

УДК 543.42:622.412:669.18

В. Ю. Кучерук, д.т.н., І. А. Дудатьєв

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

## ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СКЛАДУ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

У статті зроблено аналіз методів визначення концентрації газових сумішей. Методи були порівняні між собою за певними критеріями. Визначено оптимальний метод для контролю складу димових газів, який було корельовано до поставленої задачі.

**Ключові слова:** контроль, склад димових газів котельних установок, метод, класифікація, узагальнений критерій якості, матричний граф.

## Вступ

На даний час існує багато різноманітних методів визначення газоподібних речовин у повітрі: оптичні, електрохімічні, хроматографічні, каталітичні, термохімічні та ін. Але в багатьох випадках вони не можуть забезпечити високу точність, чутливість і швидкодію вимірювань та вірогідність контролю газів. Разом з тим, дані вимоги є необхідними параметрами ефективної роботи котельних установок, яка прямо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Це, в свою чергу, може спричинити неефективну роботу установки, зокрема неякісне згорання палива.

Тому метою роботи є вибір оптимального методу контролю складу газів з подальшим його вдосконаленням та уніфікацією відносно особливостей об'єкту контролю.

**Мета роботи:** вибір оптимального методу для контролю складу димових газів та корельовання його згідно особливостей об'єкту контролю.

## Особливості об'єкта контролю

Структура складу димових газів котельних установок [1] представлена на рис. 1.

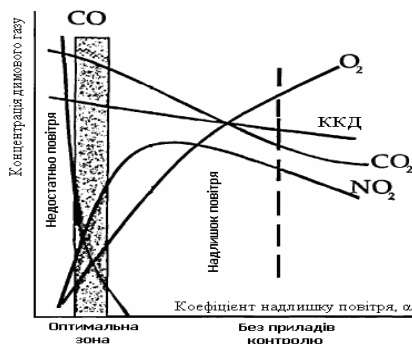


Рисунок 1 - Структура складу димових газів котельних установок

Оптимальна зона – це така концентрація компонентів, при якій забезпечується спалювання палива з низьким коефіцієнтом надлишку повітря (КНП). Наприклад, у роботі [2] для котла ДЕ-25-14 ГМ було встановлено оптимальний КНП, який дорівнює 1,25 ( $\pm 0,01$ ). Збільшення оптимального КНП призводить до підвищення значення концентрації оксидів азоту. При зниженні оптимального КНП збільшується концентрація оксидів вуглецю і, як наслідок, збільшуються втрати з хімічною неповнотою згорання. Головним параметром, що виявляє корегуючу дію на величину надлишку повітря, є вміст залишкового кисню в димових газах. Недостатня кількість повітря викликає неповне згорання продуктів у топці котла, що призводить до перевитрат палива. Надлишок повітря також призводить до перевитрат палива на нагрів зайвого повітря у складі відхідних димових газів [3].

Основні компоненти димового газу котельної установки та їх оптимальна концентрація представлені у табл. 1 [4].

Таблиця 1- Основні компоненти димового газу котельної установки\*

Димовий газ	Оптимальна концентрація	Примітка
CO	1 – 2 %	Оксид вуглецю
CO <sub>2</sub>	12 – 18 %	Діоксид вуглецю
NO <sub>2</sub>	62 – 80 %	Діоксид азоту
O <sub>2</sub>	1 – 5 %	Кисень
HC <sub>4</sub>	0,01 %	Метан
H <sub>2</sub> O	0 %	Вода у вигляді пари
Атмосферний пил	0 %	Часточки пилу

\*Компоненти димових газів (після усунення дестабілізуючих факторів до яких відносимо вологу, пил, тиск, температуру)

Визначення складу продуктів спалювання дає змогу оцінити: ступінь завершеності процесу згорання палива (втрат від хімічної неповноти горіння), умови згорання палива (коефіцієнт надлишку повітря), характер згорання палива в окремих зонах котла (наприклад, наявність компоненту  $\text{CH}_4$  означає нерівність перемішування палива з повітрям, проскок неспаленого газу, наявність локальних низькотемпературних зон), динаміку процесу горіння, дотримання гранично допустимих норм концентрацій викинутих в атмосферу шкідливих речовин [4].

