

В. Ю. Кучерук, д. т. н., проф.; І. А. Дудатьєв

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЕЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ З КОНТРОЛЕМ СКЛАДУ ДИМОВИХ ГАЗІВ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО МЕТОДУ

У роботі на основі системи керування котельною установкою розроблено функціональну схему підсистеми контролю складу димових газів за допомогою оптико-абсорбційного інфрачервоного методу з компенсацією впливу атмосферного пилу та надлишкової вологості. Система автоматичного керування забезпечує високу ресурсоенергоефективність роботи котельної установки.

Ключові слова: котельна установка, оптико-абсорбційний інфрачервоний метод, система контролю, димовий газ, частотний регулятор, вимірювальний перетворювач, контролер, алгоритм.

Вступ

Промисловість – основний споживач палива, більша частина якого спалюється в котельних установках (КУ). Проблема раціонального використання енергоресурсів в Україні пов'язана з надійною та економічною роботою цих установок. ККД котлів найчастіше не досягає максимально можливих значень. Основні причини – низька якість технічного обслуговування та ремонту, повільне впровадження організаційно-технічних заходів, що забезпечують зниження витрат палива на вироблення теплоенергії.

Ефективність роботи котельних установок безпосередньо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Відсутність контрольно-вимірювальної апаратури, такої як газоаналізатор, може спричинити неефективну роботу установки, зокрема неякісне згорання палива. Визначення складу продуктів спалювання дозволяє оцінити: ступінь завершеності процесу згорання палива (витрат від хімічної неповноти горіння), умови згорання палива (коефіцієнт надлишку повітря), характер згорання палива в окремих зонах котла (наявність локальних низькотемпературних зон), динаміку процесу горіння, дотримання гранично допустимих норм концентрацій викинутих в атмосферу шкідливих речовин [1].

Метою роботи є підвищення достовірності контролю складу димових газів котельних установок для досягнення оптимального режиму горіння в топці котлоагрегата.

Основна частина

У наявних системах автоматичного керування котельною установкою регулювання співвідношення «паливо – повітря» здійснюється за такими параметрами: тиск (витрати) палива та тиск повітря на пальниках без коригування за складом відхідних газів. Кількість повітря визначається значенням розрідження в топці котла. Регулювання цих параметрів здійснюється за допомогою засувки, тобто збільшенням аеродинамічного опору газоповітряного тракту під час роботи двигунів вентилятора та димососа на повну потужність. Це призводить до перевитрат електроенергії.

Використання частотних регуляторів (ЧР) дозволяє вирішувати завдання узгодження режимних параметрів й енергоспоживання КУ зі змінюваним характером навантаження котлів. Актуальність проблеми економії енергії призвела до того, що ЧР відіграє важливу роль в енергетичному балансі, а динаміка співвідношення вартості ЧР і тарифів на електроенергію розширюють економічну межу їхнього застосування. Використання ЧР для КУ дозволяє дотримати потрібного співвідношення «паливо – повітря» з високою точністю й автоматизувати розпалювання горілок, скоротивши час до мінімально необхідного, при цьому зменшуються також витрати газу та викиди двоокису вуглецю в атмосферу.

Для підтримки оптимального співвідношення «паливо – повітря», з одного боку, потрібно залежно від кількості пального, що надходить, подати необхідну кількість повітря в топку котла, а з іншого боку – із заданою інтенсивністю видаляти з неї продукти згорання [4]. Таке регулювання з високою точністю здійснюється за допомогою системи автоматичного керування КУ (з контролем вмісту кисню у вихідних газах). Функціональна схема системи регулювання приводами змінної швидкості наведена на рис. 1.

