вибірковість визначення досягається за допомогою селективного приймача. Схема інфрачервоного газоаналізатора представлена на рисунку 1.1.

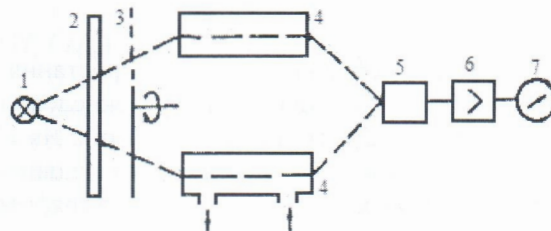


Рисунок 1 – Схема інфрачервоного газоаналізатора

На рисунку позначено: 1 – джерело випромінювання, 2 – світлофільтр, 3 – модулятор, 4 і 4' – відповідно робоча і порівняльна (внизу) кювети, 5 – приймач випромінювання, 6 – підсилювач, 7 – вторинний прилад.

Найбільш поширені газоаналізатори з газонаповненим оптико-акустичним приймачем. Останній є герметичною камерою з вікном, заповнену саме тим газом, концентрацію якого потрібно виміряти. Цей газ, поглинаючи з потоку випромінювання певну частину з характерним для даного газу набором спектральних ліній, нагрівається, внаслідок чого тиск в камері збільшується. За допомогою механічного модулятора потік випромінювання уривається з певною частотою. В результаті з цією ж частотою пульсує тиск газу в приймачі. Амплітуда пульсації тиску – міра інтенсивності поглиненого газом випромінювання, залежна від того, яка частина характерного випромінювання поглинається тим же газом в робочій кюветі. Інші компоненти суміші випромінювання на цих довжинах хвиль не поглинають. Амплітуда пульсації тиску в приймачі випромінювання – міра кількості компоненту який визначається в суміші, що проходить через робочу кювету. Зміну тиску вимірюють звичайно конденсаторним мікрофоном або датчиком витрати газу. Замінюючи газ в приймачі випромінювання оптико - акустичного газоаналізатора, можна вибірково вимірювати зміст різних компонентів сумішей.

У інфрачервоних газоаналізаторах використовують також неселективні приймачі випромінювання - болометри, термобатарей, напівпровідникові елементи. Тоді у разі джерел з широким спектром випромінювання вибірковість визначення забезпечують застосуванням інтерференційних і газових фільтрів [4]. Для підвищення точності і стабільності частина яка вимірюється потоку випромінювання зазвичай пропускають через порівняльну кювету, заповнену газом, не поглинаючим реєстроване випромінювання, і вимірюють різницю або відношення сигналів, одержаних в результаті проходження випромінювання через робочу і порівняльну кювети.

Інфрачервоні газоаналізатори широко використовують для контролю якості продукції, аналізу газів, що відходять у складі димових газів котельних установок. З їх допомогою визначають, наприклад  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  в технологічних газах виробництва синтетичного аміаку, пари ряду розчинників в повітрі промислових приміщень, оксиди азоту,  $\text{SO}_2$  і вуглеводні у вихлопних газах автомобілів, димових газів котельних установок.

*Метою статті* є розробка систему вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$  на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.

#### Викладання основного матеріалу

Фізичне представлення поглинання полягає у тому, що при проходженні оптичного випромінювання через газову кювету молекули газу, поглинаючи кванти випромінювання, відповідні визначеним частотам, збуджуються, тобто збільшують запас своєї енергії. Якщо поглинається ультрафіолетове і видиме випромінювання або випромінювання короткохвильової частини інфрачервоного спектру, то підвищується запас енергії електронів, енергії, відповідної коливанню ядер атомів, і енергії обертання молекули навколо центру тяжіння. Якщо поглинаються кванти, які

відповідають більш довгохвильової області спектру оптичного випромінювання (від декількох мікрометрів до сотень мікрометрів), то збуджуються коливально-обертальні і, відповідно, чисто обертальні ступені свободи. В результаті цього спектри поглинання молекул складаються з ряду смуг, що мають складну структуру [5]. На рисунку 1.2 показана частина спектру, знятого при товщині шару газу 100 мм, тиску 10000 ррm і температурі 20С° (добре видно смуги коливально-обертального спектру поглинання вуглекислого газу).