#### Огляд методів контролю складу димових газів [5 - 10]

**МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ.** Слід зазначити, що механічні методи, незважаючи на універсальність, вибірковість і простоту, неприйнятні через низьку чутливість, невисоку точність і значну тривалість аналізу. Область застосування магнітних методів обмежується аналізом газів, які володіють парамагнітними властивостями ( $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ). До того ж вони вирізняються невисокою точністю і малою чутливістю. Теплові методи характерні безперервною аналізом, необмеженістю діапазону вимірювань.

Разом з тим ці методи володіють і значними недоліками, які затрудняють їх застосування у автоматичних системах контролю: велика інерційність, нелінійність градуовальної характеристики, електрична залежність коефіцієнта теплопровідності від оточуючих умов (коливання атмосферного тиску, швидкості газообміну, температури газового середовища, струму джерела живлення, вібрації та ін.). Дані методи також не забезпечують необхідної вибірковості і можуть бути використані лише при різкій відмінності теплопровідності визначуваного компоненту від теплопровідності інших складників суміші. Отже, вищенаведені методи недоцільно використовувати у газовому аналізі при визначенні малих концентрацій.

**Пневматичний метод.** Газоаналізатори з дросельними перетворювачами вимірюють гідравлічний опір дроселя (капіляра) при пропусканні через нього газу. При постійній витраті газу перепад тиску на дроселі – функція густини (турбулентний дросель), в'язкості (ламінальний дросель) або того і іншого параметра одночасно.

Струменеві газоаналізатори використовують, наприклад, в азотній промисловості для вимірювання змісту  $\text{N}_2$  в азоті (діапазон вимірювання 0-50%), в хлорній промисловості для визначення  $\text{Cl}_2$  (0-50 і 50-

100%). Час встановлення свідчень цих газоаналізаторів не перевищує декількох секунд, тому їх застосовують також в газосигналізаторах довзривних концентрацій газів і пари деяких речовин (наприклад, діхлоретана, вінілхлоріда) в повітрі промислових приміщень.

#### Пневмоакустичний метод.

Пневмоакустичні газоаналізатори містять два свистки з близькими частотами (3-5 кГц), через один з яких проходить газ, який аналізується, через другий – порівняльний. Частота биття звукових коливань в змішувачі частот залежить від густини газу, що аналізується. Биття (частота до 120 Гц) посилюється і перетворюється в пневматичні коливання підсилювачем. Для отримання вихідного сигналу (тиск) служить частотно-аналоговий перетворювач.

Пневматичні газоаналізатори не володіють високою вибірковістю. Вони придатні для аналізу сумішей, в яких змінюється концентрація тільки одного з компонентів, а співвідношення між концентраціями інших залишається постійним. Діапазон вимірювання – від одиниць до десятків відсотків. Пневматичні газоаналізатори не містять електричних елементів і тому можуть використовуватися в приміщеннях будь-якої категорії пожежо і вибухонебезпеки. Елементи схеми, що контактують з газами, виконані зі скла і фторопласту, що дозволяє аналізувати вельми агресивні гази (хлориди).

#### ФІЗИЧНІ МЕТОДИ.

**Термокондуктометричний метод.** Принцип дії заснований на залежності теплопровідності газової суміші від її складу. Для більшості з них справедливе рівняння

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

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

Термокондуктометричні газоаналізатори характеризуються невисокою вибірковістю і використовуються, якщо компонент, який контролюється за теплопровідністю істотно відрізняється від інших, наприклад, для визначення концентрацій  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CO}_2$  в газових сумішах, що містять  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  та інші. Діапазон вимірювання – від одиниць до десятків відсотків за об'ємом.

Зміна складу газової суміші приводить до зміни її теплопровідності і, як наслідок, електричний опір 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;  $R_1$  і  $R_2$  – опір терморезистора у разі пропускання через нього струму  $I$  при теплопровідності газового середовища.

Міра концентрації компонента – електричний струм, який вимірюється вторинним приладом. Термоконтдуктометричні газоаналізатори широко застосовують для контролю процесів у виробництві ( $H_2SO_4$ ,  $NH_3$ ,  $HNO_3$ ).

**Магнітний метод.** Застосовують для визначення  $O_2$ . Принцип дії методу заснований на залежності магнітної сприйнятливості газової суміші від концентрації  $O_2$ , об'ємна магнітна сприйнятливості якого на два порядки більше, ніж у більшості інших газів. Такі газоаналізатори дозволяють вибірково визначати  $O_2$  в складних газових сумішах. Діапазон вимірюваних концентрацій 10 - 100%. Найбільш поширені магнітомеханічні і термомагнітні газоаналізатори.