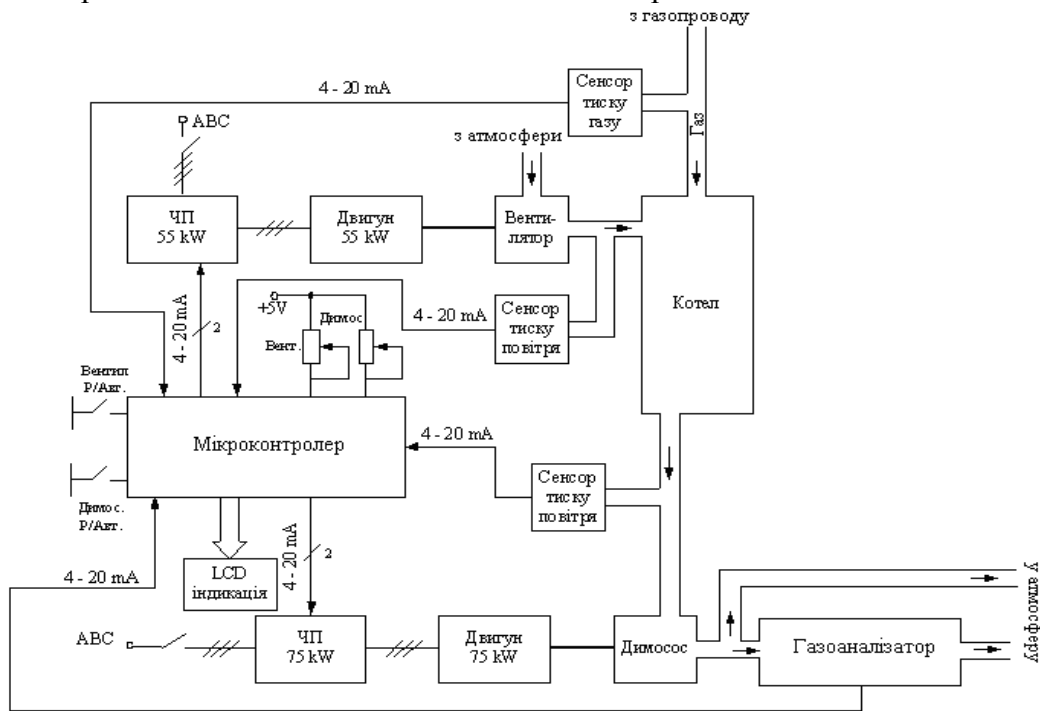


Рис. 1. Функціональна схема системи управління КУ з контролем складу димових газів

Контроль продуктів спалювання котельних установок пропонуємо вести за допомогою газоаналітичної системи на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного (ОАІЧ) методу. Фізичний принцип дії такої системи полягає в тому, що вимірюється поглинання оптичного випромінювання газу, який досліджується на тій ділянці спектру, де він має інтенсивну смугу поглинання, що не співпадає зі смугами поглинання інших газів, які можуть знаходитись у газовій суміші, що аналізується.

Фізичне представлення поглинання полягає в тому, що під час проходження оптичного випромінювання через газову кювету, молекули газу, поглинаючи кванти випромінювання, відповідні визначеним частотам, збуджуються, тобто збільшують запас своєї енергії. Якщо поглинається ультрафіолетове й 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 довгохвильовій області спектру оптичного випромінювання (від декількох мікрометрів до сотень мікрометрів), то збуджуються коливально-обертальні і, відповідно, чисто обертальні ступені свободи. У результаті цього процесу спектри поглинання молекул складаються з ряду смуг, що мають складну структуру. Залежно від природи димового газу інфрачервоні спектри поглинання молекул газової суміші мають індивідуальний характер, що в подальшому дозволяє ідентифікувати конкретний газ. На рис. 2 показано інфрачервоний (ІЧ) спектр поглинання димових газів котельних установок (добре видно смуги коливально-обертального спектру поглинання димового газу) [2].

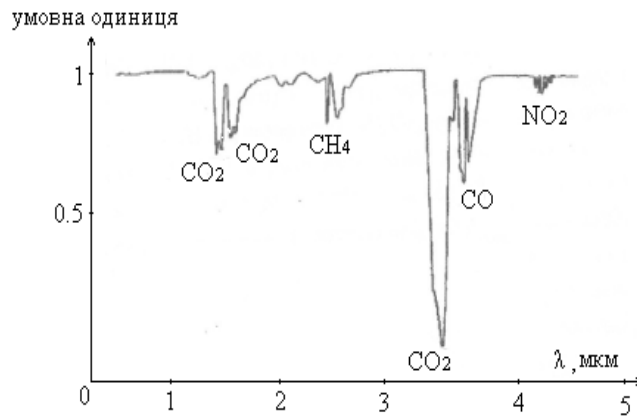


Рис. 2. Коливально-обертальні смуги поглинання димового газу ІЧ випромінюванням

Як видно з рис. 2, у ІЧ діапазоні спектру є специфічні особливості реєстрації поглинання газу, який проаналізовано завдяки наявності коливально-обертальних смуг поглинання. Величина потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету з газом, який аналізується, може бути визначена за законом Ламберта – Бера:

