

УДК 621.182:504.064

## СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГОРІННЯ ПОВІТРЯНО-ПАЛИВНОЇ СУМІШІ В КОТЛОАГРЕГАТАХ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

**В.П. Бабак, А.О. Запорожець\***

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, 03680*

*Розглянуті розповсюджені системи контролю якості процесу горіння та способи автоматичного регулювання співвідношення складу повітряно-паливної суміші, що базуються на якісному та кількісному аналізі димових газів. На основі проведеного аналізу виявлено головні недоліки існуючих систем моніторингу стану роботи котлоагрегата та запропоновано новий спосіб оперативного контролю якості процесу горіння з використанням широкого смугового кисневого зонду та цифрового альфа-індикатора. Спосіб реалізується шляхом корекції подачі палива до пальника за сигналом зворотного зв'язку від кисневого зонду та дозволяє підтримувати стехіометричне співвідношення «повітря-паливо» у топці котла. Для забезпечення можливості функціонування даної системи в котлах на різних типах палива (твердому, рідкому, газоподібному) розраховані теоретичні стехіометричні коефіцієнти «повітря-паливо». Приведені головні технічні характеристики портативної системи якості процесу горіння. Для візуалізації функціонування розробленого пристрою проведено експериментальне дослідження при різних режимах роботи котлоагрегату.*

*Ключові слова: повітряно-паливна суміш, контроль якості горіння, кисневий зонд, альфа індикатор, газоаналізатор, коефіцієнт надлишку повітря.*

*Рассмотрены распространенные системы контроля качества процесса горения и способы автоматического регулирования соотношения состава воздушно-топливной смеси, основанные на качественном и количественном анализе дымовых газов. На основе проведенного анализа выявлены основные недостатки существующих систем мониторинга состояния работы котлоагрегата и предложен новый способ оперативного контроля качества процесса горения с использованием широкополосного кислородного зонда и цифрового альфа-индикатора. Способ реализуется путем коррекции подачи топлива к горелке по сигналу обратной связи от кислородного датчика и позволяет поддерживать стехиометрическое соотношение «воздух-топливо» в топке котла. Для обеспечения возможности функционирования данной системы в котлах на различных типах топлива (твердом, жидком, газообразном) рассчитаны теоретические стехиометрические коэффициенты «воздух-топливо». Приведены основные технические характеристики портативной системы качества процесса горения. Для визуализации функционирования разработанного устройства проведено экспериментальное исследование при различных режимах работы котлоагрегата.*

*Ключевые слова: воздушно-топливная смесь, контроль качества горения, кислородный зонд, альфа индикатор, газоанализатор, коэффициент избытка воздуха.*

*Propagation of quality control system of the combustion process and methods of automatic control of the air-fuel ratio based on the qualitative and quantitative analysis of flue gases are considered. Based on the analysis identified the major disadvantages of existing monitoring systems of the boiler and proposed a new method of operational monitoring of the combustion process using the broadband oxygen probe and the digital alpha indicator. The method is realized by correcting the fuel supply to the burner on the feedback signal from the oxygen sensor and keeps a stoichiometric "air-fuel" ratio in the boiler furnace. Calculating the theoretical stoichiometric "air-fuel" coefficients for enable the functioning of the system in the boilers. Showing the main technical characteristics of the portable system quality of the combustion process. For visualization the functioning of the developed device performed the experimental investigation with different modes of boiler operations.*

*Keywords: air-fuel ratio, quality control of combustion, oxygen probe, alpha indicator, gas analyzer, air excess coefficient.*

**Вступ.** Проблеми підвищення ефективності використання палива і зменшення викидів шкідливих речовин особливо актуальні в тих галузях промисловості, де спалювання великої кількості палива відбувається з недостатньою повнотою і відносно низьким ККД. До цієї групи споживачів відносяться котельні ЖКГ та промислові підприємства з котлами потужністю від 2 до 20 МВт.