У магнітомеханічних газоаналізаторах вимірюють сили, що діють в неоднорідному магнітному полі при розміщенні в суміш, яка аналізується, тіла (зазвичай ротор). Сила  $F$ , що виштовхує тіло з магнітного поля, визначається виразом

$$F = (\chi - \chi_\tau) \int_0^V H \cdot \frac{dH}{d\chi} dV, \quad (3)$$

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

Звичайно мірою концентрації компонента служить обертаючий момент, що обраховується за кутом повороту ротора. Покази магнітомеханічного газоаналізатора визначаються магнітними властивостями аналізованої газової суміші і залежать від титри і тиску, оскільки останні впливають на об'ємну сприйнятливості газу.

Дія термомагнітних газоаналізаторів заснована на термомагнітній конвекції газової суміші, що містить  $O_2$ , в неоднорідних магнітному і температурному полях.

**ХІМІЧНІ МЕТОДИ. Термохімічний метод.** Сутність термохімічного методу газового аналізу зводиться до вибіркового поглинання того чи іншого компонента рідким, а іноді і твердим реагентом. В основу методу покладені хімічні реакції, при яких з даної газоподібної речовини і даної абсорбуючої речовини утворюється нова речовина, що практично не існує в газовій фазі. Складові частини газової суміші послідовно поглинаються різними поглиначами; кількість їх визначається по різниці об'ємів до і після абсорбції.

Цим методом визначають вміст наступних компонентів: двоокису вуглецю разом із сірководнем, двоокисом сірки й іншими кислими газами; ненасичені вуглеводні, а також вуглеводні гомологічного ряду бензолу; кисню; оксиду вуглецю; водню; насичених вуглеводнів; азоту разом з аргоном та іншими одноатомними газами. Кожний з цих газів може бути з достатньою точністю визначений при вмісті в досліджуваній газової суміші не менше 0,05–0,1 об'ємних %, що складає близько 0,5 г/м<sup>3</sup>.

Зазначена вище чутливість методу не дозволяє віднести його до високочутливих і використовувати для розв'язання поставленої задачі. Недоліком є також те, що для кожного компонента складної газової системи застосовується особливий реагент, який специфічно діє на даний газ і який практично не діє на інші складові частини газової суміші. При досить складній суміші газів, які утворюються при горінні природного газу, підбір таких реагентів є дуже складною задачею.

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ. Оптико-абсорбційний інфрачервоний метод.** Дія заснована на виборчому поглинанні молекулами газів і пари ПЧ-випромінювання в діапазоні 1-15 мкм. Це випромінювання поглинають всі гази, молекули яких складаються не менше ніж з двох різних атомів. 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 монохроматоров (призми, дифракційної решітки).

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

Випромінювання від джерела послідовно

проходить через світлофільтр і робочу кювету, в яку подається суміш, що аналізується, і потрапляє в спеціальний приймач. Якщо в суміші присутній компонент, який 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

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 діє 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 самим 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. 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.

**Хемілюмінесцентний метод.** У хемілюмінесцентних газоаналізаторах вимірюють інтенсивність люмінесценції, збудженої завдяки хімічній реакції контрольованого компоненту з реагентом в твердій, рідкій або газоподібній фазі. Суміш, яка визначається, і реагент через дроселі поступають в реакційну камеру. Насос забезпечує необхідний тиск в камері. За наявності в суміші компоненту випромінювання, супроводжуюче хемілюмінесцентну реакцію, через світлофільтр подається на катод фотопомножувача, який розташований в безпосередній близькості до реакційної камери. Електричний сигнал з фотопомножувача, пропорційний концентрації контрольованого компоненту, після посилення поступає на вторинний прилад. При вимірюванні слабких світлових потоків, що виникають при малих концентраціях компоненту, фотокатод охолоджують електричними мікрохолодильниками з метою зменшення фоновому струму.

Для вимірювання складу  $\text{NO}_2$  в приладі передбачений конвертер, де  $\text{NO}_2$  перетворюється в  $\text{NO}$ , після чого суміш, яка аналізується, прямує в реакційну камеру. При цьому вихідний сигнал пропорційний сумарному змісту  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ . Якщо ж суміш поступає, минувши конвертер, то по вихідному сигналу знаходять концентрацію тільки  $\text{NO}$ . По різниці цих сигналів судять про вміст  $\text{NO}_2$  в суміші.