$$I_{вих} = a \cdot [1 - \exp(-b \cdot \varphi)], \quad (1)$$

де $I_{вих}$ – вихідний електричний сигнал (струм), a, b – постійні, φ – масова концентрація компонента.

Вигляд залежності, що відображає функцію (1) для постійної довжини оптичного тракту ($l = const$), представлений на рис. 3.

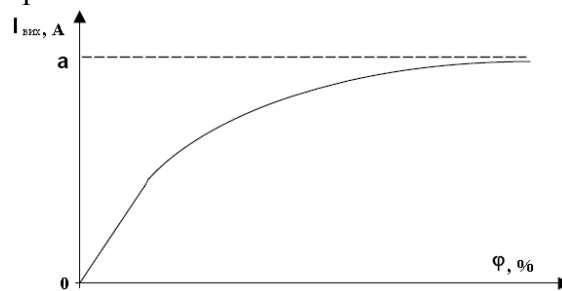


Рис. 3. Графічне представлення функції (1)

Інфрачервону радіацію поглинають усі гази, за винятком O_2 , N_2 , H_2O , Cl_2 й одноатомних газів. Спектр поглинання одноатомних газів або парів металів відрізняється від інфрачервоних спектрів поглинання молекул своєю відносно простотою і складається не зі смуг, а з окремих ліній, у багатьох випадках розташованих тільки в ультрафіолетовій області спектру.

Перед застосуванням ОАІЧ методу пропонуємо стабілізувати газ за такими параметрами: температура, вологість, тиск, запиленість (очищення проби газу від атмосферного пилу). Якщо застосовувати ОАІЧ метод без стабілізації цих параметрів, то це призведе до того, що ідентифікація та визначення концентрації компонентів газової суміші буде неточною. У структурі димового газу можна виділити такі основні компоненти: кисень, діоксид вуглецю, оксид вуглецю, діоксид азоту, вода (пара) та атмосферний пил (після стабілізації проби газу вмістом води й атмосферного пилу можна знехтувати). Загальний вміст цих газів та компонентів становить 99,9%. Решта компонентів димових газів є на рівні мікроконцентрацій і практично не впливають на визначення втрат тепла. Тобто можна скористатися виразом (до стабілізації проби газу):

$$\mu(O_2) + \mu(NO_2) + \mu(CO_2) + \mu(CO) + \mu(H_2O) + \mu(\text{сажа}) = 100\% \quad (2)$$

де μ_x – масова концентрація газової суміші у відсотках.

Оптимізацію процесу спалювання пропонуємо вести за компонентом – O_2 . Це дає змогу максимально точно коригувати співвідношення “паливо – повітря” на вході об’єкта [5]. Але

фізично кисень не поглинається ІЧ випромінюванням (це видно з рис. 2, де ліній поглинання кисню взагалі немає), тому пропонуємо визначати CO , CO_2 , NO_2 практично, а O_2 – аналітично (після стабілізації проби):

$$\mu(O_2) = 100\% - [\mu(NO_2) + \mu(CO_2) + \mu(CO)]. \quad (3)$$

Структуру складу димових газів котельних установок [3] представлено на рис. 4 у вигляді залежності коефіцієнта надлишку повітря (КНП) від концентрації димових газів котельних установок.