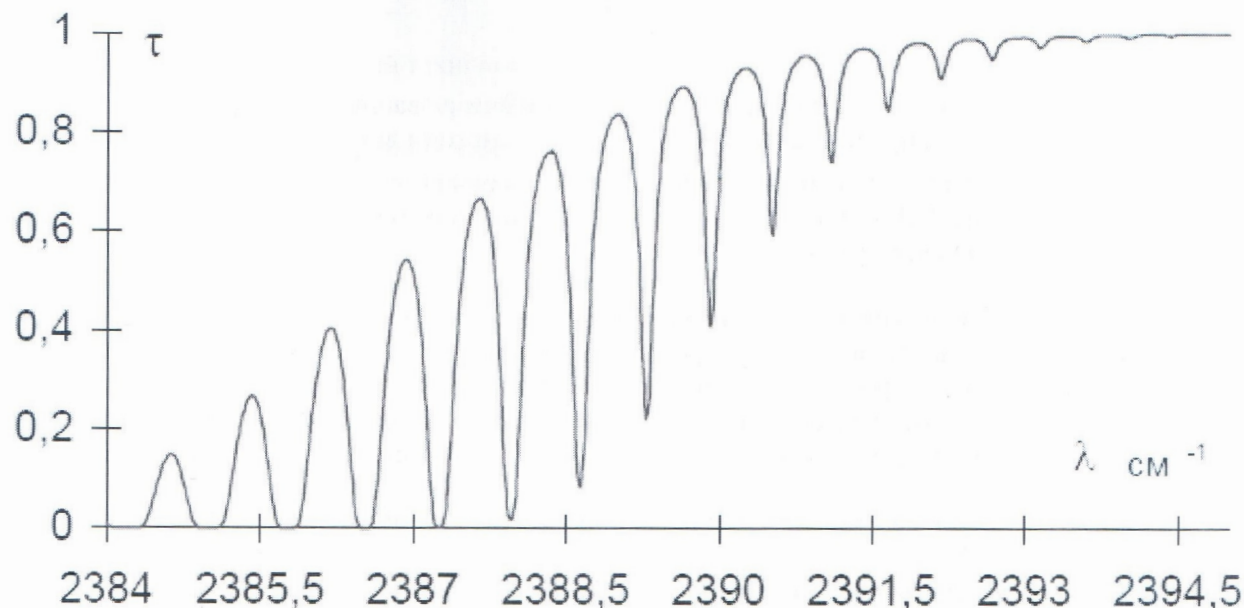


Рисунок 2 – Коливально-обертальні смуги поглинання вуглекислого газу  
Інфрачервону радіацію поглинають всі гази, за винятком O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> і одноатомних газів. Спектр поглинання одноатомних газів або пари металів відрізняється від інфрачервоних спектрів поглинання молекул своєю відносною простотою і складається не із смуг, а з окремих ліній, у багатьох випадках розташованих тільки в ультрафіолетовій області спектру.

Як інфрачервоні, так і ультрафіолетові спектри поглинання, в залежності від природи даної речовини, мають індивідуальний характер, що і дозволяє ідентифікувати ці речовини.

У ІЧ діапазоні спектру є специфічні особливості реєстрації поглинання газу який аналізується завдяки наявності коливально-обертальних смуг поглинання. Величина потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету з газом, що аналізується, може бути визначена за законом Ламберта-Бера:

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) = \Phi_{\lambda 0}(\lambda) \cdot e^{-\chi(\lambda) \cdot \varphi \cdot l}, \quad (3)$$

де  $\Phi_{\lambda}(\lambda)$ ,  $\Phi_{\lambda 0}(\lambda)$  - спектральна густина потоку випромінювання на даній довжині хвилі  $\lambda$ ;  $\chi(\lambda)$  - масовий показник поглинання речовини для даної довжини хвилі  $\lambda$ ;  $\varphi$  - об'ємна частка речовини, що поглинає оптичне випромінювання;  $l$  - товщина шару середовища яке поглинає випромінювання.