Висока вибірковість хемілюмінесцентних газоаналізаторів обумовлена специфічністю вибраної реакції, проте супутні компоненти в суміші можуть змінювати чутливість приладу. Такі газоаналізатори застосовують для визначення  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$  у повітрі в діапазоні 0-1%.

Принцип хемілюмінесцентного методу заснований на фотометруванні світлового потоку, який випромінюється в результаті хімічної взаємодії вимірювального компонента газової суміші з хемілюмінесцентними реагентами. Цей метод має високу чутливість та відрізняється відносною простотою. Він

використовується для аналізу мікродомішок озону  $O_3$ , оксидів азоту  $NO$  і  $NO_2$  та оксиду сірки  $SO_2$  в атмосферному повітрі [9].

Прилади на основі хемілюмінесцентного методу мають високу швидкодію (30–50 с) [13]. Межі виявлення аналізованих компонентів наступні: для  $SO_2$  –  $8,5 \cdot 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>; для  $O_3$  –  $3,1 \cdot 10^{-3}$  мг/м<sup>3</sup>; для  $NO$  і  $NO_2$  –  $1,4 \cdot 10^{-2}$  мг/м<sup>3</sup>.

Тобто цей метод є досить чутливим. Однак головним його недоліком є невисока селективність, оскільки спектри люмінесценції зазвичай являють собою широкі смуги і часто перекриваються. І лише деякі речовини володіють досить характерними спектрами люмінесценції.

**Флуоресцентний метод.** Флуоресцентні газоаналізатори вимірюють інтенсивність флуоресценції (довжина хвилі), що виникає при дії на контрольований компонент УФ - випромінювання. Суміш, що аналізується поступає в детекторну камеру, яка відокремлена від імпульсного джерела УФ - випромінювання і від фотопомножувача світлофільтрами, що пропускають випромінювання з довжинами хвиль відповідними імпульсам. Фотопомножувач, розташований під кутом  $90^\circ$  до джерела випромінювання, реєструє імпульси флуоресценції, амплітуда яких пропорційна концентрації компоненту в камері. Електричний сигнал з фотопомножувача після посилення і обробки поступає на вторинний прилад. Газоаналізатори для визначення  $SO_2$  характеризуються високою чутливістю і вибірковістю. Вони використовуються в автоматичних станціях контролю навколишнього середовища.

**Фотоколориметричний метод.** Ці прилади вимірюють інтенсивність забарвлення продуктів виборчої реакції між компонентом, що визначається, і спеціально підібраним реагентом. Реакцію здійснюють, як правило, в розчині (рідинні газоаналізатори) або на твердому носії у вигляді стрічки, пігулки, порошку (відповідно стрічкові, пігулкові, порошкові газоаналізатори).

Випромінювання від джерела проходить через робочу і порівняльну кювети і поступає на відповідні приймачі випромінювання. Індикаторний розчин протікає з постійною швидкістю через обидві кювети і абсорбер. Назустріч потоку розчину через абсорбер проходить газ, що аналізується. Компонент, який визначається, взаємодіє з реагентом в розчині, викликаючи зміну оптичної густини в робочій кюветі, пропорційне концентрації компоненту. В результаті інтенсивність випромінювання через одну з кювет змінюється, а через іншу – ні.

Різниця (або відношення) сигналів робочого і порівняльного каналів – міра концентрації компоненту в аналізованій суміші.

Подача розчину може бути як безперервною, так і періодичною. При періодичній подачі газ пропускають протягом деякого часу через одну і ту саму порцію розчину, що дозволяє підвищити чутливість визначення. Такі газоаналізатори дають можливість виміряти середню концентрацію компонента за заданий проміжок часу, наприклад, при встановленні середньодобових концентрацій токсичних домішок в повітрі.

**Амперметричний метод.** Дія амперметричних газоаналізаторів заснована на залежності між електричним струмом і кількістю компоненту, який визначається, що прореагував на індикаторному електроді. Якщо контрольований компонент повністю вступає в електрохімічну реакцію, то виконується закон Фарадея

$$I = n \cdot F \cdot Q \cdot C, \quad (4)$$

де  $I$  – струм;  $Q$  – витрата газу;  $C$  – концентрація компоненту;  $F$  – число Фарадея;  $n$  – число електронів, що беруть участь в реакції.

Електрохімічне перетворення даного компоненту газової суміші з 100% -вим виходом по струму (тобто відсутність побічних електродних реакцій) забезпечується вибором індикаторного електроду і його потенціалу. Необхідне постійне значення різниці потенціалів підтримується завдяки тому, що порівняльний і індикаторний електроди виконують з двох різних спеціально підібраних металів, наприклад з  $Zn$ ,  $Au$  і  $Pb$ ,  $Ni$  і  $Cd$  (осередки гальванічного типу). Різницю потенціалів можна стабілізувати і за допомогою електронної системи з використанням третього допоміжного електроду (осередки потенціостатичного типу).

Амперметричні газоаналізатори застосовують для визначення газів, що володіють окислювально - відновлювальними властивостями ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $H_2S$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_3$ ). Перевага амперметричного газоаналізатора - висока чутливість і вибірковість.

**Іонізаційний метод.** Їх дія заснована на залежності електричної провідності іонізованих газів від їх складу. Поява в газі домішок приводить до додаткової дії на процес утворення іонів або на їх рухливість і, отже, рекомбінацію. Виникаюча при цьому зміна провідності пропорційна вмісту домішок.

Всі іонізаційні газоаналізатори містять проточну іонізаційну камеру, на електроди якої

накладають певну різницю потенціалів. Ці прилади широко застосовують для контролю мікродомішок в повітрі, а також як детектори в газових хроматографах. Розглянемо найбільш поширені типи іонізаційні газоаналізатори, що використовуються без попереднього хроматографічного розділення проби.

До радіоізотопних газоаналізаторів, в яких іонізацію газів здійснюють радіоактивним випромінюванням, відносяться прилади на основі перетину іонізації, електроннозахватні і аерозольно-іонізаційні. По-перше, використовують різницю в перетинах іонізації компонентів суміші. Іонізацію здійснюють зазвичай випромінюванням  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ . Ці газоаналізатори не вибіркові, їх застосовують для аналізу сумішей  $\text{H}_2\text{-N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{-CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  - етилен,  $\text{H}_2\text{-CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{-CH}_3\text{SiCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{-BCl}_3$ ; діапазон вимірювання 0,01-100%; час встановлення показань - до 0,1 с.

**Полум'яно-іонізаційний метод.** У полум'яно-іонізаційних газоаналізаторах органічні сполуки, які аналізуються, іонізують у водневому полум'ї. Ефективність іонізації пропорційна числу атомів С, що поступають в полум'я за одиницю часу, але залежить також від наявності в молекулі речовини атомів інших елементів. Пальник служить одним з електродів іонізаційної камери. Другий електрод ("колекторний") - тонкостінний циліндр або кільце. Ці газоаналізатори використовують для визначення органічних речовин в повітрі і технологічних газах ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ). При сумісній присутності ряду органічних компонентів знаходять або їх суму, або концентрацію компонентів із значно більшою ефективністю іонізації. За допомогою полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів контролюють зміну сумарного вмісту вуглеводнів в атмосфері і токсичні домішки в повітрі промислових приміщень, чистоту вихлопних газів автомобілів, витоку газів з трубопроводів і підземних комунікацій. Діапазон вимірюваних концентрацій 0,5-1%. Існує безпосередній взаємозв'язок між ефективністю іонізації органічних газів і пари та ступенем вибухонебезпеки їх сумішей з повітрям. Це дозволяє контролювати вибухові концентрації органічних речовин в промислових приміщеннях, шахтах, тунелях.

**Систематизація методів контролю складу димових газів.** На основі зробленого вище огляду методів контролю складу димових газів наведемо їх систематизацію (рис. 2).

Для оцінення якості та порівняння різних методів та засобів вимірювання (ЗВ) істотне

значення має вибір критерію оцінення їх ефективності. Вибір конкретних критеріїв ефективності залежить від призначення засобу вимірювання та вимог, які до нього висуваються. Відпрацьовані загальні рекомендації, які доцільно враховувати при виборі критеріїв ефективності [11, 12].

Критерій повинен:

- відображати головне призначення засобу контролю;
- бути критичним по відношенню до параметрів, які дозволяють його змінювати;
- володіти конструктивністю, яка дозволяє відносно просто визначити його чисельне значення;
- бути достатньо універсальним, дозволяти порівнювати ефективність систем одного призначення і обрати кращий варіант.

В теорії інформаційно-вимірювальних систем використовуються різні характеристики точності, швидкодії, надійності та вартості, кожні з яких можуть використовуватися як окремі показники якості засобу контролю. Окремі показники характеризують засіб контролю під тим чи іншим кутом зору і не дають достатньо повного уявлення про його ефективність в цілому. Це вказує необхідність використання узагальнених критеріїв ефективності. Найбільш простим і зручним для аналізу і вибору базового методу контролю для розробки засобу вимірювання є узагальнений якісний критерій ефективності (УЯКЕ).

УЯКЕ вказує на досягнення мети (ефекту), яка поставлена перед засобом контролю. Цей критерій можна розуміти як приймаючий тільки два значення: "1" – якщо мета досягнута, "0" – в протилежному випадку. Тоді якісний критерій ефективності буде являти собою суму часткових якісних критеріїв ефективності, що характеризують часткові цілі, поставлені перед засобом контролю

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (5)$$

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

Загальна ефективність буде визначатися із відношення ефективності засобу вимірювання на базі реального методу контролю складу димових газів і засобу вимірювання на базі потенційного методу контролю

$$E_i = \frac{k_i}{k_{opt}}, \quad (6)$$

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

Для досягнення будь-якої окремої мети засіб контролю повинен реалізовувати всі свої потенційні можливості в рамках методу контролю, що ним використовується. Це дозволяє проводити порівняльний аналіз засобів вимірювання на рівні методів контролю, що ним використовується. При цьому не виникає необхідності встановлювати зв'язок між УЯКЕ і

параметрами засобу вимірювання, конкретні значення або інтервал вимірювання яких визначає би чисельне значення УЯКЕ. Порівняльний аналіз розглянутих вище методів контролю і засобів вимірювання складу димових газів на базі (5) - (7) показує, що найбільш перспективним є метод на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу вимірювання (табл. 2).

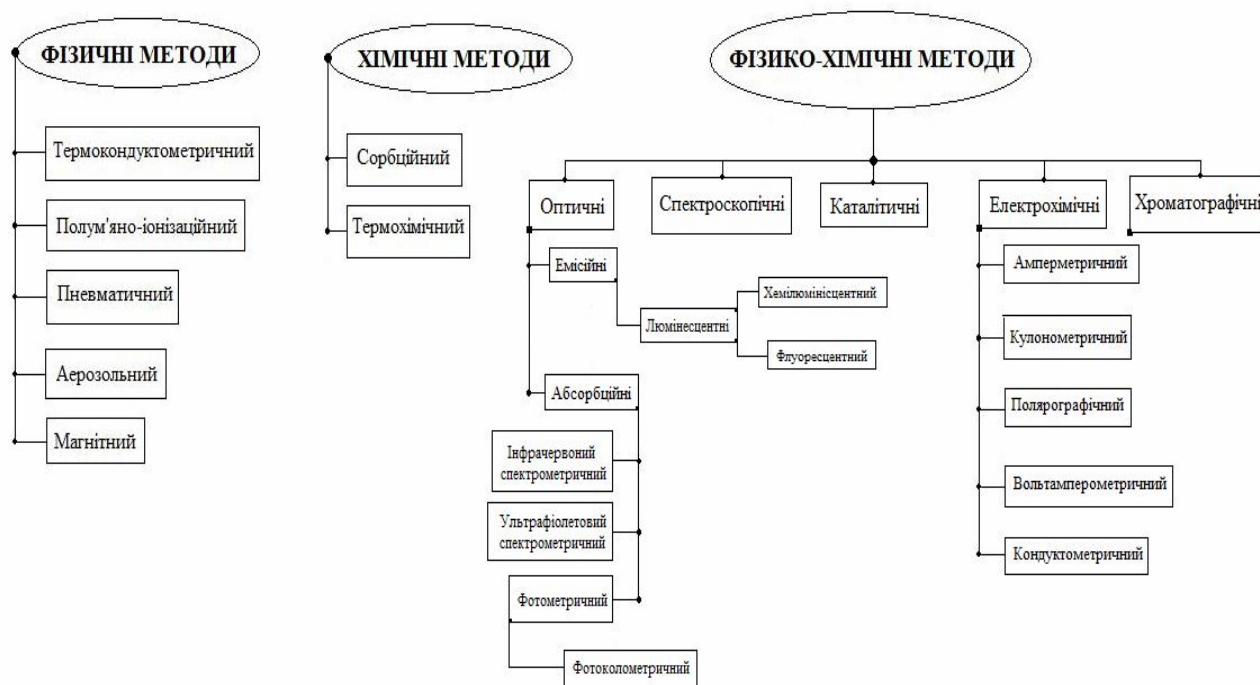


Рисунок 2 - Систематизація методів контролю складу димових газів котельних установок