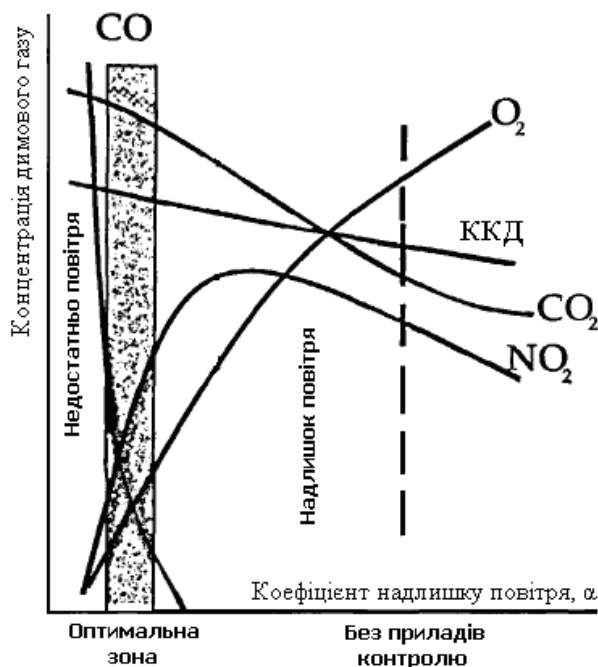


Рис. 4. Структура складу димових газів котельних установок

Оптимальна зона – це така концентрація компонентів, за якої забезпечується спалювання палива з низьким КНП. У роботі [9] 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. За умови зниження оптимального КНП збільшується концентрація оксидів вуглецю і, як наслідок, збільшуються втрати з хімічною неповнотою згорання. Основним параметром, що виявляє коригуючу дію на величину надлишку повітря, є вміст залишкового кисню в димових газах. Недостатня кількість повітря викликає неповне згорання продуктів у топці котла – і, як наслідок, призводить до перевитрат палива. Надлишок повітря також призводить до перевитрат палива на нагрів зайвого повітря у складі відхідних димових газів [4].

Розробка функціональної схеми системи. Газоаналітичну систему (ГС) побудуємо за принципом прямої дії – це система, в якій усі перетворення мають один напрямок: від входу до виходу. Систему побудуємо за структурною схемою, що має такі функціональні вузли: блок стабілізації вхідних параметрів, вимірювальний перетворювач, пристрій обробки інформації, пристрій відображення інформації.

Блок стабілізації вхідних параметрів (БСВП). Проба, яку забирають для аналізу газової суміші безпосередньо з димової труби, має велику “розкиданість” параметрів, а саме: температури, вологості, тиску, запиленості. Якщо подавати димовий газ з нестабілізованими параметрами безпосередньо на вимірювальний перетворювач, це призведе до отримання на виході інформації про склад димового газу з великою похибкою. Тому в структуру ГС пропонується ввести БСВП. БСВП повинен відповідати таким вимогам: висока швидкодія, ефективно та надійне очищення від механічних домішок, зменшення до необхідного значення вологості суміші, стабілізація температури й тиску.

На наступному етапі проба газу проходить через первинний та вторинний вимірювальні

перетворювачі (ПВП та ВВП). Принцип роботи ПВП і ВВП полягає в наступному: ІЧ випромінювання від джерела надходить у дві, розташовані поряд і паралельні одна одній, кювети – робочу і порівняльну. Через робочу кювету прокачується газ, який аналізується, а порівняльна кювета містить повітря, вільне від цього газу. Таким чином утворюється канал порівняння. Далі пучки оптичного випромінювання піддаються модуляції у протифазі один до одного за допомогою обтюратора, що являє собою диск з прорізами, який обертається. Потім оптичне випромінювання проходить через інтерференційний світлофільтр, що має пропускну смугу, в яку потрапляє лінія поглинання газу, що аналізується. Далі обидва модульовані пучки за допомогою концентратора прямують на піроелектричний фотоприймач. У фотоприймачі здійснюється перетворення потоку випромінювання в пропорційний йому за величиною змінний електричний сигнал і відбувається його попереднє посилення. Потім сигнал підсилюється до уніфікованого значення в основному підсилювачі і надходить у пристрій обробки інформації.

