

УДК 543.42:622.412:669.18

В.Ю. Кучерук, д.т.н
І.А. Дудатьєв**РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРЕЖНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
КОТЕЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ З КОНТРОЛЕМ СКЛАДУ ДИМОВИХ ГАЗІВ**Вінницький національний технічний університет, e-mail: kucheruk@mail.ru

У роботі на базі системи управління котельною установкою розроблена функціональна схема підсистеми контролю складу димових газів на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу з компенсацією впливу атмосферного пилу та надлишкової вологості.

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 тісно пов'язана з надійною та економічною роботою цих установок. ККД котлів найчастіше не досягає максимально можливих значень. Головні причини – низька якість технічного обслуговування та ремонту, повільне впровадження організаційно-технічних заходів, що забезпечують зниження витрат палива на виробіток теплоенергії.

Ефективність роботи котельних установок прямо 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 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 (наявність локальних низькотемпературних зон), динаміку процесу горіння, дотримання гранично допустимих норм концентрацій викинутих в атмосферу шкідливих речовин [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [2] автором зроблено огляд оптичних приладів газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря, розроблено їх класифікацію. Задачею даного дослідження є синтез засобів та методів які розглядаються у попередньому дослідженні, та на їх базі розробити систему яка здатна забезпечувати ресурсоенергоефективний режим роботи КУ.

Мета роботи

Оптимізація процесу горіння у топці котлоагрегата з урахуванням результату контролю складу димових газів.

Результати роботи

В існуючих системах автоматичного керування котельною установкою регулювання співвідношення «паливо-повітря» здійснюється за такими параметрами: тиск (витрати) палива та тиск повітря на пальниках без коригування за вмістом кисню у відхідних газах. Кількість повітря визначається значенням розрідження в топці котла. Регулювання цих параметрів здійснюється за допомогою засувки, тобто збільшенням аеродинамічного опору газоповітряного тракту при роботі двигунів вентилятора та димососа на повну потужність. Це призводить до перевитрат електроенергії.

Використання частотних регуляторів (ЧР) дозволяє вирішувати задачу узгодження режимних параметрів і енергоспоживання КУ із змінюваним характером навантаження котлів. Гострота проблеми економії енергії призвела до того, що ЧР відіграє усе більш зростаючу роль в енергетичному балансі, а динаміка співвідношення вартості ЧР і тарифи на електроенергію розширюють економічну межу їхнього застосування. Використання ЧР для КУ дозволяє витримати потрібне співвідношення «паливо-повітря» з високою точністю і автоматизувати розпалювання горілок, скоротивши час до мінімально необхідного, при цьому зменшуються також витрати газу та викиди двоокису вуглецю в атмосферу.

Для підтримки оптимального співвідношення «пальне-повітря», з одного боку, потрібно в залежності від кількості пального, що поступає, подати необхідну кількість повітря в топку котла, а з другого – із заданою інтенсивністю видаляти з неї продукти згорання [3]. Дане 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 рисунку 1.

