

26. **Петраков А.А.** Практические методы анализа предельных состояний оснований и фундаментов / **А.А.Петраков, Н.А. Петракова, Н.Г. Лобачева** // Сучасне промислове та цивільне будівництво – Донецьк, 2009. – № 1. – Том 5. – С. 35-42.
27. **Нгуен К.Х.** Методика выбора оптимальных фундаментов высотных зданий в условиях г. Хошимина. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. –СПб.: СПбГАСУ, 2008. – 204 с.
28. **Тімченко Р.О.** Проектування і розрахунок урівноважуючих плитних фундаментів. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей. //Р.О. Тімченко. – Кривий Ріг, 2004. – 82 с.
29. **Барвашов В.А.** Чувствительность системы «Основание-сооружение». /В.А. Барвашов// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – №3. – С. 10-14.
30. **Кривошеев П.І.** «Науково-технічні проблеми координації дій щодо захисту будівель, споруд і територій зі складними інженерно-геологічними умовами»./ П.І. Кривошеев // Будівництво України. – 2001. – №6. – С. 16-19.

Рукопись поступила в редакцию 14.03.14

УДК 621.181.124

І.І. ЄФІМЕНКО, студент, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЛОАГРЕГАТІВ

Розглянуто методи вимірювання газів а також вибір методів, придатних для створення автоматичних газоаналізаторів вмісту шкідливих домішок у димових газах котлоагрегатів для забезпечення оптимальних виробничо-економічних, технологічних і технічних параметрів роботи котла та покращення якості димових газів.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Зниження забруднення довкілля токсичними продуктами згоряння органічних палив є однією з важливих проблем розвитку теплоенергетики. У цей час діють досить тверді нормативи, що регламентують викиди в атмосферу. Переважна більшість діючих котлів мають значно більш високі рівні викидів NO_x , ніж це регламентується. До теперішнього часу розроблена велика кількість методів зниження викидів оксидів азоту як на стадії спалювання палива, так і очищення газів на стадії охолодження продуктів згоряння. Останні є високоефективними методами, що дозволяють забезпечити задані рівні викидів оксидів азоту, і широко застосовуються в технологічно розвинених країнах.

Слід зазначити, що при впровадженні даних технологій може спостерігатися не тільки зниження ККД котельної установки, але й складності з регулюванням технологічних процесів. Останнє часто обумовлене не тільки ускладненням схеми регулювання, але й поганим станом контрольно-вимірювальних приладів, установлених на котлі.

Зростання промислового виробництва й прискорене введення в роботу електрогенеруючих потужностей, що планується в найближчі роки, потребує скоротити обсяги викидів від уже встановленого устаткування. Особливо актуальною ця проблема стане, якщо все-таки почне відбуватися заміна природного газу твердим паливом і мазутом.

Аналіз досліджень та публікацій. Детальний аналіз методів вимірювання газів і газоаналізаторів дано в літературних джерелах [1-5]. У роботах таких вітчизняних науковців, як В.А. Павленко, А.Н. Щербань, Н.И. Фурман, В.П. Тхоржевський, Л. Ваня, Ю.В. Щелоков, В.М. Шкедов, Е.Ф. Мінікаєв, В.И. Романенко, В.И. Голинько розглянуто характерні властивості газів, методи їх аналізу та особливості розробки газоаналізаторів.

Характерні властивості кисню і оксиду вуглецю, які теоретично можна використовувати для створення автоматичних газоаналізаторів, у порівнянні з іншими компонентами димових газів наведені в табл. 1 [1-5]. Вибір методу аналізу для газоаналізатора полягає у знаходженні найбільш специфічної фізико-хімічної властивості, що відрізняє вимірюваний компонент від інших в газовій суміші.

Відомо, що методи аналізу газів можна розділити на фізичні та фізико-хімічні. При використанні фізичних методів вимірюють певну властивість аналізованого компонента, а хімічний склад середовища не змінюється. Принципи дії фізико-хімічних методів полягають у вимірі фізичних ефектів, супроводжуваних хімічними реакціями. ВУ роботах [2,3] методи аналізу газів розбиті на наступні групи: механічні, акустичні, теплові, магнітні, електричні, оптичні, іонізаційні і радіоактивні з додатковим розбиттям на підгрупи. Вимірюваними параметрами при визначенні вмісту кисню можуть бути об'ємна магнітна сприйнятливості, тепловий ефект згоряння пального при лімітуючому факторі вмісту кисню,

струм в гальванічному ланцюжку, при визначенні вмісту оксиду вуглецю - абсорбція інфрачервоного випромінювання, тепловий ефект згоряння [3].