Завдяки розвитку промислових контролерів завдання обробки вимірювальної інформації логічно проводити за їхньою допомогою, забезпечуючи спряження вихідного сигналу ВП з входом контролера. Для реалізації системи використовуємо програмований логічний контролер фірми VIPA серії System 200V. За допомогою System 200V можна створювати нові високопродуктивні системи керування та контролю, що відповідають сучасним вимогам [6].

Вимірювання відбувається в безперервному режимі. Функціональну схему системи контролю складу димового газу котельних установок представлено на рис. 5 (схема показана узагальнено у вигляді одноканальної, але практично система є багатоканальною для багатоконпонентного аналізу газової суміші).

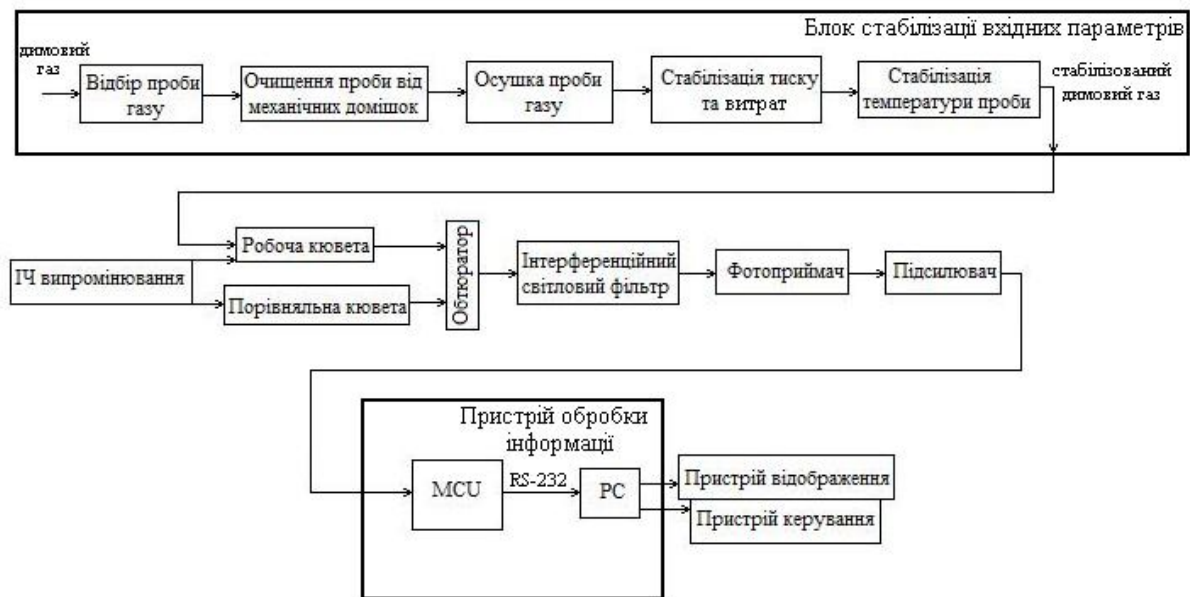


Рис. 5. Функціональна схема системи контролю складу димового газу котельних установок

Програмна реалізація. Для реалізації поставленого завдання використовуємо програмний пакет WINPLC7 для конфігурування, програмування, наладки програм та діагностики контролерів VIPA всіх серій [7]. Програма написана мовою програмування Ladder Diagram (LAD) – мова релейно-контактних схем [8]. Алгоритм роботи програми представлено на рис. 6.