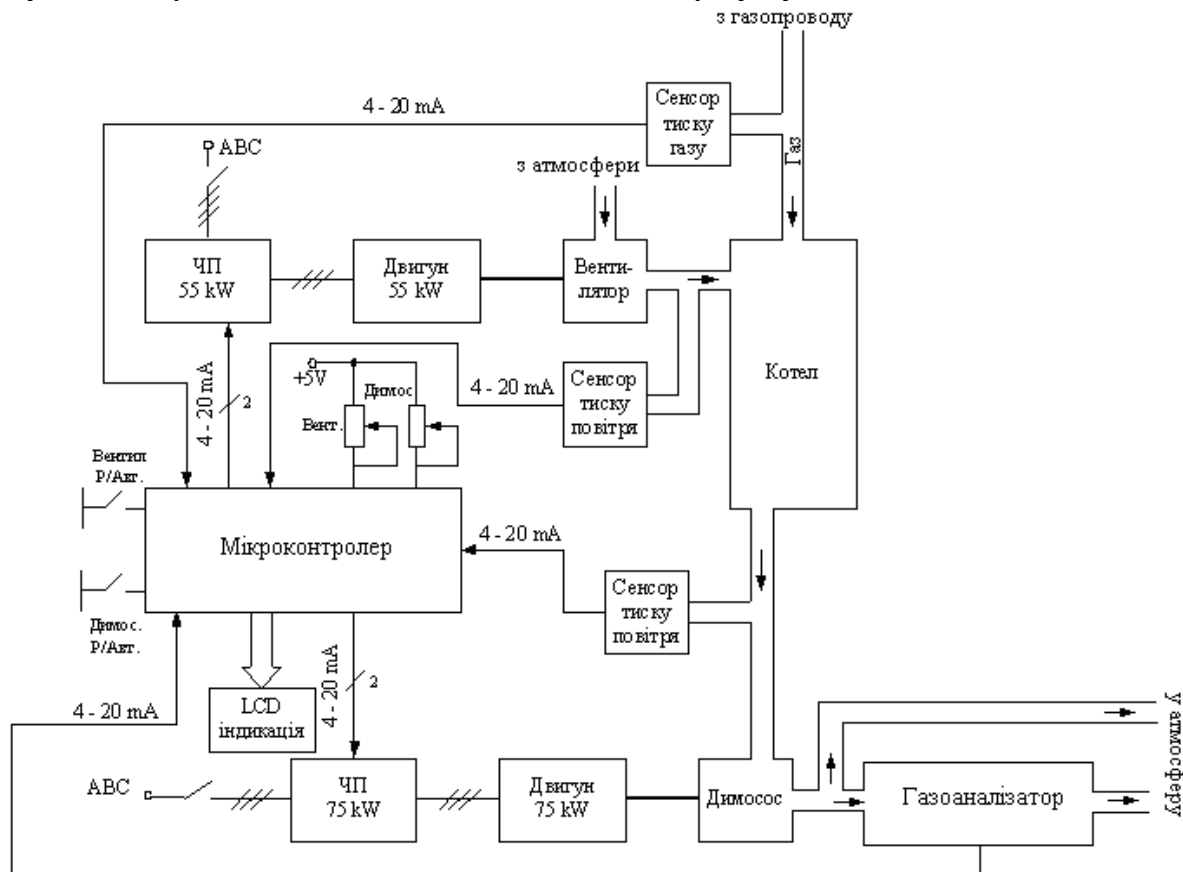


Рис. 1. Функціональна схема системи управління КУ з контролем складу димових газів

Контроль продуктів спалювання котельних установок пропонується вести за допомогою газоаналітичної системи на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного (ОАІЧ) методу. Фізичний принцип дії такої системи заключається в тому, що вимірюється поглинання оптичного випромінювання газу, що 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, яка аналізується.

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 довгохвильовій 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. В залежності від природи димового газу інфрачервоні спектри поглинання молекул газової суміші мають індивідуальний характер, що в подальшому дозволяє ідентифікувати конкретний газ. На рисунку 2 показано інфрачервоний (ІЧ) спектр поглинання димових газів котельних установок (добре видно смуги коливально-обертального спектру поглинання димового газу) [2].

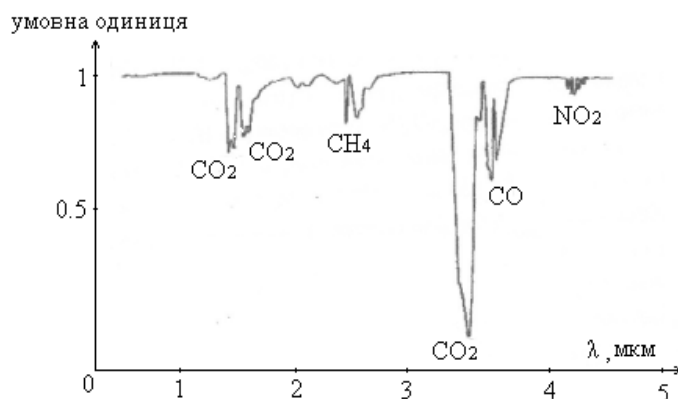


Рис. 2. Коливально-обертальні смуги поглинання димового газу ІЧ випромінюванням

Як видно з рисунку 2, 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, який аналізується, може бути визначена за законом Ламберта-Бера:

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

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

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

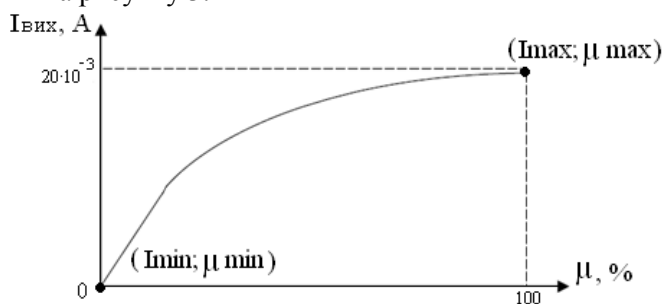


Рис. 3. Графічне представлення функції (1)

Інфрачервону радіацію поглинають всі гази, за винятком O_2 , N_2 , H_2O , Cl_2 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.