Постановка завдання. Достовірність інформації про зміст вимірюваного компонента повинна перевірятися безперервно і визначатися якістю її вимірювання, чутливістю, швидкістю реагування на відхилення, похибкою, а також неабиякою мірою підготовленості і якістю обслуговування працівників, які експлуатують газоаналізатори. Вибір методу аналізу газу залежить від умов експлуатації і конкретних завдань, що вирішуються газоаналізатором.

При цьому обраний метод повинен дозволяти вирішувати завдання вимірювання вмісту потрібного компонента з багатокомпонентної суміші, складові якої відрізняються за фізичними і хімічними властивостями. Автоматичний газоаналізатор повинен здійснювати надійні вимірювання протягом тривалого часу у важких умовах експлуатації (висока температура, вологість, агресивне середовище, вібрації і т.д.) при відносно невисокій вартості капітальних витрат і одержуваної інформації.

Метою даного аналізу є вибір методів, придатних для створення автоматичних газоаналізаторів вмісту кисню та оксиду вуглецю. Зазначений вибір слід здійснювати з урахуванням впливу умов експлуатації первинних перетворювачів, стабільності і точності показань про визначеному компоненті, отримання безперервної інформації у формі, придатній для використання в АСУ ТП, часу для обслуговування персоналом цеху КВП, капітальних витрат і вартості одержуваної інформації.

Викладення матеріалу та результати. Основним методом при розробці автоматичних газоаналізаторів кисню тривалий час був термомагнітний, заснований на залежності магнітної сприйнятливості аналізованої суміші від вмісту кисню при одночасній дії магнітного та температурного полів [1]. Кисень, що має велику магнітну сприйнятливості (див. табл. 1) втягується в магнітне поле первинного перетворювача, де нагрівається. При цьому аналізований парамагнітний газ стає діамагнітним і виштовхується з магнітного поля. Мірою об'ємного вмісту кисню є так званий «магнітний вітер». Похибка вимірювання газоаналізаторів, заснованих на цьому методі, залежить від ряду факторів: складу, тиску, температури, теплопровідності, теплоємності, щільності й в'язкості аналізованого газу, що визначають кількість тепла, що відводиться від платинових нагрівачів - термометрів опору.

Похибка вимірювання термомагнітних газоаналізаторів при зміні температури на $\pm 10^\circ \text{C}$ становить $\pm 18,0\%$, вимірювання атмосферного тиску на $\pm 2,0 \text{ кПа}$ викликає похибку близько $\pm 2,0\%$. Крім того, термомагнітні газоаналізатори кисню вельми складні, громіздкі, час прогріву перед запуском у роботу досягає чотирьох годин, вони мають низьку чутливість, у ряді конструкцій показання залежать від кута нахилу.

У переносних газоаналізаторах кисню досить широке застосування знаходить електрохімічний метод, особливо для вимірювання малих концентрацій. Чутливі елементи - гальванічні осередки для різних газів розрізняються конструктивно, а також відрізняються матеріалом електродів і складом електроліту; але всі вони володіють рядом серйозних недоліків: низькою стабільністю показань у часі, пов'язаною зі зміною складу електроліту, старінням мембрани, пасивацією електродів, залежністю показань від температури і тиску. Цей метод не знайшов застосування в стаціонарній апаратурі газового аналізу.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості повітря і компонентів димових газів котлоагрегатів

Компонент	Молекулярна вага	Щільність, ρ , кг/м ³	Швидкість звука, м/с при 0°C	Відношення теплопровідностей газів до повітря	Відносна магнітна сприйнятливості	Теплота окислення, Дж/кмоль	Коефіцієнт дифузії газів в повітрі, см ² /с при 0°C
Повітря	28,96	1,29	330	1	+0,21	-	0,171
Кисень	32,0	1,43	316	1,013	+1,0	-	0,178
Діоксид вуглецю	44,0	1,98	259	0,605	-0,0057	-	0,138
Водяний пар	18,0		401	0,73	-0,004	-	0,251
Азот	28,0	1,25	337	0,997	-0,004	-	0,170
Оксид вуглецю	28,0	0,97	338	0,96	-0,0035	283,106	0,174

У ВАТ «Український науково-дослідний інститут аналітичного приладобудування» (м. Київ) та НДІ автоматики в чорній металургії (НДІАчермет, м. Дніпропетровськ) виконано розроб-

ки для контролю й вимірювання вмісту кисню в димових газах котлоагрегату, а також розроблено газоаналізатори з твердо-електролітичним високотемпературним електрохімічним перетворювачем [5]. Твердий електроліт (діоксид цирконію із стабілізуючою добавкою оксиду ітрію чи інших рідкоземельних елементів) має кисневі вакансії і забезпечує кисневу провідність.