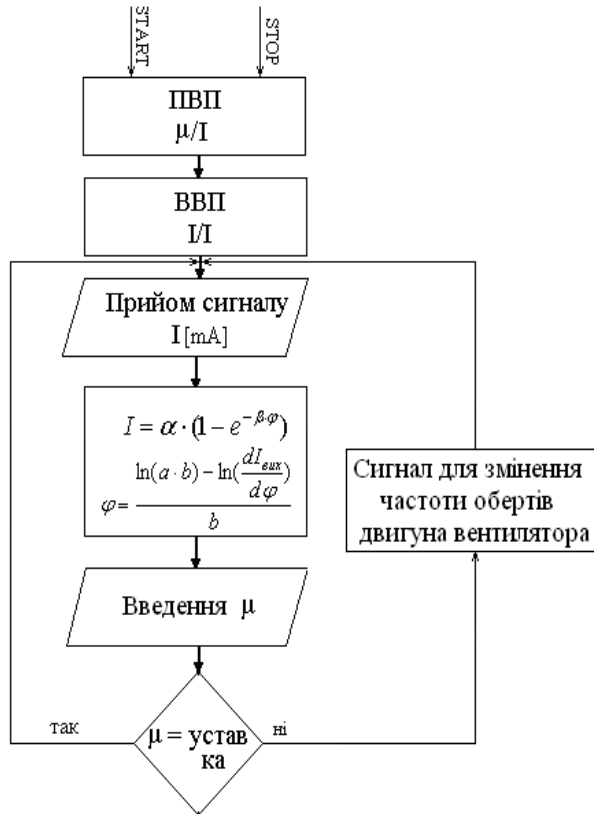


Рис. 6. Алгоритм роботи програми

Алгоритм роботи програми наступний: з газоаналізатора надходить змінний електричний інформаційний сигнал про склад димового газу. Цей сигнал приймає функціональний блок (Scaling analog value) і перетворює його у змінну, яка відповідає значенню уніфікованого електричного сигналу (струму) в межах 4 – 20 mA. Далі здійснюється перетворення електричного сигналу у відповідну йому концентрацію конкретного димового газу. Перетворення здійснюється відповідно до функціональної залежності, яка представлена у формулі (1). Після одержання значення щодо кількості конкретного газу його порівнюють з уставками. Якщо концентрація у допустимих межах, тоді у топку котла продовжує надходити повітря з такою ж інтенсивністю. Якщо концентрація виходить за межі уставок – у топку котла подається більша або менша (залежно від сигналу) кількість повітря. Процес подавання повітря у топку котла здійснюється за допомогою частотних регуляторів (ЧР). Процес контролю та керування відбувається безперервно в режимі реального часу.

На рис. 7 та 8 представлено зміни концентрації кисню у димових газах котельних установок (рис. 7 – без коригування вмісту кисню у відхідних газах, рис. 8 – з коригуванням).