Головною проблемою при удосконаленні спалювання палива є необхідність одночасного вирішення складних і часто взаємовиключних завдань: підвищення економічності його спалювання, зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу і зниження капітальних витрат на їх здійснення. Одночасне вирішення даних завдань прийнято називати енергоекологічною оптимізацією спалювання палива.

Характерною особливістю впровадження енергозберігаючих та природоохоронних технологій на діючих котлах малої та середньої потужності є їх жорстке обмеження у рамках капітальних витрат. Відповідно до цього, пріоритетними є рішення, що передбачають не заміну існуючого технологічного обладнання на нове, а максимально можливе його використання за умови досягнення сучасних показників щодо ефективності спалювання палива та охорони навколишнього середовища. Виняток становлять тільки невеликі удосконалення окремих вузлів пальникового пристрою у рамках впровадження деякого технологічного методу. Такі дії становлять енергоекологічну реабілітацію чинного теплотехнічного обладнання [1].

Якість спалювання палива у топці котла визначається шляхом аналізу складу димових газів. При згоранні вуглеводневого палива у димових газах можуть утворюватися продукти повного ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) та неповного ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}$ ) згорання, азот ( $\text{N}_2$ ) та кисень ( $\text{O}_2$ ), які подаються у зону горіння, а також газові домішки, що формуються у процесі спалювання за рахунок неповної очистки паливних матеріалів та навколишнього повітря, що надходить у зону горіння котлового агрегату ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  та ін.).

Таким чином, ефективність роботи котлоагрегатів також в значній мірі залежить від якісних показників систем управління процесом спалювання палива і систем автоматичного регулювання витрат повітря, що призначені для підтримки найбільш економічного режиму горіння в топці котла.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Серед

закордонних систем автоматичного контролю якості процесу горіння найбільшого поширення набули стаціонарні багатофункціональні пристрої, робота яких базується на використанні великого числа давачів ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ) та ін. [1-3]. Такі системи не є універсальними і можуть бути використанні тільки разом з котлами певного типу. До того ж, велика вартість даних пристроїв робить їх неконкурентоспроможними на вітчизняному ринку теплотехнічного обладнання.

Достатню актуальність та перспективність на даний час набули системи, що використовують коефіцієнт надлишку повітря (КНП,  $\alpha$ ) в якості головного контролюючого параметра, який визначається шляхом вимірювання залишкового кисню в димових газах [4-8]:

$$\alpha = 1 + \frac{[\text{O}_2]_{\text{вих}}}{21 - [\text{O}_2]_{\text{вих}}},$$

де  $[\text{O}_2]_{\text{вих}}$  – об'ємна концентрація кисню у вихідних димових газах.

При цьому діапазон давачів кисню є достатньо широким: оптичні, електрохімічні, цирконієві, титанові, біологічні та ін. [9-12].

Деякого розповсюдження на території України набула адаптивна система керування тягодуттєвими механізмами котельних агрегатів ЕКО-3 [13]. Застосування такого комплексу дозволяє оптимізувати режим згорання палива з урахуванням фактичних умов, режимів роботи котлоагрегату та характеристик палива, а також підвищити ККД котла на 2,6 – 3,9%. Проте складність інсталяції та висока вартість комплексу унеможливує його широке застосування у теплоенергетичній промисловості, що доводить необхідність створення адаптивної та недорогої системи контролю якості згорання повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах.

**Мета статті:** розроблення портативної системи контролю якості горіння в котлоагрегатах малої та середньої потужності.

**Розроблення способу регулювання.** На даний час існує значна кількість схем реалізації автоматичного регулювання співвідношенням складу повітряно-паливної суміші. Так у роботі [14] описана можливість формування інформаційного сигналу для впливу на поворотну заслінку, що встановлена на повітроводі після вентилятора дуття, шляхом регулювання частоти обертання вентилятора дуття при виході кута відкриття поворотної заслінки за задані межі. Дана схема