Таблиця 2 - Порівняння методів для контролю складу димового газу

Метод/ Параметр	Діапазон вимірю- вань	Швидкодія	Надійність	Багато- компонентність	Вибірковість	УЯКЕ
Термокондуктометричний	0	0	1	1	0	0,4
Термохімічний	0	0	1	1	0	0,4
Магнітний	0	0	1	1	0	0,4
Пневматичний	0	0	1	1	0	0,4
Пневноокусичний	0	0	0	0	0	0
Інфрачервоний	1	1	1	1	1	1
Хемілюмінесцентний	1	1	0	1	1	0,8
Флуоресцентний	1	1	0	1	1	0,8
Фотоколометричний	1	1	0	1	0	0,6
Стрічковий	0	0	1	1	0	0,4
Амперметричний	0	0	1	1	0	0,6
Іонізаційний	0	1	0	1	0	0,4
Напівпровідниковий	0	0	1	1	0	0,4
Еталонний	1	1	1	1	1	1

Представимо таблицю 2 у вигляді схематичного графа. Згідно [13] таблицю 2 можна представити матрицею примикань  $AdjMat$  графа  $G = (V, P)$  з числом вершин  $|V| = N$  та записати у вигляді двовимірного масиву розміром  $[N * N]$ . Тоді,  $V$  – метод, вершини,  $P$  – параметр множини зв'язків. У кожному осередку  $[i, j]$  цього масиву записано значення 0 за винятком лише тих випадків, коли з вершини  $V_i$  у вершину  $V_j$  веде ребро, і тоді в комірці записано значення 1. Тобто

$$AdjMat[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{if } V_i V_j \in P \\ 0, & \text{if } V_i V_j \notin P \end{cases} \quad (7)$$

Представимо таблицю 2 у вигляді списку примикань графа в просторі відносин [14, 15].

Список примикань  $AdjList$  графа  $G = (V, P)$  з числом вершин  $|V| = N$  записується у вигляді одновимірного масиву довжини  $N$ , кожен елемент якого являє собою посилання на список. Такий список приписаний кожній вершині (методу) графа, і він містить по одному елементу на кожну вершину графа, сусідню з даною (рис. 3).

