

УДК 696.2

аспірант **Олександр Борковський**,  
[oleksandr.borkovskyi@gmail.com](mailto:oleksandr.borkovskyi@gmail.com),  
ORCID: 0009-0004-6228-8318

Старший науковий співробітник **Олег Скляренко**,  
[Somgaz27@gmail.com](mailto:Somgaz27@gmail.com),  
ORCID: 0009-0003-1347-7043

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНИХ ГАЗОВИХ КОТЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ПРЕСПЕКТИВНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ТОПКОВИХ ПРОЦЕСІВ**

***Анотація.** Проведені теплотехнічні дослідження сучасних котлів малої потужності (до 100 кВт) вітчизняних та зарубіжних виробників на природному газі близьких до номінальних режимів роботи. Отримані параметри узагальнені. Оскільки в опалювальному сезоні котли в більшості працюють на мінімальних і середніх режимах потужності, виконувалися дослідження теплоагрегатів фірми Viessmann Group марки «Vitogas 050», теплопродуктивністю 35 кВт, обладнаних атмосферними пальниками різних модифікацій з регульованою потужністю 20 – 100 % і 65 – 100 %. З метою пошуків підвищення енергетичних і екологічних показників та наближення вимог Європейських стандартів виконувалися дослідження режимів згоряння газу в апараті АОГВ 13 С в умовах фактичної експлуатації. В апараті змінювалися різні комплекти автоматизації пальникового пристрою. Аналіз науково-практичних особливостей котлів малої потужності та їх екологічні показники свідчать, що процес горіння повністю не завершується і в навколишнє середовище викидається значна кількість шкідливих продуктів не повного горіння. Головною причиною цього явища є відносно низька реакційна спроможність природних газоподібних вуглеводнів. Це свідчить, що наявні технологічні методи не вирішують ефективно сумішоутворення між киснем і горючим паливом. Без принципових змін організації топкових процесів розробка майбутньої теплогенеруючої техніки не має перспективи. Потрібен перехід на нові принципи згоряння вуглеводів, що базуються на ініціюванні термохімічних реакцій у топкових процесах горіння. Підвищення реакційної спроможності сумішоутворення може бути при застосуванні активних радикалів озону, що в пілотних дослідженнях дали позитивний результат.*

***Ключові слова.** Котли газові, еколого-енергетичні параметри, сумішоутворення, інтенсифікація топкових процесів, шкідливі речовини продуктів горіння, нові принципи процесів горіння.*

**Актуальність проблеми.** Розвиток новітніх технологій у галузі виробництва котлів в Україні має пріоритетний напрямок у зв'язку з неухильним дорожчанням палива, підвищенням вимог, що стосуються стану довкілля та високою конкуренцією з імпортними аналогами. При активній державній підтримці їх впровадження можуть вирішити проблеми комунальної теплоенергетики, спрямованої на економію природного палива, а при підвищенні якісних екологічних параметрів продуктів згоряння - покращити не лише внутрішній ринок котлів, а й збільшити обсяг експорту котлів закордон. Це потребує системного підходу та пошуку нових перспективних рішень розробки, вдосконалення та впровадження новітніх високоефективних технологій процесів горіння.

Сучасні вимоги до котельного обладнання наведені в Європейських документах [1, 2, 3]. На базі яких був прийнятий план скорочення викидів від спалювальних установок.

**Основні дослідження та публікації.** Основними критеріями ефективності теплогенераторів (котлів) вважається його ККД та екологічні показники, які залежать від багатьох факторів - але в першу чергу, визначаються конструкціями пальника і топки, в якій відбуваються хімічні перетворення з виділенням теплоти.

Проведено широкий огляд наукових робіт, як у частині публікацій, так і міжнародних дослідницьких проєктів, пов'язаних з питаннями енергоефективності джерел тепла.

Велика кількість досліджень в цьому напрямку [4, 5, 6, 7, 8] спрямовані на збільшення ККД котла, інтенсифікацію теплообміну в топкових камерах за рахунок збільшення конвективної і радіаційної складових, забезпечення стійкості горіння та зменшенню викидів CO і NO<sub>x</sub>. Застосування вторинних випромінювачів змінює температуру продуктів згоряння, ступінь чорноти топки та аеродинаміку процесів.

Коефіцієнт корисної дії - це комплексний параметр, який складається з ККД горіння та використання виділеної теплоти. Ефективність цих показників залежить від конструктивних рішень теплогенераторів.

Особливість котлів малої потужності полягає в компактності топки, високій ступені екранування та теплонарузі. Температура відхідних газів з топки нижча, ніж в котлах середньої та великої потужності.

Пальникові пристрої взаємодіють з топкою і суттєво впливають на екологічні та економічні показники. Важливим параметром є коефіцієнт граничного регулювання теплової потужності, що необхідно враховувати в експлуатаційних режимах для надійності та безпеки.