характеризується відсутністю великих пускових струмів та зниженням енергоспоживання за рахунок зменшення частоти живлення двигуна вентилятора дуття. У той же час спосіб реалізується шляхом повільного управління роботою технологічного електрообладнання, що не дозволяє швидко реагувати на зміну кількості та якості палива, що надходить до пальника. У роботі [15] наведена схема регулювання режиму горіння у топці котла шляхом вимірювання вмісту окису вуглецю за допомогою давача у газовому тракті димоходу. Зазначений спосіб формує вихідний сигнал з газоаналізатора, що пропорційний вмісту окису вуглецю у димових газах, і спільно з вихідним сигналом задавача створює управляючий сигнал, що подається на блок частотного перетворювача електродвигуна димососа та (або) вентилятора подачі повітря у топку котлоагрегату, постійно підтримуючи концентрацію окису вуглецю у димових газах на рівні 0,1-0,2%.

Недоліком даного способу є неузгодження швидкості подачі газу, повітря та розрідження з інерційністю димососів та вентиляторів, що

створює можливість короткочасного виходу тиску повітря і розрідження за допустимі межі і як наслідок – виникнення аварійної ситуації, а аналіз вмісту окису вуглецю у димових газах не дозволяє запобігти утворенню продуктів неповного згорання ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $C$ ) та знизити рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу.

На сьогоднішній день для оперативного контролю якості процесу горіння та наладки котельного обладнання використовують газоаналізатори, переважно електрохімічного типу.

Принцип дії таких пристроїв заснований на залежності між параметрами електрохімічної системи та складом аналізованої суміші, що надходить до цієї системи. В табл. 1 приведена порівняльна характеристика сучасних портативних газоаналізаторів, що використовуються для якісного та кількісного аналізу димових газів. Незважаючи на описані переваги, дані прилади мають ряд вагомих недоліків, серед яких – низька селективність, обмежена швидкодія, недовговічність електрохімічного сенсору, ціна.

**Таблиця 1 – Порівняльна характеристика сучасних портативних газоаналізаторів електрохімічного типу**

Тип	Контрольовані речовини	Особливості	Час підготовки проби, с	Країна виробник	Ціна від, \$
ПГА-300	$O_2$ , $CO$ , $H_2S$ , $NO_2$ , $NH_3$ , $SO_2$ , $H_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• можливість індивідуального збирання приладу</li> <li>• невеликі габарити</li> <li>• вибухозахисна форма</li> </ul>	30	Росія	933
МОНО-ЛИТ-2	$O_2$ , $CO$ , $NO$ , $NO_2$ , $SO_2$ , $NH_3$ , $H_2S$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• захист від вибуху</li> <li>• розширений температурний діапазон експлуатації</li> <li>• сигналізація</li> <li>• статистична обробка результатів</li> <li>• документування результатів</li> <li>• пам'ять даних</li> </ul>	—	Росія	1460
TESTO-330	$O_2$ , $CO$ , $H_2$ , $NO$ , $NO_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• оснащений зондом пошуку витoku</li> <li>• пам'ять на 200 вимірювань</li> <li>• USB-інтерфейс для синхронізації з ПК</li> </ul>	60	Німеччина	1290
TESTO-350	$O_2$ , $CO$ , $NO$ , $NO_2$ , $SO_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• розширений температурний діапазон експлуатації</li> <li>• висока точність вимірювання низьких концентрацій <math>NO</math> та <math>CO</math></li> <li>• вбудований принтер</li> </ul>	60	Німеччина	4760
ОКА-Т	$CO$ , $H_2S$ , $SO_2$ , $NH_3$ , $NO_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• можливість одночасного підключення до 4-х каналів</li> <li>• невеликі габарити та вага</li> </ul>	90	Росія	—
ПОЛАР-2	$O_2$ , $CO$ , $NO$ , $NO_2$ , $SO_2$ , $NH_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• пам'ять на 990 вимірювань</li> <li>• вбудований принтер</li> <li>• USB-інтерфейс для синхронізації з ПК</li> <li>• тривалість роботи без підзарядки – до 16 год.</li> </ul>	—	Росія	—