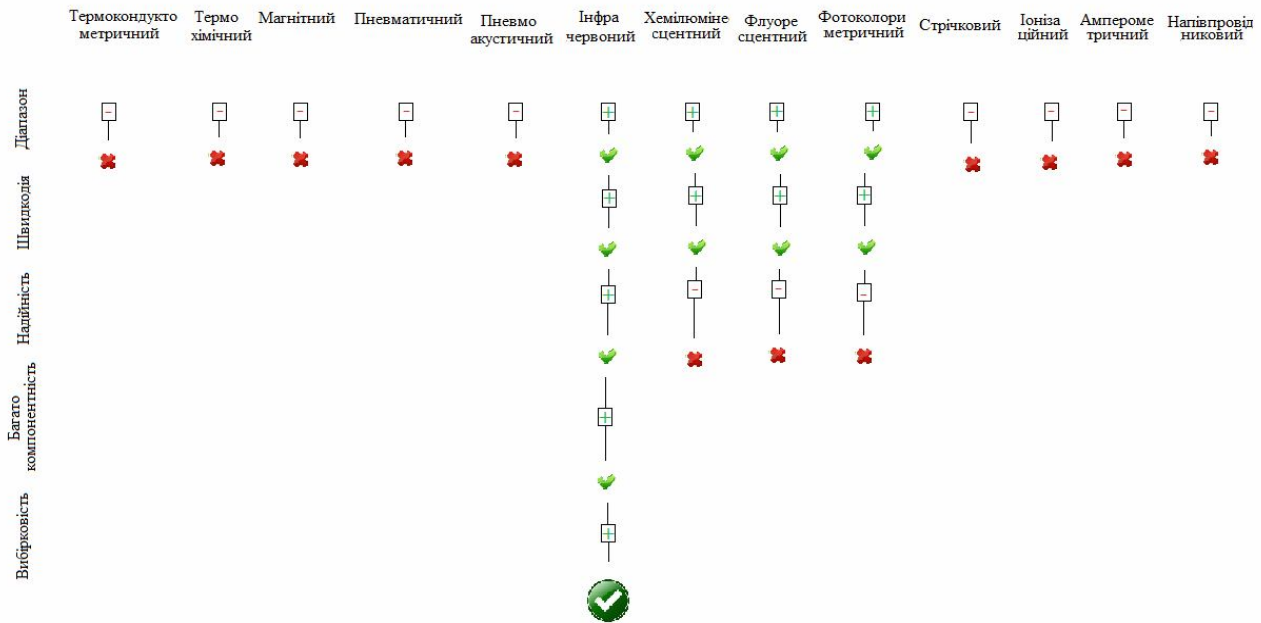


Рисунок 3 - Порівняння методів для контролю складу димового газу

З рисунку 3 чітко видно, що лише оптико-абсорбційний інфрачервоний метод задовольняє жорстким вимогам, висунутим при постановці мети роботи.

### Висновок

У статті зроблено аналіз методів визначення концентрації газових сумішей. 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. А низький поріг чутливості, тобто можливість визначати малі концентрації газів, характерні лише для електрохімічних та оптичних методів газового аналізу. Здійснений

огляд показав, що найдоцільнішим є використання оптичних методів, серед яких для розв'язання поставлених задач найкращим є метод абсорбційної спектроскопії.

Тому важливою метою подальшої роботи є вдосконалення оптимального методу контролю складу газів та його уніфікація орієнтовно особливостей об'єкта контролю.

### Список використаних джерел

1. Антропов Д. Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Казань: 2007. – 143 с.



2. Парахин Н. Ф. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом / Н.Ф. Парахин, А.К. Алексеева // Энергосбережение. – 2007. – № 16. – С. 26-28.
3. 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. – Р. 189.
4. Козубовський В. Р. Оптичні прилади газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря (огляд) / В. Р. Козубовський // Метрологія та прилади. – 2010. – № 2. – С. 62-70.
5. Франко Р. Т. Газоаналитические приборы и системы / Р. Т. Франко, Б. Г. Кадук, А. А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 1983. – 358 с.
6. Соколов В. А. Методы анализа газов / В. А. Соколов – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 340с.
7. Методические указания к лабораторным работам по разделу “Оптико-электронные газоанализаторы” курса “Экологический мониторинг” / М. А. Кустикова, М. Н. Мешалкина, В. Л. Мусяков, А. Н. Тимофеев. – С.-Пб.: 2003. – С. 73-89.
8. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей / Я. Ваня. – М.: Энергия, 1970. – 552 с.
9. Еремина Б. Г. Газовый анализ / Б. Г. Еремина. – Л.: Гос. науч.-техн. из-во хим. литературы, 1955. – 380 с.
10. Примаков А. В. Методы и средства контроля загрязнения атмосферы / А. В. Примаков, А. Н. Щербань. – К.: Наук. думка, 1980. – 296 с.
11. Кучерук В. Ю. Аналіз існуючих засобів вимірювання механічних характеристик електричних машин / В. Ю. Кучерук // Вимірювальна техніка та метрологія. - Львів, 1999. - № 54. - С. 125-138.
12. Моисеев В.С. Системное проектирование преобразователей информации – Ленинград, Машиностроение. Ленинградское отделение, 1982. – 254 с.
13. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Алгоритмы: построение и анализ / Под ред. И. В. Красикова. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1296 с. — ISBN 5-8459-0857-4
14. Баркалов С. А., Бурков В. Н., Гилязов Н. М. Методы агрегирования в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 1999. – 55 с.
15. Новиков Д. А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. – 102 с.

Надійшла до редакції 08.05.2013

**Рецензент:** д.т.н. Біскало О. В., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**В. Ю. Кучерук, д.т.н., І. А. Дудатьєв**

## ОБЗОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

*В статье сделан анализ методов определения концентрации газовых смесей. Методы были сравнены между собой по определенным критериям. Определен оптимальный метод для контроля состава дымовых газов, который был коррелирован к поставленной задаче.*

**Ключевые слова:** контроль, состав дымовых газов котельных установок, метод, классификация, обобщенный критерий качества, матричный граф.

**V. Yu. Kutcheruk, DSc, I. A. Dudatiev**

## REVIEW METHODS OF CONTROL OF BOILER FLUE GASES

*The article presents an analysis of methods for determining the concentration of gas mixtures. The methods were compared with each other according to certain criteria. The optimum method for monitoring of flue gas, which was correlated to the task*

**Keywords:** control the composition of flue gas boilers, method, classification, general quality criterion, the matrix graph.