Використовують відоме значення  $\chi$  газу, що аналізується для довжини хвилі джерела, або, якщо ширина смуги джерела порівнянна з шириною смуги поглинання газу, усереднене по спектру випромінювання джерела ефективне значення коефіцієнта поглинання  $\chi_e$ . При цьому враховується інтегральний по спектру джерела потік випромінювання, який якраз і реєструється фотоприймачами. Тоді закон Ламберта-Бера виражається так:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\chi_e \cdot \varphi \cdot l}, \quad (4)$$

де  $\chi$  і  $l$  відомі, а вимірюється відношення минулого через шар  $l$  газу потоку до вхідного потоку  $\Phi/\Phi_0$  або їх різниця при слабкому поглинанні [6].

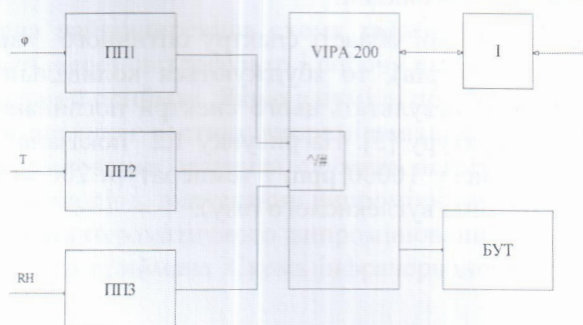


Рисунок 3 – Структурна схема системи вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>

На рисунку 3 запропоновано структурну схему системи вимірювання концентрації, до складу якої входять: ПП1-ПП3 – первинні вимірювальні перетворювачі,  $\Delta/\#$  – аналогово-цифровий перетворювач, I – інтерфейс, VIPA 200 – програмовано-логічний контролер (ПЛК) фірми Vipa серії 200, БУТ – блок управління температурою.

Після чого уніфікований сигнал поступає на вхід АЦП, котрий знаходиться в корпусі ПЛК, який здійснює його перетворення у цифровий код. Цифровий код поступає на вхід Vipa, який обробляє інформацію. Після обробки інформації подає сигнал на блок управління температурою, який призначений для підтримки температури у заданих межах. ПЛК здійснює керування всіма вузлами вимірювальної системи. Інтерфейс приймає та передає дані до зовнішніх пристроїв та систем.

Для реалізації поставленої задачі використаємо контролер фірми VIPA серії System 200V. Модулі System 200V можна застосовувати для розширення систем автоматизації, виконаних на базі даних контролерів фірми Siemens і промислової шини PROFIBUS, користуючись при цьому єдиним інструментом розробки. За допомогою System 200V можна також створювати нові високо продуктивні системи керування та контролю, що відповідають сучасним вимогам. При цьому функціональні можливості модулів VIPA не поступаються «оригіналу», а конструктивно вони набагато компактніше [7]. Програмне забезпечення для контролерів серії System 200V може створюватися як за допомогою стандартного середовища розробки STEP7, так і за допомогою застосування недорогих пакетів з обмеженою функціональністю WinPLC7 й WinNCS.

### Висновки

На основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу запропоновано програмний засіб для автоматичного вимірювання концентрації вуглекислого газу, що дає змогу підвищити швидкодію. Швидкодія системи не перевищує 10 секунд, що значно відрізняється від існуючих аналогів. При врахуванні впливу дестабілізуючих факторів точність вимірювання концентрації підвищується з 0,5% до 0,02%.

### Список літератури

1. Мостовий Д. В. Система вимірювання концентрації димових газів на базі промислово-логічного контролера Vipa 200 / Д. В. Мостовий, В. Ю. Кучерук. // ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології. – С. 72.
2. Франко Р.Т. Газоаналитические приборы и системы : [учебник] / Р.Т. Франко, Б.Г. Кадук, А.А. Кравченко. – М., Машиностроение, 1983. – 358с.
3. Мостовий Д. В. Система вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> з урахуванням дестабілізуючих факторів / Д. В. Мостовий, В. Ю. Кучерук. // Матеріали п'ятої міжнародної конференції студентів і молодих науковців "Сучасні інформаційні технології 2015". – 2015. – С. 84.
4. Соколов В.А. Методы анализа газов. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 340с.
5. Тюрин М.П. Повышение экономичности работы промышленных котлоагрегатов : [учебник] / М.П. Тюрин, Л.М. Кочетов, Е.В. Харами. – М.: РХТУ. – 1999. – 290с.