

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE CONTROL SYSTEM OF FUEL COMBUSTION IN BOILERS

Проведені режимні випробування розробленої системи контролю та керування процесом спалювання палива в котлоагрегатах. Встановлені критерії оптимізації регулювання процесу спалювання палива з підтриманням стехіометричної суміші «повітря-паливо». Досліджені теплотехнічні характеристики котлоагрегату з використанням розробленої системи.

Проведены режимные испытания разработанной системы контроля и управления процессом сжигания топлива в котлоагрегатах. Установлены критерии оптимизации регулирования процесса сжигания топлива с поддержанием стехиометрической смеси «воздух-топливо». Исследованы теплотехнические характеристики котлоагрегата с использованием разработанной системы.

The regime tests of the developed system for monitoring and controlling the combustion of fuel in boiler units of small and medium power (up to 3,5 MW) have been carried out. The carbon monoxide concentration range in the exhaust gases of the NIISTU-5 boiler is determined experimentally, which determines the optimum value of the excess air factor. Possibility of maintainance the optimum value of the air coefficient at different boiler loads is showed. The efficiency of the boiler is compared with the operating card and the developed system under different loads. Thermotechnical and ecological characteristics of the boiler are investigated using the developed system.

Ключові слова: система контролю, спалювання палива, коефіцієнт надлишку повітря

Ключевые слова: система контролю, сжигание топлива, коэффициент избытка воздуха

Keywords: control system, fuel combustion, excess air factor

Вступ. На теперішній час проблема вискоєфективного використання палива на підприємствах комунальної та промислової теплоенергетики України набула національного масштабу. На практиці згідно даних Держкомстату реальний ККД котлоагрегатів малої та середньої потужності знаходиться в межах 70-80%, при цьому їх теплова потужність не перевищує 1,0 МВт [1].

Шляхами виходу комунальної теплоенергетики України з кризового стану є:

- демонтаж застарілого обладнання та введення в експлуатацію нових, переважно імпортних, котлоагрегатів;
- комплексна модернізація існуючого обладнання [2-4].

Перший варіант є малоімовірним, оскільки потребує значних одноразових фінансових інвестицій. Оптимальним рішенням розв'язання даної проблеми є комплексна модернізація існуючих котлоагрегатів на базі маловитратних та швидкоокупних засобів (до 2 років) [5, 6]. Ряд технологій дозволяє досягти значного результату при досить малому капіталовкладенні за допомогою автоматизації управління процесу спалювання [7, 8].

Мета статті і постановка досліджень. Проведені дослідження мали на меті експериментально встановити ефективність застосування розробленої системи на базі водогрійного котла НІСТУ-5.

Для дослідження мети були поставлені наступні завдання:

- встановити значення коефіцієнта надлишку повітря, при якому концентрація монооксиду вуглецю у відхідних газах є мінімальною;
- дослідити можливість підтримання коефіцієнта надлишку повітря у відхідних газах в заданому діапазоні при різних навантаженнях котлоагрегату;
- провести порівняння ефективності функціонування котлоагрегату за режимною картою та з використанням розробленої системи.

Основний текст статті. Дослідження розробленої системи контролю спалювання палива проводилася на базі водогрійного котла НІСТУ-5, розташованого в селі Тарасівка Києво-Святошинського району. Для підвищення ефективності роботи даного котла було виділено основний підхід – модернізація топкового простору котла з повною заміною морально і фізично застарілого пальника та автоматики. Заміна проводилася на базі автоматизованого блоку пальника ПБГМ-0,85 НД (рис. 1), оснащеного розробленою системою для контролю та управління роботою пальника і котла в цілому.



a)



б)

Рис. 1. Реконструкція котла НІСТУ-5 в котельній №5 с. Тарасівка Києво-Святошинського району Київської області: *a* – вигляд до реконструкції; *б* – вигляд після реконструкції

Технічні характеристики котла НІСТУ-5 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики котла НІСТУ-5

Найменування показнику	Значення
Об'єм опалювального приміщення, [м ³]	15000
Номинальна теплопродуктивність, [МВт]	0,63
ККД на газоподібному паливі, %	75
Температура води на виході, [°C]	115
Габарити з обмурівкою, [см]	316x210,5x280

Для перевірки ефективності роботи системи автоматичного керування проводилися режимні випробування при оптимальних значеннях коефіцієнта надлишку повітря (КНП) у відхідних газах. Для забезпечення процесу повного спалювання палива КНП у відхідних газах встановлювався на рівні 1,2 [9]. Даний показник був встановлений на основі експериментальних досліджень, та відповідає мінімальному значенню концентрації [CO] у відхідних газах (рис. 2). При цьому проводилися дослідження можливості забезпечення процесу повного спалювання палива при різних режимах навантаження котлоагрегату в межах від 10% до 100%.