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
АНКАТ-7361	NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , CO, Cl <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• тривалість роботи без підзарядки – до 34 год.</li> <li>• невеликі габарити та вага</li> </ul>	180	Росія	370
ФП-11.2К	CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• портативність, мобільність, практичність</li> <li>• широкий діапазон вимірювання</li> <li>• захист від «травлення» сенсора</li> </ul>	15	Росія	350
ГИАМ-315	C <sub>1</sub> -C <sub>10</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• примусовий спосіб забору проби</li> <li>• оптико-абсорбційний метод роботи</li> <li>• безперервний режим роботи</li> </ul>	—	Росія	2140
АГМ-510	O <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• визначення коефіцієнта надлишку повітря та коефіцієнта теплових втрат</li> <li>• широкий діапазон вимірювання концентрацій</li> </ul>	—	Росія	3600
АСВ-1	C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• можливість контролю багатоконпонентних сумішей</li> <li>• відсутня необхідність калібрування</li> <li>• 30 год. роботи від акумулятора</li> </ul>			
ОКСИ 5М-5Н	O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• визначення коефіцієнта надлишку повітря</li> <li>• синхронізація с ПК</li> <li>• портативність, мобільність, практичність</li> <li>• розширений температурний діапазон експлуатації</li> </ul>	30	Україна	1340

В основу запропонованого способу поставлена задача вдосконалення способу автоматичного регулювання процесу горіння у котлоагрегатах шляхом безперервного вимірювання вмісту кисню у димових газах за допомогою кисневого зонду, що контролює повне згорання горючих матеріалів незалежно від зміни кількості газу, що надходить до топки котла, та забезпечує значне енергозбереження системи котельні.

Поставлена задача вирішується тим, що у схемі автоматичного регулювання процесу горіння в котлоагрегатах шляхом вимірювання сигналів, що фіксують газові витрати, із застосуванням частотно-регульованих вентиляторів дуття та димососів вміст кисню в димових газах безперервно вимірюється за допомогою кисневого  $\alpha$ -зонду, розміщеного на початку газового тракту димоходу. Далі відбувається фіксування результатів вимірювання зондовим  $\alpha$ -індикатором з попередньо заданим стехіометричним співвідношенням «повітря-паливо», а подача палива до пальника коригується сигналами зворотного зв'язку від кисневого зонду, при

цьому коефіцієнт надлишку повітря в димових газах підтримується на постійному рівні ( $\alpha=1-1,1$ ).

Використання кисневого зонду на початку газового тракту димоходу має ряд переваг перед традиційними газоаналізаторами: збільшення точності вимірювання концентрації залишкового кисню, відсутність систем відбору та підготовки проби, стабільна робота і довгий термін експлуатації, простота заміни деталей без демонтажу, адаптація до установки на різні типи теплових агрегатів.

Застосування цифрового альфа-індикатора дозволяє в режимі реального часу стежити за значенням коефіцієнта надлишку повітря у димових газах з високою точністю оперативно вносити зміни у режим роботи пальника котлоагрегату, внаслідок чого досягається максимальна ефективність роботи котельної установки.

Корекція подачі палива до пальника за сигналом зворотного зв'язку від кисневого  $\alpha$ -зонду дозволяє підтримувати стехіометричне співвідношення «повітря-паливо» у топці котла [16], знизити рівень викидів токсичних речовин

в атмосферу та підвищити ККД котла через недопущення нестачі повітря чи його надлишку у димових газах. Теоретичні значення стехіометричного співвідношення «повітря-паливо» для деяких типів органічних вуглеводнів наведено в табл. 2.

Спосіб автоматичного регулювання процесу горіння у котлоагрегатах, що базується на застосуванні кисневого зонду та цифрового зондового альфа-індикатора, реалізується за допомогою принципової схеми, зображеної на рис. 1.