Перед застосуванням ОАІЧ методу пропонується стабілізувати газ за такими параметрами: температура, вологість, тиск, запиленість (очищення проби газу від атмосферного пилу). Якщо застосовувати ОАІЧ метод без стабілізації даних параметрів, це призведе до того, що ідентифікація та визначення концентрації компонентів газової суміші буде неточною. У структуру димового газу входять такі основні компоненти: кисень, діоксид вуглецю, оксид вуглецю, діоксид азоту, вода та атмосферний пил або сажа (після стабілізації проби газу вмістом води та атмосферного пилу (сажі) 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 скористатись виразом (до стабілізації проби газу):

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

де $\mu(X)$ – масова концентрація газової суміші у відсотках. Оптимізацію процесу спалювання пропонується вести за компонентом – O_2 . Це дає змогу максимально точно корегувати співвідношення паливо-повітря на вході об'єкта. Але фізично кисень не поглинається ІЧ випромінюванням (це видно з рисунку 2, де ліній поглинання кисню взагалі немає), тому пропонується визначати CO , CO_2 , NO_2 практично, а O_2 – аналітично (після стабілізації проби):

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

Структура складу димових газів котельних установок [4] представлена на рисунку 4 у вигляді залежності коефіцієнта надлишку повітря (КНП) від концентрації димових газів котельних установок.

Оптимальна зона – це така концентрація компонентів, при якій забезпечується спалювання палива з низьким КНП. КНП – це відношення дійсного розходу повітря до теоретично необхідного. У роботі [5] для котла ДЕ-25-14 ГМ було встановлено оптимальний КНП, який дорівнює 1,25 (± 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 – і, як наслідок, призводить до перевитрат палива. Надлишок повітря також призводить до перевитрат палива на нагрів зайвого повітря у складі відхідних димових газів [4].

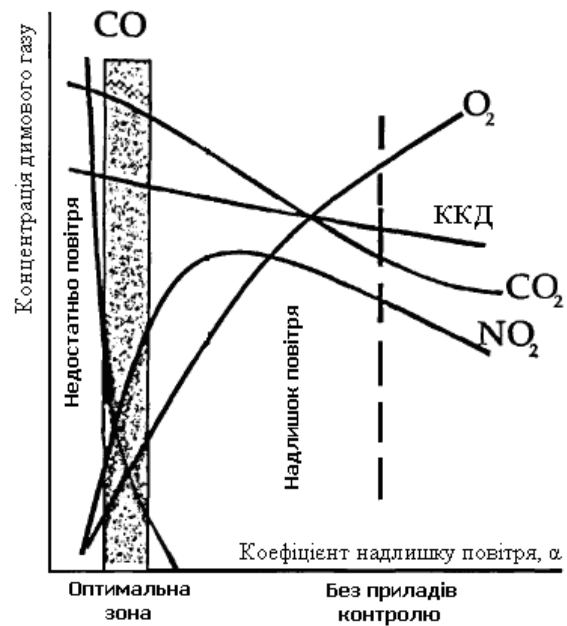


Рис. 4. Структура складу димових газів котельних установок

Розробка функціональної схеми системи. Газоаналітичну систему (ГС) побудуємо по принципу прямої дії прямої дії – це система, у якій всі 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, що забирається 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 інформацію про склад димового газу з великою похибкою. Тому у структуру ГС пропонується включати БСВП. БСВП повинен відповідати таким вимогам: висока швидкість, ефективне та надійне очищення від механічних домішок, зменшення до необхідного значення вологості суміші, стабілізація температури та тиску.

На наступному етапі проба газу проходить через первинний та вторинний вимірювальні перетворювачі (ПВП та ВВП). Принцип роботи ПВП та ВВП полягає в наступному: ПЧ випромінювання від джерела поступає в дві розташовані поряд і паралельно один одному 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 в 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, у 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 поступає в пристрій обробки інформації.

У зв'язку з розвитком промислових контролерів задачі обробки вимірювальної інформації логічно проводити за їх допомогою, забезпечуючи спряження вихідного сигналу ВП з входом контролера. Для реалізації системи використаємо 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. Функціональна схема системи контролю складу димового газу котельних установок представлена на рисунку 5 (схема показана узагальнено у вигляді одноканальної, але практично система є багатоканальною для багатоконпонентного аналізу газової суміші).

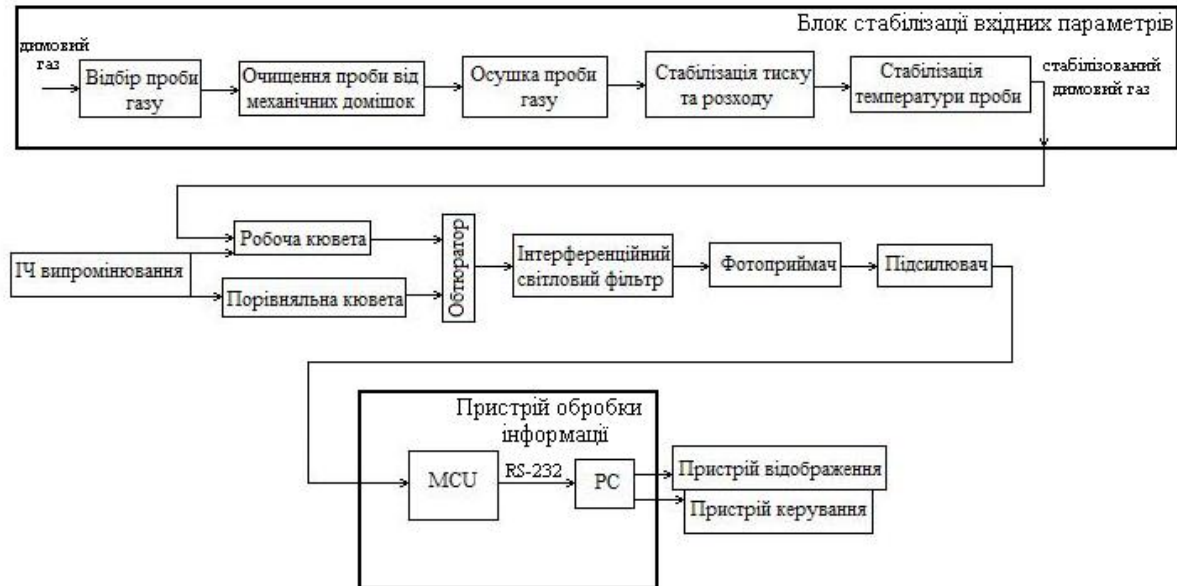


Рис. 5. Функціональна схема системи контролю складу димового газу котельних установок

Програмна реалізація. Для реалізації поставленої задачі програмно використаємо програмний пакет WINPLC7 для конфігурування, програмування, наладки програм та діагностики контролерів VIPA всіх серій [7]. Програму напишемо на мові програмування Ladder Diagram (LAD) – мова релейно-контактних схем [8]. Алгоритм роботи програми

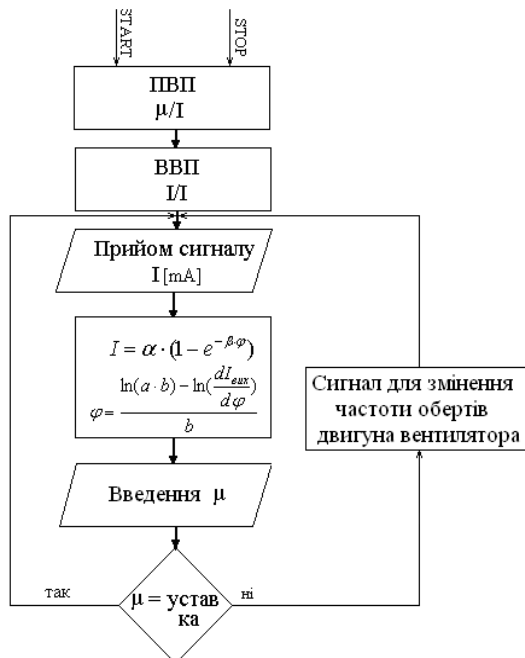


Рис. 6. Алгоритм роботи програми

представлено на рис.6.

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), що лежить в межах 0-20 mA. Далі здійснюється перетворення електричного сигналу у відповідну йому концентрацію конкретного димового газу. Перетворення здійснюється відповідно функціональній залежності, яка представлена у формулі (1). Після одержання значення про кількість конкретного газу його порівнюють з уставками. Якщо концентрація лежить у допустимих межах, тоді у топку котла продовжує поступати повітря з такою ж інтенсивністю. Якщо концентрація виходить за рамки уставок – у топку котла подається більша або менша (в залежності від сигналу) кількість повітря. Процес подачі повітря у топку котла здійснюється за

допомогою частотних регуляторів (ЧР). Процес контролю та керування відбувається безперервно в режимі реального часу. На рисунках 7 та 8 представлено зміни концентрації кисню у димових газах котельних установок (рисунок 7 – без корегування вмісту кисню у відхідних газах, рисунок 8 – з корегуванням).

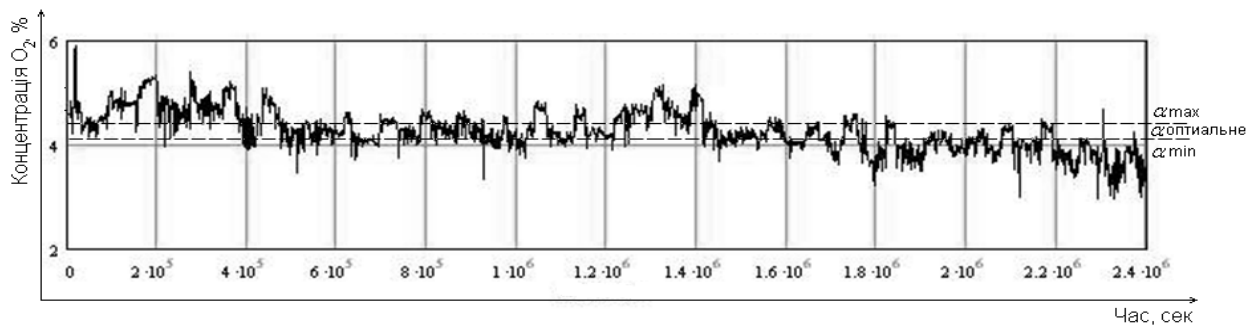


Рис. 7. Зміна концентрації кисню у димових газах без корегування

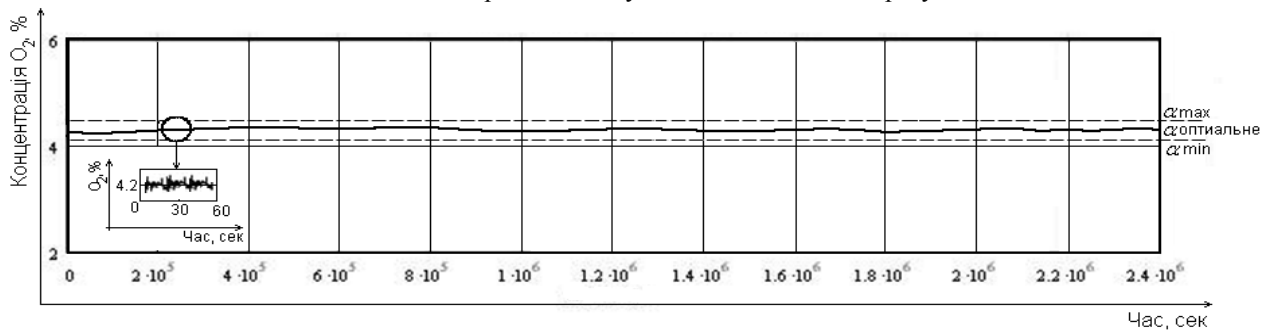


Рис. 8. Зміна концентрації кисню у димових газах з корегуванням

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 оптимальні межі концентрації 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. На протязі всього періоду роботи концентрація кисню лежить в оптимальних межах (рисунок 6).

Висновки

У роботі запропонована система 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. Проаналізовано залежність КНП від концентрації кисню у димових газах.

Список літературних джерел

1. Теплюх З.М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу димових газів. Энергетика и Электрификация, 2004. – №3. С. 10-18.
2. Козубовський В.Р. Оптичні прилади газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря (огляд). Метрологія та прилади №2 – 2010. С. 62-70.
3. Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А. Використання ресурсозберіжних технологій на теплопостачальних підприємствах. II-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. Збірник наукових статей. – м. Вінниця 2009. – 604с.
4. Андропов Д.Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Казань: 2007, С. 43.
5. Парахин Н.Ф., Алексеева А.К. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом. Энергосбережение №6 – 2007. С. 26-28.
6. Режим доступу: www.VIPA.de
7. Режим доступу: www.WinPLC7.de
8. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О., Кулаков П.І. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 132с.