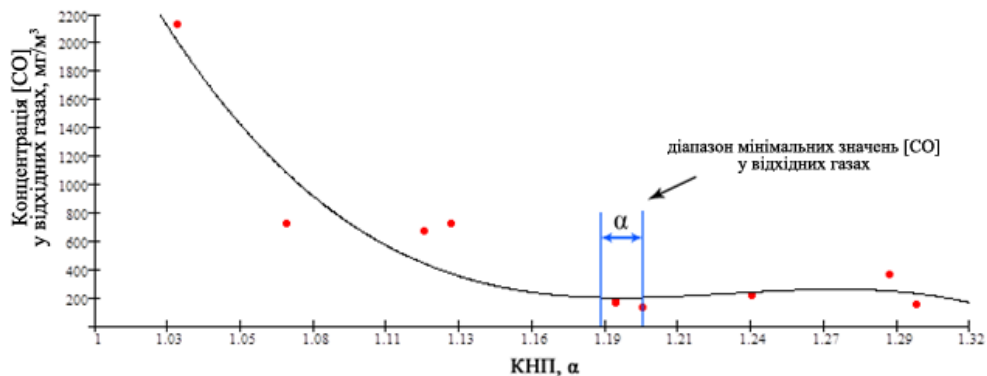


Рис. 2. Залежність [CO] від КНП у відхідних газах

На рис. 3 наведені експериментальні графіки залежності потужності котла від концентрації кисню у відхідних газах.

На рис. 4 наведено показове порівняння залежності ККД котлоагрегату від його потужності при роботі котлоагрегату за режимною картою та при використанні розробленої системи. В ході експерименту показано, що максимальний ККД котлоагрегату $\sim 97,4\%$ досягається на рівні 10% від максимальної потужності. Його величина зменшується лінійно та є мінімальною (ККД=92,4%) при максимальній потужності котлоагрегату. При цьому спостерігаються незначні відхилення від лінійного спаду в діапазоні 0,2 до 0,3 Гкал/год, що пов'язано зі збільшенням швидкості зростання температури відхідних газів. Загальний коефіцієнт детермінації R^2 для залежності зміни ККД від потужності котла склав 0,997 [10].

Як видно з рис. 4 використання системи автоматичного керування процесу спалювання палива дозволяє значно підвищити ККД котлоагрегату при будь-яких навантаженнях котла. При цьому максимальна різниця ККД виникає при навантаженні котла на рівні 20% — $\Delta\text{ККД}_{\text{max}}=22,1\%$, мінімальна різниця ККД спостерігається при максимальному навантаженні — $\Delta\text{ККД}_{\text{min}}=6,5\%$.