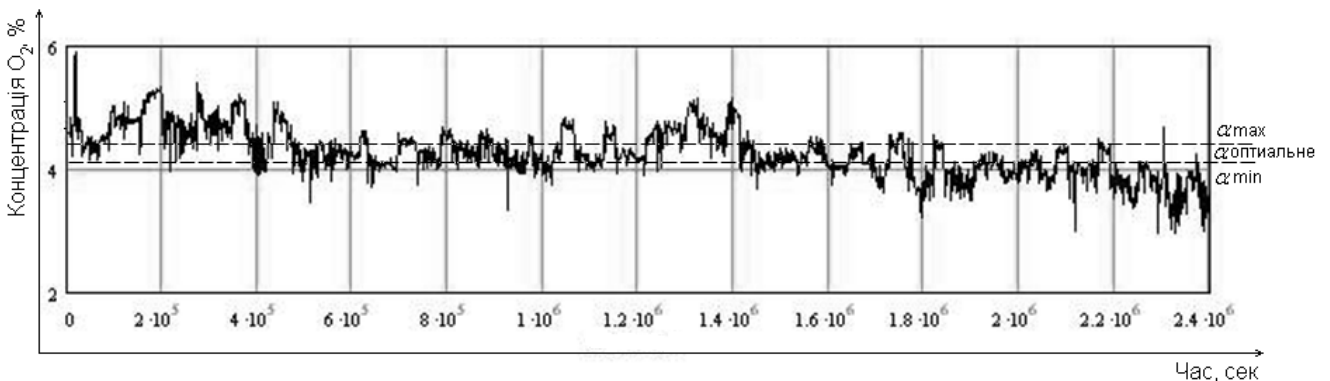


Рис. 7. Зміна концентрації кисню у димових газах без коригування

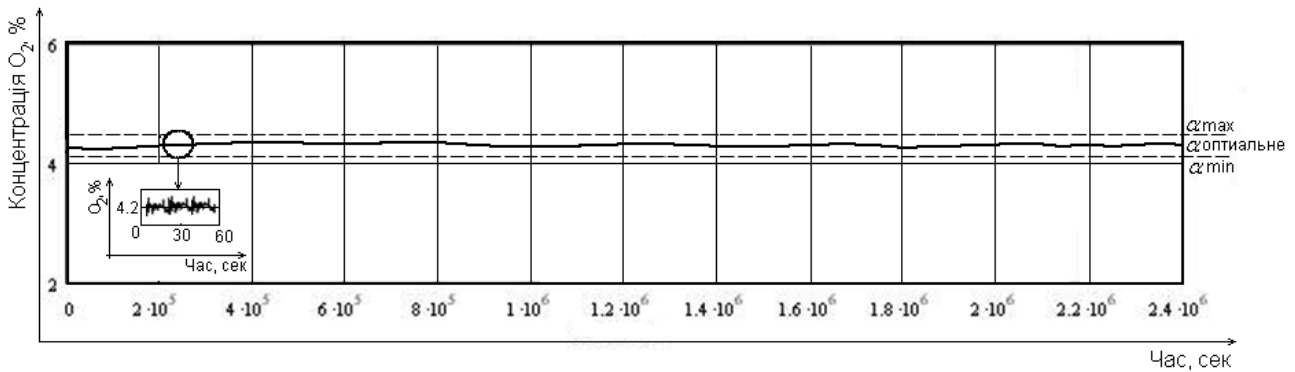


Рис. 8. Зміна концентрації кисню у димових газах з коригуванням

Використовуючи кисневу формулу $\alpha = \frac{21}{21 - O_2[\%]}$ для оптимального значення КНП $\alpha = 1,25, \pm 0,01$ (на прикладі котла ДЕ-25-14 ГМ), розрахуємо оптимальну концентрацію кисню у димових газах. Таким чином, $\mu(O_2)_{\min} = 4,06\%$ і відповідно $\mu(O_2)_{\max} = 4,33\%$. Отже, можна зробити висновок, що КУ, яка працює з контролем складу димових газів, має високу ресурсоенергоєфективність. Протягом усього періоду роботи концентрація кисню лежить в оптимальних межах (рис. 8).

Висновки

У роботі запропоновано систему автоматичного керування котельною установкою з підсистемою контролю складу димових газів на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу з компенсацією впливу атмосферного пилу та надлишкової вологості. Представлено алгоритм програми контролю складу димових газів котельних установок для підтримки оптимального співвідношення “паливо – повітря” у топці котла. КУ працює ресурсоєфективно протягом усього періоду роботи за умови коригуванні кількості повітря в топці котла за складом відхідних газів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплюх З. М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу димових газів // З. М. Теплюх // Энергетика и Электрификация. – 2004. – № 3. – С. 10 – 18.
2. Кустикова М. А. 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.
3. Антропов Д. Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук : 05.14.04 / Антропов Дмитрий Натанович. – Казань: 2007, С. 175.
4. Кучерук В. Ю. Використання ресурсозбережних технологій на теплопостачальних підприємствах. II-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. Збірник наукових статей / В. Ю. Кучерук, І. А. Дудатьєв. – Вінниця : Діло, 2009. – 604 с.
5. Голинько В. И. Контроль содержания кислорода и газов неодажга в выбросах котлоагрегатов / В. И. Голинько, В. И. Романенко, В. Е. Фрундин, Р. К. Стасевич // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – 2003. – № 53. С. 115 – 118.
6. VIPA [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.VIPA.de.
7. S7-Programme [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.WinPLC7.de.
8. Кучерук В. Ю. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC / В. Ю. Кучерук, В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 132 с.
9. Парахин Н. Ф. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом. / Н. Ф. Парахин, А. К. Алексеева. – Энергосбережение. – 2007. – № 6. – С. 26 – 28.

Кучерук Володимир Юрійович – д. т. н., професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, e-mail: kucheruk@mail.ru, тел.: (0432) 672425.

Дудатьєв Ігор Андрійович – магістрант кафедри метрології та промислової автоматики, e-mail: dudatiev@mail.ru, тел. : (0432) 672425.

Вінницький національний технічний університет.