Традиційною задачею залишається організація режиму повноти горіння,

при коефіцієнті надлишку повітря, наближеного до стехіометричних значень. Ця вимога може бути виконана в пальниках з повним попереднім змішуванням, де реалізується кінетичний процес горіння. При цьому досягається високий температурний режим топкового об'єму ( $t > 1500$  °C), що сприяє активному утворенню  $\text{NO}_x$ .

Для нейтралізації парникових та шкідливих речовин ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ), існує чимало способів, серед яких: зниження теплового напруження топки, скорочення часу знаходження газів в зоні високих температур, робота пальника в дискретному режимі і т.п. Особливості та ефективність способів досліджуються та публікуються в наукових працях вітчизняних та іноземних вчених [9, 10, 11, 12].

Питання підвищення еколого-енергетичних показників газових котлів особливо важливе в контексті зростаючих вимог щодо скорочення викидів парникових газів і вказівок, пов'язаних із планом декарбонізації для країн Європейського співтовариства [13].

**Формування цілей.** Метою роботи є дослідження екологічних і енергетичних характеристик сучасних котлів різних модифікацій вітчизняного та зарубіжного виробництва теплопродуктивністю до 100 кВт. На базі виконаних досліджень сформулювати науково-практичні висновки та навести перспективні технології зниження викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

**Основна частина.** В світовій енергетиці за останні роки пріоритетне місце займають проблеми охорони навколишнього довкілля. Екологічні аспекти набувають все більшого значення, особливо при використанні органічного палива. З метою вивчення еколого-енергетичних показників процесу горіння в сучасних опалювальних котлах малої потужності багаточисельних конструкцій і модифікацій були проведені вогневі випробування, максимально наближені до реальних умов, в ДП Сертифікаційний випробувальний центр опалювального обладнання (м. Київ).

Виконані дослідження проведені при наступних показниках роботи котлоагрегатів:

- нижча теплота згоряння  $Q_{н}^p$  (35294 - 36480) кДж/нм<sup>3</sup>;
- коефіцієнт надлишку повітря 1,1 - 1,25;
- коефіцієнт робочого регулювання для ежекційного пальника з  $\alpha > 1$  дорівнює 1,55, для пальника з  $\alpha < 1$  відповідно 4,0.

Результати досліджень опалювальних котлів потужністю 7,5 – 100 кВт наведені на рис. 1 - 3, при номінальних режимах їх роботи. Отримані параметри узагальнені та характеризуються наступними теплотехнічними показниками: ККД – 88 - 93 %, температура відхідних газів – 90 - 140 °C; втрати тепла з

відхідними продуктами згоряння – 7,5 - 8,5 %.

Екологічні показники: оксиди азоту  $\text{NO}_x$  – 85 - 269 мг/кВт год; оксиди вуглецю  $\text{CO}$  – 9 - 136 мг/кВт год; двооксид вуглецю  $\text{CO}_2$  – 5 - 10 %.

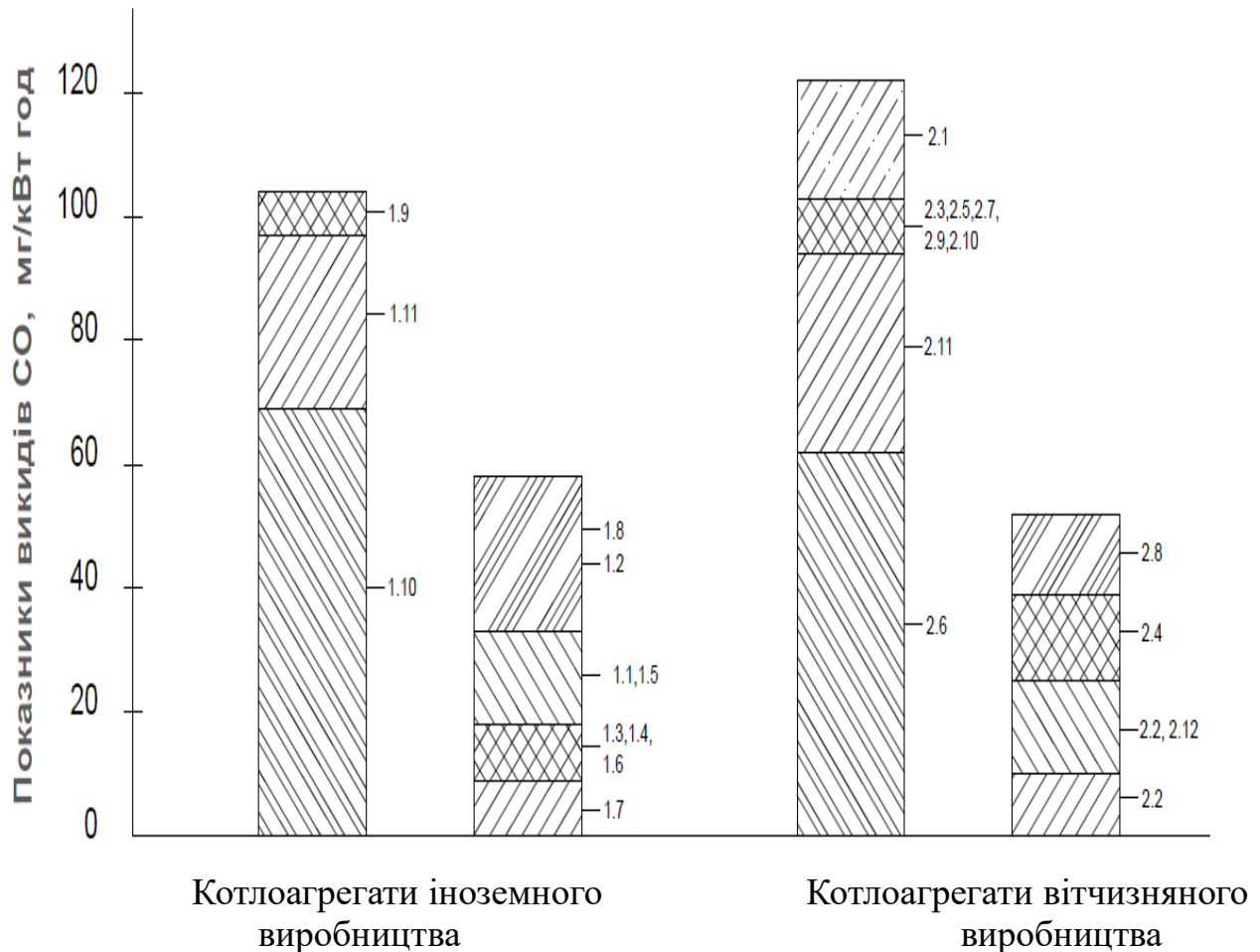


Рис. 1. Показники викидів  $\text{CO}$  котлоагрегатів при номінальних режимах:  
 Іноземного виробництва: 1.1 - VICTORIA COMPACT CTFS 24 AF; 1.2 - CITY 24 C.A.I.;  
 1.3 - ZC-18 HE; 1.4 - BME 10/20Ei; 1.5 - ATTACK 50 PLQ; 6 - СК-36 HE; 1.7 - C-24 H;  
 1.8 - MV-21; 1.9 - CIAO S 24 C.S.I.; 1.10 - BALI RTN E 32; 1.11 - RB-256 DMF.  
 Вітчизняного виробництва: 2.1 - АОГВ-13; 2.2 - КС-Г-100; 2.3 - РЮ-12 SB; 2.4 - КОГВ-  
 96; 2.5 - РЮ-100 Е; 2.6 - ГНОМ-2И; 2.7 - SAAB-96X; 2.8 - КВК-100-ТГ; 2.9 - АОГВ-7,5;  
 2.10 - ЛАДА-25; 2.11 - МАЯК-80Е; 2.12 - РІВНЕТЕРМ-80Х.

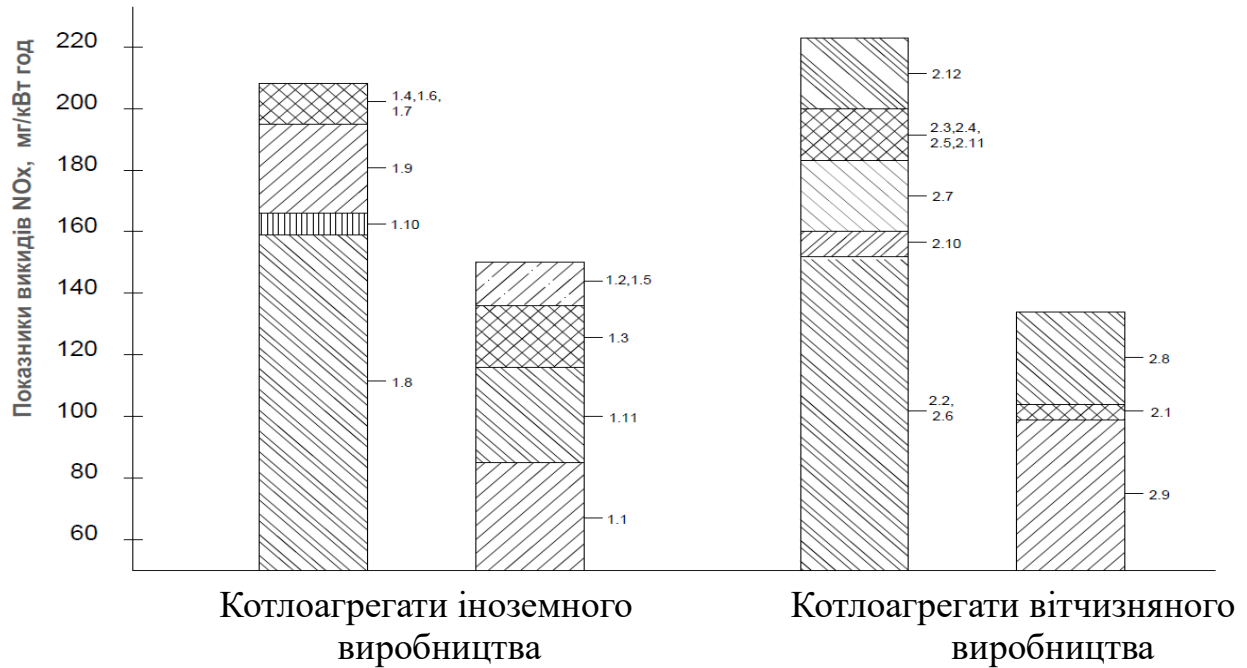


Рис. 2. Показники викидів NO<sub>x</sub> котлоагрегатів при номінальних режимах: позначення див. рис. 1

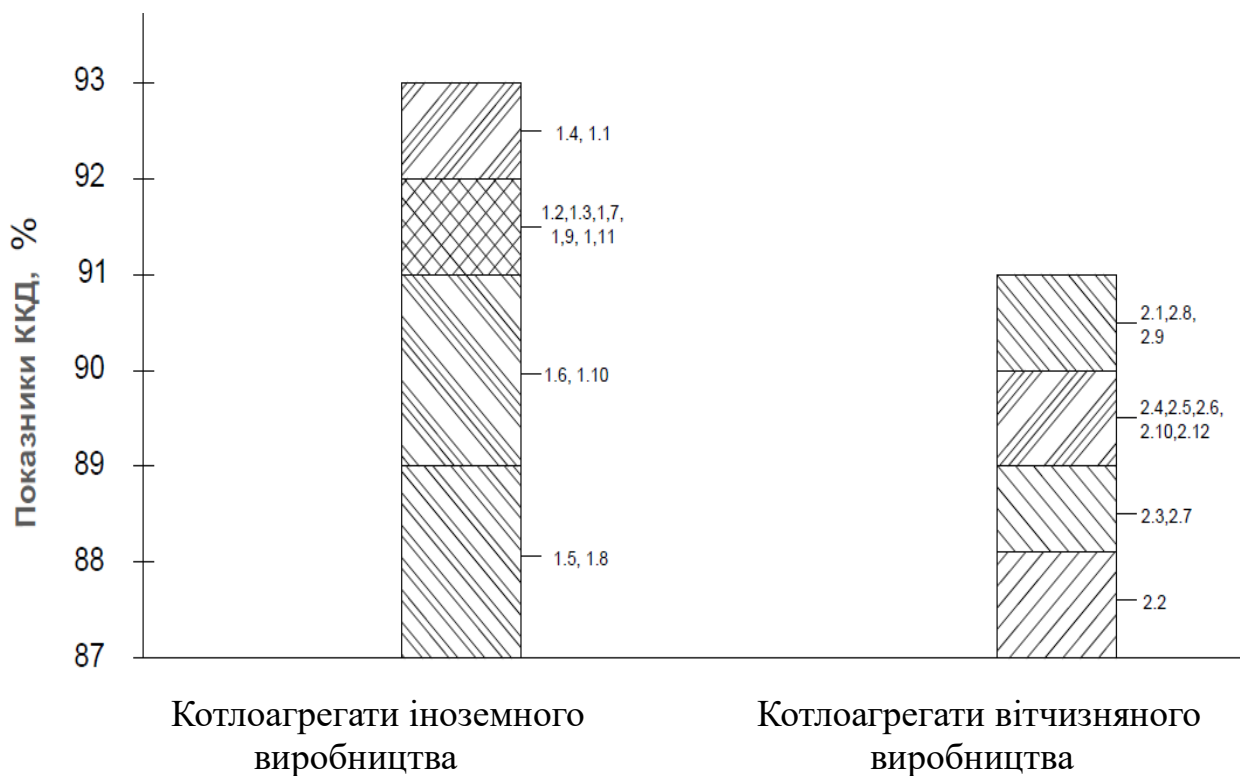


Рис. 3. Показники ККД котлоагрегатів при номінальних режимах: позначення див. рис. 1

Вимоги і норми за рівнем забруднення  $\text{NO}_x$  в котлах викладені в ДСТУ EN 15502 [2] та поділяються на класи: 1-й до 260 мг/кВт год; 2-й до 200 мг/кВт год; 3-й до 150 мг/кВт год; 4-й до 100 мг/кВт год; 5-й до 70 мг/кВт год; 6-й до 56 мг/кВт год;

Порівняльний аналіз показав, що деякі котли мають високі значення  $\text{NO}_x$ , та при доопрацюванні можливо отримати суттєво знижені показники.

Подальші дослідження були спрямовані на зниження екологічних показників при оптимізаційно-обґрунтованій комплектації автоматизованого пальника з топковим об'ємом. Наприклад, при модернізації вітчизняного виробництва апарату АОГВ 13С (рис. 4), шляхом встановлення автоматики SIT 630 Термо (Італія) або АРБАТ 11 (Україна) та заміні палиникового комплексу власного виробництва Термо на серійний комплект Polidoro (Італія) - показники викидів СО суттєво знизилися.

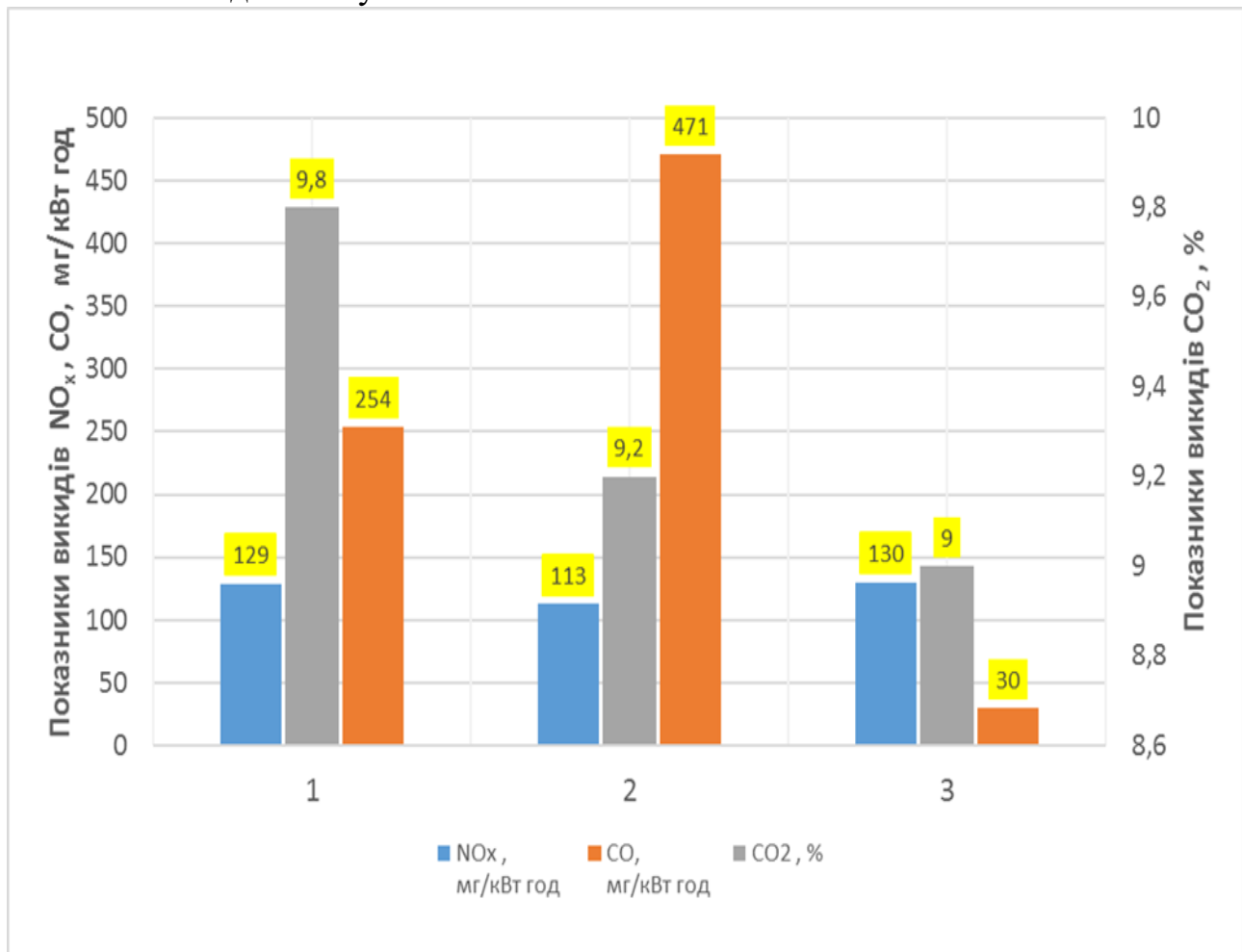


Рис. 4. Показники викидів  $\text{NO}_x$  СО,  $\text{CO}_2$ , апарата АОГВ-13С з різними автоматиками та пальниками

1 - АОГВ-13С / АРБАТ 11 Polidoro; 2 - АОГВ-13С / SIT 630 Термо;

3 - АОГВ-13С / SIT 630 Polidoro.

Це свідчить про тісний взаємозв'язок показників екології та якісних характеристик комплектуючих обладнання, що зумовлено передусім наявністю високоточного обладнання, затратою ресурсів на розробку. Як показує практика - дешевий паликовий комплект працює найчастіше з завищеними екологічними показниками.

Діоксид вуглецю  $\text{CO}_2$ , метан  $\text{CH}_4$ , закис азоту  $\text{N}_2\text{O}$  – це значущі парникові гази, що надходять в атмосферу.  $\text{CO}_2$  - основний продукт реакції горіння при спалюванні всіх видів викопного палива. При використанні газоподібних палив викиди  $\text{CO}_2$  значно менші в порівнянні з іншими викидами палива [11].

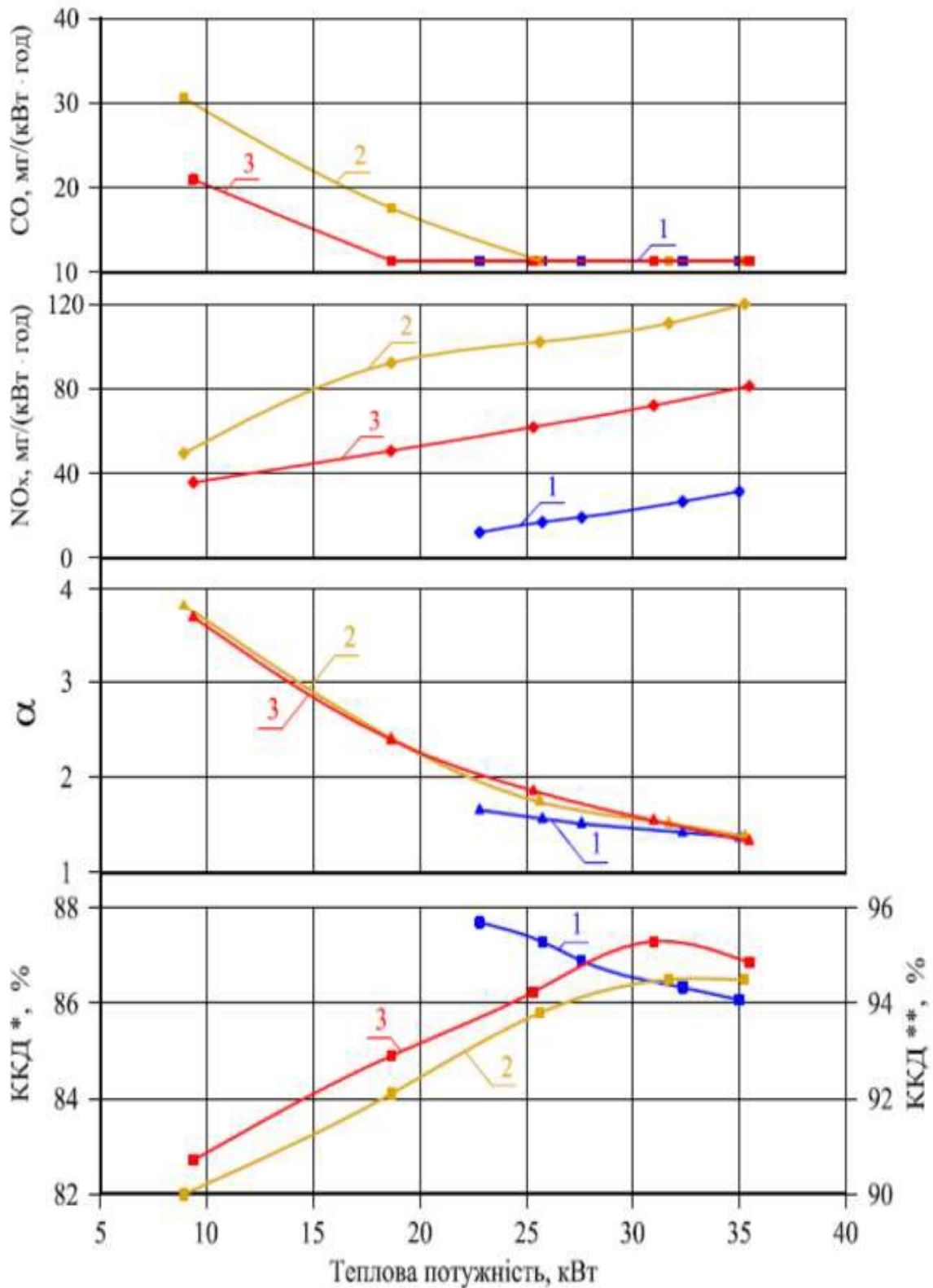
Європейські експерти вимагають в найближчі роки зменшити викиди  $\text{CO}_2$  в атмосферу на 50 %.

В реальних умовах, експлуатація котлів малої потужності в опалювальному сезоні, як правило використовується на середньому, чи мінімальному режимах. Були проведені дослідження [14] екологічних показників на серійному газовому котлі фірми Viessmann Group марки «Vitogas 050», теплопродуктивністю 35 кВт, застосовуючи ежекційні пальники низького тиску різної модифікації: з частковим попереднім змішуванням (без охолоджуючих стрижнів і з ними), а також з повним попереднім змішуванням  $\alpha > 1$ . Конструкція котла дозволяє використовувати серійні пальники наведених типів. Пальники з  $\alpha < 1$  мають широкий діапазон регулювання потужності (від 20 % до 100 %). Широко застосовуються в малометражних котлах пальники з  $\alpha > 1$  з одноступеневим режимом регулювання потужності (від 65 % до 100 %) відрізняються процесом сумішоутворення, при якому швидкість реакції збільшується, полум'я стає коротким.

На рис. 5 наведено результати еколого-енергетичних випробувань котла «Vitogas 050». Мінімальна потужність котла з пальником  $\alpha > 1$  складає 22,5 кВт при тиску 600 Па, нижче якого експлуатація небезпечна через нестійке горіння. При номінальній потужності 30 - 35 кВт коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ ) близький до 1,4.

Наведені залежності емісій  $\text{NO}_x$  з атмосферними пальниками різних модифікацій знаходяться в межах третього класу за нормами ДСТУ EN 15502.





**Рис. 5. Теплотехнічні показники котла «Vitogas 050» при різних теплових потужностях.**

1 - з паливом із  $\alpha > 1$ ; 2 - з паливом із  $\alpha < 1$ ; 3 - з паливом із  $\alpha < 1$  з охолоджуючими стрижнями.



**Висновки.** Показники поступового наближення законодавств України і Європейського Союзу у сфері охорони навколишнього середовища сприяють розвитку активних технологічних методів зменшення викидів токсичних речовин від теплоенергетичних агрегатів різної потужності.

Виконані дослідження на вогневих установках, показують, що процеси горіння повністю не завершуються та в атмосферу потрапляє велика кількість шкідливих речовин у вигляді  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{CO}_2$ .

Більшість інженерних методів зниження емісії забруднюючих речовин спрямовані на застосування автоматизованих пального пристроїв удосконалених конструкцій та модернізації топкових об'ємів. Однак, існуючі технології не в повному об'ємі виконують ефективну організацію сумішоутворення між киснем і горючим паливом в результаті низької реакційної спроможності вуглеводнів та окислювача. Перспективним рішенням цієї проблеми може бути перехід на нові принципи спалювання вуглеводнів, які засновані на застосуванні активних радикалів озону, що впливають на кінетику сумішоутворення та прискорюють реакції горіння. Продовжуються дослідження по інтенсифікації процесів горіння під впливом електричного розряду, електромагнітного поля, лазерного випромінювання.

## **References**

1. Dyrektyva Rady 92/42/JeES pro vymohy do efektyvnosti novykh vodonahrivalnykh kotliv na ridkomu abo hazopodibnomu palyvi, Ofitsiyni zhurnal Yevropeiskoho Soiuzu, L 167, 22.6.1992, s. 17-28, <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/42/2013-09-26>. (in Ukrainian).
2. DSTU EN 15502-1:2017 Kotly opaliuvalni na hazovomu palyvi. Chastyna 1. Zahalni vymohy ta vyprobuvannia (EN 15502-1:2012+A1:2015, IDT). (in Ukrainian).
3. DSTU EN 15502-2-1:2019 Kotly hazovi dlia tsentralnogo opalennia. Chastyna 2-1. Spetsialnyi standart dlia prykladiv typu C ta prykladiv typiv B2, B3 ta B5 z nominalnoiu teplovoiu potuzhnistiu ne bilshе nizh 1000 kVt (EN 15502-2-1:2012, IDT). (in Ukrainian).
4. Syhal Y.I. Malozatratnie metodi rekonstruktsyy sushchestvuiushchykh kotlov. K - 2002, Sbornyk trudov 12 konferentsyy, Problemi ekolohyy u ekspluatatsyy obektov enerhetyky. (In Russian).
5. Dolinskii, A. A., Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., Gnedash, G. A. (2014). Osnovnie printsipi sozdaniya teploutilizatsionnykh tekhnologii dlya kotelnikh maloi energetiki. Promishlennaya teplotekhnika, 36 (4), s. 27-36. (In Russian).
6. Ukraina i efektyvnist maloi enerhetyky, s. 229. (in Ukrainian).

7. Gr. Bartnicki, M. Klimczak, P. Ziembicki Evaluation of the effects of optimization of gas boiler burner control by means of an innovative method of Fuel Input Factor, *Energy*, V.263, Part D: 2023, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125708>. (in English).
8. "Metodicheskoe posobie po provedeniyu kompleksnikh ekologo-teplotekhnicheskikh ispitaniy kotlov, rabotayushchikh na gaze i mazute" (Kiev, "Institut gaza Akademii nauk Ukraini", 1992). (In Russian).
9. Demchenko V.G. Snizhenie vibrosov NO<sub>x</sub> putyom ustanovki v topku kotla ekranov otrazhatelei. // Aktualnie voprosi teplofiziki i fizicheskoi gidrodinamiki. Alushta 2005, s. 112, 113. (In Russian).
10. J. Hinrichs, St. Schweitzer - De Bortoli, H. Pitsch 3D modeling framework and investigation of pollutant formation in a condensing gas boiler, *Fuel*, V.300: 2021, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120916>. (in English).
11. M. Logvinyuk, Є. Novakivskii Zmenschennya vikidiv NO<sub>x</sub>, shlyakhom stupenevogo spalyuvannya paliva, *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «KhPI»*. Seriya: Yenergetichni ta teplotekhnichni protsesi y ustatkuvannya, Vip.3:2023, s.18-23, <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.03.03>. (in Ukrainian).
12. Fialko N.M. Teplovie metodi zashchiti gazootvodyashchikh traktov kotelnikh ustanovok s glubokim okhlazhdeniem dimovikh gazov / N.M. Fialko, R.A. Navrodskeya, S.I. Shevchuk, G.A. Presich, G.A. Gnedash // *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezultati, tekhnologii : sb. nauch. tr. – Ser.: Tekhnicheskie i yestestvennie nauki. – 2014. – № 2 (15). – s. 13-17*. (In Russian).
13. Ugoda pro asotsiatsiyu mizh Ukraïnoyu, z odnieï storoni, ta Ėvropeiskim Soyuzom, Ėvropeiskim spivtovaristvom z atomnoï yenergiï i ikhnimi derzhavami-chlenami, z inshoï storoni vid 30.11.2015 r. [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text). (in Ukrainian).
14. O. Sklyarenko, O. Romanov Yenergetichni ta yekologichni pokazniki suchasnikh malometraznikh gazovikh kotliv v protsesi yekspluatatsii, Ventilyatsiya, osvitlenniya ta teplogazopostachannya: nauk. – tekhn. zb. / Kiïv. nats. un-t bud-va i arkhitekturi – Kiev, 2014, Vip. 17. – s. 84 – 88, <https://repository.knuba.edu.ua/items/2a036275-8df9-486d-86d2-e627840d2a9e>. (in Ukrainian).

UDC 696.2

post-graduate **Oleksandr Borkovskiy**,  
[oleksandr.borkovskiy@gmail.com](mailto:oleksandr.borkovskiy@gmail.com),

ORCID: 0009-0004-6228-8318

senior researcher **Oleh Skliarenko**,

[Somgaz27@gmail.com](mailto:Somgaz27@gmail.com),

ORCID: 0009-0003-1347-7043

Kiev National University of Construction and Architecture

## DETERMINATION OF ECOLOGICAL END ENERGY CHARACTERISTICS OF MODERN LOW-POWER GAS BOILERS AND PROSPECTIVE DEVELOPMENT TECHNOLOGIES OF FURNACE PROCESSES

**Annotation.** *Conducted heat engineering studies of modern low-power boilers (up to 100 kW) of domestic and foreign manufacturers on natural gas close to nominal operating modes. The obtained parameters are generalized. Since in the heating season, most boilers operate at minimum and average power modes, studies of Viessmann Group heating units of the brand "Vitogas 050", with a heat output of 35 kW, equipped with atmospheric burners of various modifications with adjustable power of 20 – 100 % and 65 – 100 % were carried out. In order to search for increasing energy and environmental indicators and approaching the requirements of European standards, studies of gas combustion modes in the AOGV 13 C apparatus under actual operating conditions were carried out. Various sets of automation of the burner device were changed in the apparatus. Analysis of scientific and practical features of low-power boilers and their environmental indicators show that the combustion process is not completely completed and a significant amount of harmful products of incomplete combustion are released into the environment. The main reason for this phenomenon is the relatively low reactivity of natural gaseous hydrocarbons. This shows that existing technological methods do not solve the problem of organizing effective mixture formation between oxygen and combustible fuel. Without fundamental changes in the organization of combustion processes, the development of future heat-generating equipment has no prospects. It is necessary to switch to new principles of hydrocarbon combustion, based on the initiation of thermochemical reactions in combustion processes in combustion processes. The reactivity of mixture formation can be increased by using active ozone radicals, which gave an effective results in pilot testings.*

**Key words.** *Gas boilers, environmental and energy parameters, mixture formation, intensification of combustion processes, harmful substances in combustion products, new principles of combustion processes.*