Таблиця 2 – Стехіометричний склад повітряно-паливної суміші

Паливо	Хім. формула	Стехіометричне співвідношення «повітря-паливо»	
		Об'ємне	Масове
Метан	$\text{CH}_4$	17,20:1	15,60:1
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	16,06:1	14,57:1
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	15,64:1	14,19:1
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	15,43:1	13,99:1
Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	15,30:1	13,88:1
Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	15,21:1	13,80:1

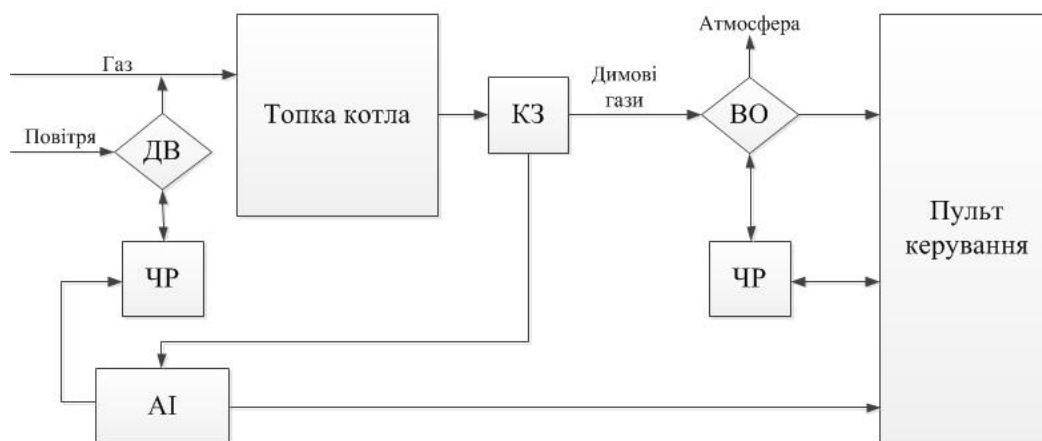


Рисунок 1 – Принципова схема автоматичного процесу регулювання співвідношення ППС для паливника зі зворотним зв'язком по сигналам  $\alpha$ -зонду

Запропонований спосіб реалізується наступним чином. Необхідне співвідношення «повітря-паливо» у процесі експлуатації котлоагрегату задається пультом керування та порівнюється з поточним значенням, отриманим від кисневого зонду (КЗ). Частотний регулятор (ЧР) за допомогою зміни частоти вихідної силової мережі керує електродвигуном дуттєвого вентилятора (ДВ) подачі повітря у топку котлоагрегату. Кисневий зонд, що знаходиться на початку димового тракту, безперервно аналізує та реєструє вміст кисню у димових газах, і формує інформаційний сигнал, напруга якого характеризує величину коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . Цифровий зондовий  $\alpha$ -індикатор (АІ) продукує отриманий від ширококутового кисневого зонду сигнал на лінійці світлодіодів, та разом з попередньо введеними даними про застосоване паливо утворює сигнал, що подається на блок частотного регулятора, який у свою чергу змінює режим роботи вентилятора для корекції подачі повітря на паливник, підтримуючи таким чином коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha \approx 1$ . Вузол обліку шкідливих речовин (ВО) служить для

аналізу та корекції за допомогою частотного регулятора вмісту токсичних речовин у димових газах.

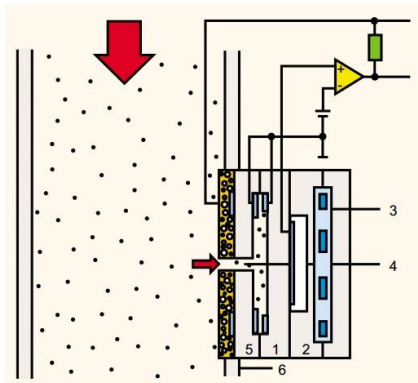
Основою для створення автоматичної системи регулювання надлишку повітря став ширококутовий кисневий зонд виробництва фірми Bosch (рис. 2, 3). На рис. 4 зображена залежність вихідної напруги ширококутового кисневого зонду від об'ємної кількості повітря на одиницю палива. у таблиці 3 наведені значення сили струму на виході ширококутового кисневого зонду у залежності від коефіцієнту  $\alpha$ .