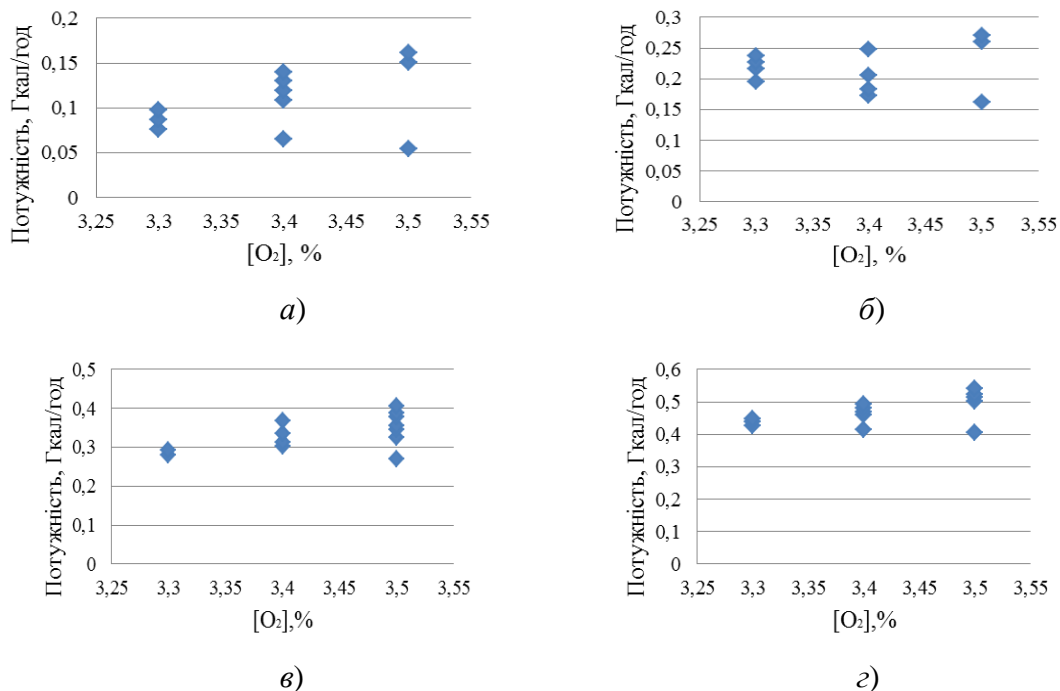


Рис. 3. Експериментальні результати залежності потужності котла від концентрації залишкового кисню у відхідних газах при різних навантаженнях котла:
 а) 10-30%; б) 30-50%; в) 50-75%; г) 75-100%

Таким чином, застосування розробленої системи дозволяє:

- підвищити ефективність спалювання палива з врахуванням фактичних умов, режимів роботи та характеристик палива;
- підвищити ККД котлоагрегату до 20%;

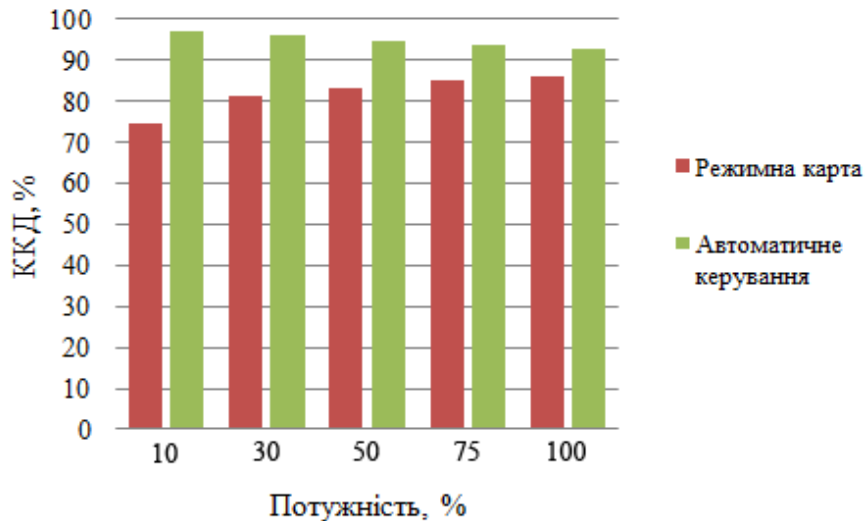


Рис. 4. Порівняння ККД котла за режимною картою та при автоматичному керуванні на базі розробленої системи

- підтримувати максимально можливий ККД при будь-яких режимах експлуатації котлоагрегату;
- зменшити теплові втрати з відхідними газами до 13%;
- звести до мінімуму теплові витрати з хімічним недопалом палива (<0,01%);
- підтримувати стабільний КНП для забезпечення повного спалювання палива;
- збільшити термін експлуатації тягодуттєвих механізмів за рахунок зниження частоти обертання двигуна вентилятора.

Заклучна частина. На базі пальника типу ПБГМ із розробленою системою контролю процесу спалювання палива проведені пуско-налагоджувальні та експлуатаційні випробування котлоагрегату НІСТУ-5. Отримані результати свідчать про можливість високоефективного використання застарілих котлоагрегатів шляхом заміни пальникового пристрою із розробленою системою. Застосування комп'ютеризованої системи контролю процесу спалювання палива дозволило підтримувати номінальний ККД котлоагрегату при будь-яких режимах його функціонування шляхом зменшення втрат теплоти з відхідними газами.

Проведений екологічний аналіз ефективності роботи системи, що засвідчив можливість спалювання палива із викидом шкідливих речовин (CO та NO_x) у відхідних газах на рівні, що не перевищує нормативи Європейського Союзу (<50 ppm).

Економічний аналіз ефективності функціонування системи показав, що окупність впровадження складає менше одного опалювального сезону.

Список використаних джерел

1. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 352 с.
2. Zhang G. Study on optimum excess air coefficient for power plant boilers //2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering (MEIC-15). – Atlantis Press, 2015.
3. Luo W. Exergy-based control strategy selection for flue gas recycle in oxy-fuel combustion plant / W. Luo, Q. Wang, J. Guo, Z. Liu, C. Zheng // Fuel. – 2015. – Т. 161. – С. 87–96.
4. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [В.О. Артемчук, Т.Р. Білан, І.В. Блінов та ін.; за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
5. Şahin F. Effects of engine parameters on ionization current and modeling of excess air coefficient by artificial neural network // Applied Thermal Engineering. – 2015. – Т. 90. – С. 94-101.