Відомо, що термокatalітичні аналізатори діляться на дві групи. У першій групі реакція окислення відбувається на насипному катализаторі, а тепловий ефект вимірюється термометром опору або термопарами (зазвичай цей метод застосовується для вимірювання малих концентрацій). У другій групі газоаналізаторів каталітичне окислення відбувається на платинових нитках або на окисних катализаторах, активованих платиною та паладієм.

Термокatalітичні газоаналізатори мають істотні недоліки, якими є обмежений термін служби елементів первинного перетворювача і необхідність застосування атестованих газових сумішей для їх повірки, неможливість установки первинних перетворювачів безпосередньо в потік відхідних газів.

Газоаналізатори, засновані на термокatalітичних методах, завдяки зазначеним вище пріоритетам, знаходять застосування для вимірювання оксиду вуглецю в повітрі, димових газах котлоагрегатів, вихлопних газах автомобілів.

Для вимірювання оксиду вуглецю широке застосування знаходять стаціонарні газоаналізатори, засновані на оптико-абсорбційному методі аналізу. Усі гази, за винятком одноатомних He, Ne, Ar і т.ін., а також O_2, N_2, H_2 і Cl_2 , поглинають інфрачервоні промені (ІЧ промені), але різної довжини хвилі [2-4]. Чим більше концентрація вимірюваного компонента в робочому каналі, тим більше зміни тиску в проміні приймальних циліндрах.

Оптико-абсорбційні газоаналізатори мають загальний недолік - це дрейф «нуля», складність оптичних схем і оптико-абсорбційного детектора, значна вартість, а також необхідність у високій кваліфікації обслуговуючого персоналу. Цей метод аналізу є перспективним для аналізу оксиду вуглецю, однак вимагає доопрацювання в напрямку усунення зазначених вище недоліків.

У портативних газоаналізаторах знаходить застосування електрохімічний метод аналізу. Достоїнствами електрохімічних перетворювачів є висока чутливість і вибірковість, мале енергоспоживання і габарити, лінійність характеристики. Через низьку тимчасову стабільність, зумовленої пасивацією електродів гальванічної комірки і зміною складу електроліту, впливу температури, тиску, вмісту не вимірювальних компонентів цей метод в стаціонарних газоаналізаторах застосування практично не знайшов.

В Україні останні роки для підвищення ефективності роботи котлоагрегатів, особливо багатопаливних, в яких одночасно в різних співвідношеннях спалюються різні види газоподібного палива (природний, коксовий, доменний газ і інше) почали впроваджуватися автоматичні газоаналізатори для контролю складу димових газів і в першу чергу вмісту кисню. Створення систем контролю та оперативного управління режимом роботи котлоагрегатів дозволить не допустити надлишкового виносу тепла. Крім того, при недоліку подачі повітря в димових газах різко збільшується вміст токсичних газів (оксидів вуглецю, оксидів сірки), що погіршує екологічну обстановку регіону.

Бурхливий розвиток електроніки і мікропроцесорної техніки сприяє прогресу у створенні автоматичних газоаналізаторів, що відповідають сучасним вимогам.

Розглянемо на газоаналізатори, що знаходять застосування для аналізу димових газів котлоагрегатів в Україні. Достатньо повно типи, експлуатаційні характеристики, місця використання та аналіз якостей закордонних та вітчизняних розробників газоаналізаторів розглянуто в роботі [8].

На котлоагрегаті ТЕЦ ВАТ «Дніпроазот» (м. Дніпродзержинськ) більше трьох років працює газоаналізатор фірми АМЕТЕК Тетмох серії 2000 / WDG НРІС (США) призначений для вимірювання вмісту кисню і горючих газів, у тому числі в димових газах котлоагрегатів, має два діапазони вимірювання по кисню (0-10,0 об% і 0-25,0 об%) і один діапазон вимірювання горючих (CO, H_2) газів (0-2000 ppm.). Основна похибка вимірювання $\pm 2\%$ від вимірюваної величини, але не менше $\pm 0,1$ об% по кисню і $\pm 5,0\%$ від вимірюваної величини за паливним компонентом.

Максимальна споживана потужність 1263 Вт (700 Вт - первинні перетворювачі, 75 Вт - вимірювальний перетворювач), тобто за рік газоаналізатор споживає більше 7000 кВт год електроенергії.

Ринкова вартість газоаналізатора вельми висока і становить 15000 доларів США, розповсюдження в Україні не отримав [6].

Серед вітчизняних розробників засобів контролю складу димових газів, які внесли найбільш значний внесок у розвиток аналітичного приладобудування слід виділити ВАТ «Український науково-дослідний інститут аналітичного приладобудування» (АТ «Украналіт») і ВАТ НПО НПАчрмет [8].

АТ «Украналіт» розроблений автоматичний аналізатор 151EX02 [28].

Аналізатор складається з первинного перетворювача (ППП), проміжного перетворювача (ПП) і блоку живлення (БП). ППП - твердо електродний датчик у вигляді заглибного зонда дозволяє установку безпосередньо в димовій трубі.

Діапазон вимірювання 0,25-10,0 об% O₂, межа допустимої основної приведенної похибки ±2,5%. Споживана потужність - не більше 250 Вт Маса - не більше 30 кг.

Проте досвід експлуатації газоаналізаторів на котлоагрегатах ТЕЦ ВАТ Запорізький алюмінієвий комбінат показав, що первинні перетворювачі через кілька тижнів роботи отруєвалися димовими газами, втрачали чутливість і після декількох ремонтів були зняті з експлуатації.

Крім того, розташування перетворювача ППП і блоків ПП і БП на значній відстані викликає серйозні незручності при повірці за атестованими газовим сумішам [8].

Аналогічна розробка виконана в НПАчрмет. Газоаналізатор (система контролю вмісту кисню) СКСК має діапазон вимірювання 1,0-10,0 об.% O₂. Межа допустимого значення основної абсолютної похибки вимірювання ±0,5 об. % O₂.

Споживана потужність - 220 Вт Значна основна похибка газоаналізатора у порівнянні з аналогічними зарубіжними, а також додаткові похибки, про які зазначено в [29], складність схемних рішень не дозволяють зупинитися на цьому газоаналізаторі [8].

Висновки та напрямок подальших досліджень. У котлоагрегатах можуть спалюватися в різних співвідношеннях різноманітні види газового палива (природний, доменний, коксовий та інші гази).

Для ефективної роботи котлоагрегатів необхідно так управляти процесом спалювання палива, щоб не допускати надмірного виносу тепла і горючих компонентів з димовими газами, необхідно забезпечити надійне вимірювання вмісту кисню і газів недопалу в димових газах.

Вимірювання вмісту газів недопалу в димових газах в першу чергу необхідно в котлоагрегатах, що спалюють одночасно різні види газового палива.

Основними горючими компонентами газового недопалу є оксид вуглецю, метан, водень і інші.

До автоматичних газоаналізаторів слід пред'являти й інші специфічні вимоги: висока надійність, простота і безпека експлуатації, економічність, відсутність шкідливих виділень, що погіршують санітарно-гігієнічні умови праці працівників ТЕЦ.

Список літератури

1. Павленко В.А. Газоанализаторы. - М.-Л.: Машиностроение, 1965. - 296с.
2. Щербань А.Н., Фурман Н.И. Методы и средства контроля рудничного газа. - К: Наукова думка, 1965. - 411с.
3. Тхоржевский В.П. Автоматический анализ газов и жидкостей на химических предприятиях. - М.: Химия, 1976. - 272 с.
4. Ваня Л. Анализаторы газов и жидкостей. - М: Энергия.1970. - 552с.
5. Анализатор кислорода LU2: Информация об изделии компании SICK AG (АО «ЗИК»). - Германия, г. Ройте, 1997. - 2 с.
6. Информация об изделии фирмы АМЕТЕК. США, г. Питсбург, 1999. - 97 с.
7. Газоанализаторы промышленные автоматические. Общие технические условия: ГОСТ 13320-81. - М.: Госстандарт, 1989. - 33 с.
8. Романенко В.И. Автоматизация процесса сжигания газового топлива в котлоагрегатах ТЭЦ промышленных предприятий: Дисс...канд. техн. наук.

Рукопис подано до редакції 23.03.13