Рисунок 2 – Ширококутовий кисневий зонд виробництва Bosch

Таблиця 3 – Залежність сили струму  $I$  на виході широкосмугового кисневого зонду від  $\alpha$ 

$I, \text{мА}$	-3	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$\alpha$	0,753	0,818	0,818	0,948	1	1,118	1,266	1,456	1,709	2,063	2,592



1 – комірка Нернста; 2 – референтна комірка;  
3 – підігрівач; 4 – дифузійна щільна; 5 – насосна  
комірка; 6 – димова труба

Рисунок 3 – Конструкція широкосмугового кисневого зонду безперервної дії

Як показують експериментальні дослідження, зменшення концентрації залишкового кисню у димових газах на 1% забезпечує економію палива на 0,8%, що констатує можливість значного енергозбереження при використанні запропонованого способу.

**Практична реалізація системи контролю якості горіння.** З врахуванням усіх описаних зауважень інститутом технічної теплофізики НАН України розроблена портативна система контролю якості горіння повітряно-паливної суміші у котлоагрегатах малої та середньої потужності (рис. 5).

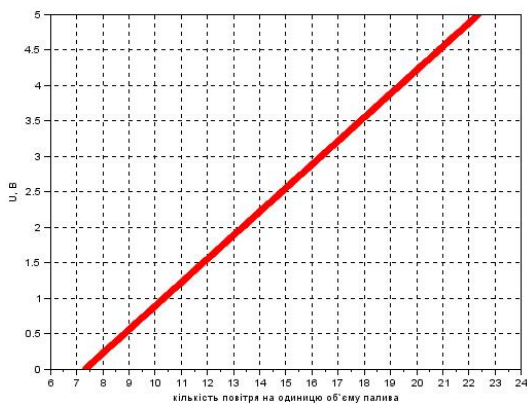


Рисунок 4 – Залежність вихідної напруги широкосмугового кисневого зонду від співвідношення повітряно-паливної суміші



Рисунок 5 – Портативна система контролю якості процесу горіння на базі широкосмугового кисневого зонду та цифрового альфа-індикатора

В основу пристрою поставлена задача вдосконалення існуючих систем контролю якості згорання палива у котлоагрегатах шляхом безперервного вимірювання концентрації кисню у димових газах за допомогою широкосмугового кисневого зонду, що контролює процес горіння газоподібного та рідкого палив різного якісного та кількісного складу. Індикація рівня КНП у димових газах відбувається за допомогою альфа-індикатора для швидкого та постійного моніторингу режиму роботи камери згорання та підключення контролера формуючого сигналу до електромережі для постійної та безперебійної роботи системи контролю.

Застосування широкосмугового кисневого зонду має ряд переваг перед традиційними газоаналізаторами: відсутність системи відбору та підготовки проби, швидке вимірювання концентрації залишкового кисню (0,1-0,2 с), безперебійна робота, довгий термін експлуатації, легка інсталяція на різні види теплових агрегатів.

Використання різнорівневої системи світлодіодів (альфа-індикатора) дає змогу визначити рівень КНП у димових газах та режим роботи котлоагрегату (зелені світлодіоди –  $\alpha < 1$ , повітряно-паливна суміш збагачена, жовті світлодіоди –  $\alpha \approx 1$ , повітряно-паливна суміш стехіометрична, червоні світлодіоди –  $\alpha > 1$ , повітряно-паливна суміш збідніла), та оперативно вносити зміни у режим роботи

котлоагрегату шляхом регулювання кількості поступаючого палива та/або повітря для забезпечення максимальної ефективності роботи котельної установки. Наявність контролера дозволяє змінювати необхідний рівень стехіометричного співвідношення «повітря-паливо» та використовувати систему якості згорання палива на установках, що працюють на різних видах рідкого та газоподібного палива.

Підключення запропонованої системи до загальної електромережі з можливістю перемикання на інші джерела енергії дозволяє безперервно проводити аналіз вмісту димових газів та контролювати режим роботи котлоагрегату на протязі тривалого часу.

Перед введенням системи у експлуатацію контролер програмує таким чином, щоб його вихідний сигнал співпадав із стехіометричним значенням контрольованої повітряно-паливної суміші. Ширококутовий кисневий зонд, що знаходиться на початку димового тракту, безперервно вимірює концентрацію залишкового кисню у димових газах та формує інформаційний сигнал, що надходить до контролера. Контролер порівнює величину напруги сигналу, що надійшов, з величиною напруги запрограмованого сигналу, і утворює сигнал, що відповідає рівню КНП, та відображає його на світлодіодному альфа-індикаторі. Живлення системи забезпечується шляхом під'єднання контролера до загальної електромережі або з використанням інших джерел енергії (наприклад, акумуляторів).

Технічні характеристики розробленої системи контролю якості горіння повітряно-паливної суміші наведені у табл. 4.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що використання запропонованої системи контролю якості згорання палива

дозволяє підвищити ККД котельної установки до 95-96% та значно поліпшити рівень енергозбереження котлоагрегату (табл. 5).

**Таблиця 4 – Головні технічні характеристики портативної системи контролю якості горіння**

Вихідний сигнал вимірювального зонда, В	+0,1...+5,0
Відгук (затримка за часом індикації) для 50% ступінчатого збурювання, с	0,1...0,3
Початковий час підготовки до вимірів, с	≤30,0
Діапазон вимірювань параметра α	0,5...1,5
Відносна похибка, %	3
Індикація результатів вимірювань	світлодіодна
Довжина кабелю сполучення, м	≤ 5
Температура навколишнього середовища при відносній вологості до 80%:	
блоку індикації, оС	5...50
коробки вимірювального зонда, оС	5...70
Умови в точці вимірювань:	
температура середовища, оС	50...250
швидкість потоку, м/с	≤15
тиск, Па	≤+500
Маса, кг:	
блоку індикації	≤0,2
вимірювального зонда	≤1,0
Габаритні розміри, мм:	
блоку індикації	110 x 65 x 40
вимірювального зонда	150 x 150 x 500
в т.ч. довжина заглибної частини вимірювального зонда	50...500

Дослідження проводилися на водогрійному котлі типу «Віктор» відділу процесів та технологій теплозабезпечення Інституту технічної теплофізики НАН України (рис. 6-8).

**Таблиця 5 – Склад димових газів та якісні показники роботи котла типу «Віктор» при функціонуванні в різних режимах**

Номер вимірювання	[O <sub>2</sub> ], %	[CO], мг/м <sup>3</sup>	[NO], мг/м <sup>3</sup>	[CO <sub>2</sub> ], %	ККД, %	α
1	4,7	370	49	12	95,9	1,29
2	4	222	53	12,5	95,2	1,24
3	3,4	178	60	12,9	94,8	1,19
4	3,4	160	61	12,9	94,4	1,19
5	3,5	137	61	12,8	93,9	1,2
6	4,8	150	61	11,9	93	1,3
7	2,6	62	65	13,5	93,3	1,14
8	20,3	5	0	0,5	64,7	30
9	2,4	726	62	13,6	94,6	1,13
10	2,3	668	64	13,7	94,1	1,12
11	1,4	726	65	14,4	94,1	1,07
12	0,7	2128	71	14,9	94,1	1,03





Рисунок 6 – Захисний ковпачок для інсталяції кисневого зонду на різні типи котлоагрегатів



а) збіднена ППС; б) оптимальна ППС; в) збагачена ППС

Рисунок 7 – Режим функціонування котла та індикація КНП за допомогою альфа-індикатора



а)



б)

## ВИСНОВКИ

Технічна реалізація та промислове впровадження системи контролю якості процесу горіння у котлоагрегатах дозволяє вирішити питання неруйнівної модернізації котлів малої та середньої потужності шляхом вдосконалення пальника системою автоматичного регулювання співвідношення повітряно-паливної суміші з використанням розробленого пристрою. Така комплексна реалізація підходу дозволить:

- а) реалізувати безперервну енергозберігаючу роботу котлоагрегату;
- б) зменшити рівень викидів оксидів азоту до 40%;
- в) заощадити витрати паливних матеріалів до 15%;
- г) знизити енергоспоживання вентиляторів дуття та димососів до 50%;
- д) підвищити надійність роботи механічного та теплотехнічного обладнання.



Рисунок 8 – Водогрійний котел типу «Віктор» (потужність 100 кВт)



1. Patent № 5585547 USA, IPC G01N 27/26. Oxygen sensor probe for boiler / Ki S. Kim, Han S. Song, Geun C. Yum, Dae J. Ko (Rep. of Korea) – № 369537; fil. 5.01.1995; publ. 17.12.1996. – 8 p. 2. Patent № 7756591B2 USA, IPC G05B 13/02. System for optimizing oxygen in a boiler / J. Jia, S. Piche, H. Beaver (USA) – № 11/680084; fil. 25.04.2006; publ. 13.07.2010. – 22 p. 3. Patent №8230825B2 USA, IPC F22B 37/42. Boiler control system / Warren G. Knorr, Jr (USA) – № 12/045,294; fil. 10.03.2008; publ. 31.07.2012. – 14 p. 4. B. A. D'Alleva. Procedure and Charts for Estimating Exhaust Gas Quantities and Compositions. – General Motors Research Laboratories Report, GMR 372, May 15, 1960. 5. R.S. Spindt. Air Fuel Ratios form Exhaust Gas Analysis. – SAE 650507, Society of Automotive Engineers, 1965. 6. W. H. Holl. Variables for Emission Test Data Analysis. – Paper 730533, Society of Automotive Engineers, 1973. 7. W. Simons. Berechnungen zur Bestimmung der Luftzahl bei Ottomotoren. – MTZ Motortechnische Zeitschrift, № 46. – 1985. – p. 257-259. 8. J. Bretschneider. Berechnung des Luftverhältnisses  $\lambda$  von Luft-Kraftstoff-Gemischen und des Einflusses von Meßfehlern auf  $\lambda$ . – Bosch Technische Berichte, № 6. – 1979. – p 177-186. 9. N. Asakura. Optical Oxygen Sensor / N. Asakura, I. Okura // Springer Series for Energy Conversion. – Vol. 111. – 2009. – P. 299-328. 10. Patent №0252432A1 USA, IPC G01N27/30. Electrochemical oxygen sensor / N. Kitazawa (Japan) - №12/734,714; fil. 28.11.2008; publ. 7.10.2010. – 8 p. 11. Леценко В.П. Кислородные датчики / В.П. Леценко. – М.: Легион-Автодата, 2003. – С. 4-12. 12. W. Going. Structure of a biological oxygen sensor: A new mechanism for heme-driven signal transduction / W. Going, B. Hao, S.S. Mansy, G. Gonzalez, M.A. Gilles-Gonzalez, M.K. Chan // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – Vol. 95. – 1998. – P. 15177-15182. 13. Барский В.А. Адаптивная система управления тягодутьевыми механизмами котельных агрегатов ЭКО-3 / В.А. Барский, А.Е. Фришман, А.Ю. Лысенко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – №3. – 2012. – С. 199-201. 14. Пат. 2349838 Российская Федерация, МПК F23N1/02. Способ автоматического регулирования подачи воздуха в топку отопительного котла.; авторы и патентообладатели Ямаев А.И, Озеров М.Ю. – 2007103029/06; заявл. 27.07.2008; опубл. 20.03.2009. – 5 с. 15. Пат. 2247900 Российская Федерация, МПК F23N1/02. Способ автоматического регулирования режима горения в топке котла.; авторы Штрамбранд Б.А., Киселев М.В., патентообладатель Штрамбранд Б.А. – 2003107130/06; заявл. 27.09.2004; опубл. 10.03.2005. – 4 с. 16. Запорожець А.О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 1. Алкани // Наукоємні технології. – 2014. – №2. – С. 163-167.

**Поступила в редакцію 01.12.2014р.**

**Рекомендували до друку: Оргкомітет 7-ої МНТК з НК і ТД обладнання (25 – 28.11.2014р., ІФНТУНГ) та докт. техн. наук, проф. Карпаш О.М.**