6. Houshfar E. Effect of excess air ratio and temperature on NO_x emission from grate combustion of biomass in the staged air combustion scenario / O. Skreiberg, T. Lovast, D. Todorovich, L. Sorum // *Energy Fuels*. – 2011. – T.25, №10. – C. 4643–4654.
7. Ma, L. Effect of the separated overfire air location on the combustion optimization and NO_x reduction of a 600 MWe FW down-fired utility boiler with a novel combustion system / L. Ma, Q. Fang, P. Tan, C. Zhang., G. Chen, D. Lv, X. Duan, Y. Chen // *Applied Energy*. – 2016. – T. 180. C. 104–115.
8. Luo Z. A mode transition strategy from air to oxyfuel combustion in a 35 MW coal-fired power plant boiler / Z. Luo, W. Cheng, B. Wu, Y. Zhao, J. Zhang // *Korean Journal of Chemical Engineering*. – 2017. – T. 34. – №. 5. – C. 1554-1562.
9. Babak V. P. Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration / V.P. Babak, V.M. Mokiychuk, A.A. Zaporozhets, A.A. Redko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6. – №8 (84). – P. 54-59.
10. Innovations in technical and natural sciences: Monograph, Volume 4/ ed. by P. Busch. – Vienna: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017. – 134 p.

1. Babak, V. P., Beregun, V.S., Burova, Z.A., Vorobjev, L.Y., Dekusha L.V., Dekusha, O.L., Zaporozhets, A.O., Kovtun, S.I., Krasilnikov, O.I., Nazarenko, O.O. & Polobjuk, T.A. (2016). *Aparatno-programne zabezpechennja monitoryngu ob'ektiv generuvannja, transportuvannja ta spozhyvannja teplovoi' energii'*. Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine.
2. Zhang, G. (2015, April). Study on optimum excess air coefficient for power plant boilers. In *2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering (MEIC-15)*. Atlantis Press.
3. Luo, W., Wang, Q., Guo, J., Liu, Z., Zheng, C. (2015). Exergy-based control strategy selection for flue gas recycle in oxy-fuel combustion plant. *Fuel*, 161, 87–96.
4. Artemchuk, V.O., Bilan, T.R., Blinov, I.V., Dekusha, O.L., Zaporozhets, A.O., Ivanov, G.A., Ivanov, S.O., Kovach, V.O., Kovtun, S.I., Marasin, O.V., Martynjuk, O.V., Miroshnyk, V.O., Popov, O.O., Simeyko, K.V., Stanytsina, V.V., Tankevych, S.Ye., Schokina, V.A., Yatsyshyn, A.V. & Yatsyshyn, T.M. (2017). *Teoretychni ta prykladni osnovy ekonomichnogo, ekologichnogo ta tehnologichnogo funkcionuvannja ob'ektiv energetyky*. Department of Physical and Technical Problems of Power Engineering.
5. Şahin, F. (2015). Effects of engine parameters on ionization current and modeling of excess air coefficient by artificial neural network. *Applied Thermal Engineering*, 90, 94-101.
6. Houshfar, E., Skreiberg, O., Lovast, T., Todorovich, D., Sorum, L. (2011). Effect of excess air ratio and temperature on NO_x emission from grate combustion of biomass in the staged air combustion scenario. *Energy Fuels*, 25, 4643–4654.
7. Ma, L., Fang, Q., Tan, P., Zhang, C., Chen, G., Lv, D., Duan, X., Chen, Y. (2016). Effect of the separated overfire air location on the combustion optimization and NO_x reduction of a 600 MWe FW down-fired utility boiler with a novel combustion system. *Applied Energy*, 180, 104-115.
8. Luo, Z., Cheng, W., Wu, B., Zhao, Y., & Zhang, J. (2017). A mode transition strategy from air to oxyfuel combustion in a 35 MW coal-fired power plant boiler. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(5), 1554-1562.
9. Babak, V.P., Mokiychuk, V.M., Zaporozhets, A.A. & Redko, A.A. (2017). Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(8).
10. Litvishko, V., Litvishko, O., Myaskovskaya, T., Isaqov, V.Y., Yusupova, M.A., Matveeva, L.I., Yarzhemsky, A.S., Khadzaragova E.A., Bagaeva, M.E., Valeeva, E.R., Ziyatdinova, A.I., Serazetdinova, F.I., Mikhaylin, E.S., Stepanova, N.V., Fomina, S.F., Yusupova, N.Z., Khairullina, L.R., Zaporozhets, A., Redko, O., Zamurnjak, O. & Nikulin, O.V. (2017). *Innovations in technical and natural sciences*, 4. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH.