

## МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ НА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проведено дослідження по зниженню викидів оксидів азоту на водогрійному котлі типу ТВГ-8 при роботі на природному газі. Визначено можливість приведення викидів шкідливих речовин до поточних вимог Європейського Союзу. Визначено можливість роботи котла при знижених викидах оксидів азоту без росту викидів оксиду вуглецю.*

**Ключові слова:** Зниження викидів оксидів азоту, рециркуляція димових газів, струменево-нишова технологія

### *Abstract*

*A study was carried out to reduce nitrogen oxides emissions from a natural gas fired TVG-8 hot-water boiler. The possibility of bringing the emissions of greenhouse gases and air pollutants to the current standards of the European Union was determined. The possibility of boiler operation with reduced nitrogen oxides emissions without an increase in carbon monoxide emissions was determined.*

**Keywords:** Reduction of nitrogen oxides emissions, flue gas recirculation, jet niche technology

### **Вступ**

Використання газу як основного енергоносія та основної хімічної сировини лежить в основі функціонування та розвитку таких важливих галузей промисловості як електроенергетика, металургійна, хімічна, нафтопереробна, цементна, машинобудівна та ін. [1]. Значний відсоток газу споживають комунальні підприємства для надання послуг централізованого теплопостачання. Переважну кількість теплової генерації в комунальній енергетиці складають водогрійні котли на природному газі спроектовані більше 40 років тому без належної модернізації. Оксиди азоту та вуглецю є одними з основних шкідливих елементів, що утворюються під час спалювання природного газу. Як відомо, оксиди азоту є складовою атмосфери, але парникова активність оксиду азоту в 298 разів вища, ніж у вуглекислого газу [2].

Відповідно до вимог європейських директив, викиди оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) для нових котлів котрі працюють на природному газі, мають не перевищувати 100 мг/нм<sup>3</sup> [3] [4]. В той же час відповідно до директиви котра обмежує викиди окремих забруднюючих речовин в атмосферне повітря від установок середньої потужності, для існуючих котлоагрегатів від 5 МВт до 50 МВт викиди не повинні перевищувати 200 мг/нм<sup>3</sup>.

Враховуючи вищевказані вимоги щодо викидів шкідливих речовин та курс України до вступу в Європейський Союз (ЄС), вкрай важливим є приведення української нормативної бази та відповідно параметрів роботи обладнання до стандартів ЄС.

### **Результати досліджень**

В якості об'єкта дослідження взято котел ТВГ-8 введений в експлуатацію 1971 році. Водогрійний котел ТВГ-8, призначений для використання в системі опалення та гарячого водопостачання. Котел має одну топку розділену трьома рядами вертикальних труб та конвективну частину. Котел обладнаний чотирма подовими пальниками із застарілою конструкцією по засобу спалювання газу, розташованими з фронтової сторони котла. В якості палива використовується природний газ. Резервне паливо

відсутнє. Продукти згорання викидаються в атмосферу димовою трубою, висотою 35 м,  $d=2,2$  м.

Даний котел є широко розповсюдженим в комунальній енергетиці України та постійно піддається модернізації шляхом автоматизації та заміни палинкових пристроїв. Застосування палинкових пристроїв різних виробників на жаль не надавало раніше суттєвого впливу на викиди оксидів азоту. Слід зазначити, що в разі встановлення даного котла на котельні разом з іншим обладнанням загальною потужністю більше 50 МВт, на всі об'єкти теплової генерації застосовується норма в  $100 \text{ мг/нм}^3$  [3], що є не досяжним для старих водогрійних котлів.

Для дослідження було проведено комплексну модернізацію котла включно з заміною штатних палинкових пристроїв на сучасні палинкові пристрої на базі струменево-нишової технології спалювання палива без зміни компоновки топки котла та із застосування додаткових заходів зниження викидів шкідливих речовин шляхом організації рециркуляції димових газів. Слід зазначити, що жодних робіт по заміні екранних та конвективних поверхонь котла не виконувалося. Також не було виконано жодних робіт по ремонту ізоляції котла.

Роботи проводилися в три етапи:

- 1) Проектні вишукування, проведення розрахунків та проектування;
- 2) будівельно-монтажні роботи;
- 3) еколого-теплотехнічні випробування.

На третьому етапі визначено еколого-теплотехнічні характеристики роботи котлоагрегата, виконано комплексну інвентаризацію шкідливих викидів в атмосферу, встановлені оптимальні еколого-економічні режими роботи обладнання при мінімальних питомих витратах палива та мінімальних викидах шкідливих речовин в атмосферу.

На рисунку 1 наведено результати проведення еколого-теплотехнічних випробувань котла. Було досягнуто викиди  $\text{NO}_x$  нижче рівня допустимих граничних викидів котрі застосовуються для нового обладнання.

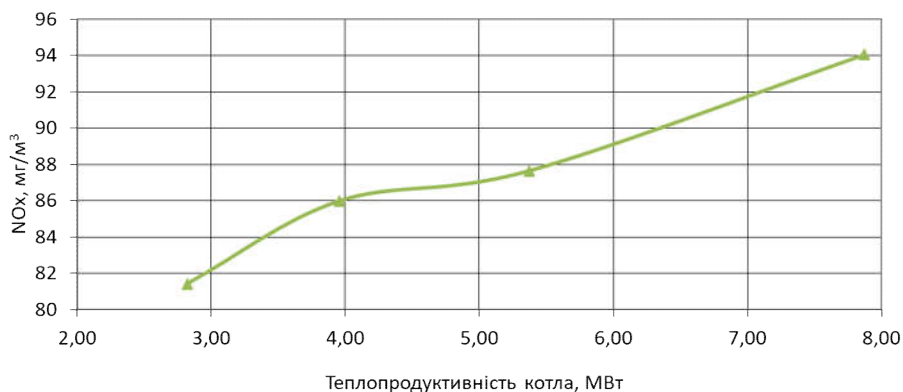


Рис. 1. Залежність  $\text{NO}_x$  від теплопродуктивності

Струменево-нишова технологія характеризується високою стійкою регульованою структурою течії палива, окисника та продуктів згорання, а також саморегульованістю складу паливної суміші в зоні стабілізації факелу [5]. Цей фактор є вирішальним при застосуванні рециркуляції димових газів. Технічні особливості струменево-нишової технології дозволяють застосовувати широкий діапазон рециркуляції димових газів. Незважаючи на технічні переваги технології при розподілі палива в потіці окислювача та стабілізації горіння, надважливим елементом випробувань було визначення оптимального відсотку рециркуляції димових газів. Збільшення відсотку рециркуляції димових газів може призводити до підвищення викидів  $\text{CO}$ . На малюнку 2 показано досягнуте оптимальне пониження викидів  $\text{NO}_x$  при наявності слідів  $\text{CO}$  у димових газах. Потрібно враховувати, що відсутність автоматичного регулювання паливної суміші в залежності від фактичного складу димових газів при стехіометричному горінні може призвести до збіднення суміші при горінні за рахунок зміни температури, а відповідно і вмісту кисню в повітрі, що подається на горіння. Газові водогрійні котли зазвичай не обладнані системою контролю та регулювання викидів  $\text{NO}_x$ , тому при режимно-налагоджувальних роботах було штучно завищено викиди  $\text{NO}_x$  в той час як фактичні значення без суттєвого підвищення  $\text{CO}$  можна було знизити на 30-40% від зафіксованих.

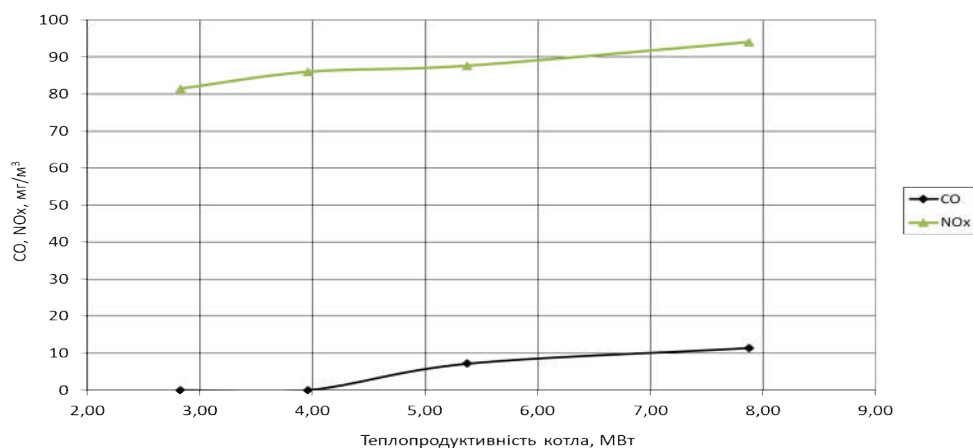


Рис. 2. Залежність NOx та CO від теплопродуктивності котла

### Висновки

Зниження викидів NOx у димових газах водогрійних котлів є ключовим завданням сучасної теплової енергетики, зважаючи на жорсткі екологічні стандарти та необхідність зменшення шкідливого впливу на довкілля. Водогрійні котли спроектовані у радянський період, вже не відповідають сучасним нормам за рівнем викидів NOx. Проведене дослідження продемонструвало наявність технічного рішення по приведенню викидів NOx до сучасних норм без зміни конструкції теплообмінних поверхонь котів. Дослідження довело можливість досягнення самих жорстких вимог по викидам котрі застосовуються для нового обладнання, що не передбачалося при проектуванні котлоагрегату і таким чином продемонструвало потенціал можливої модернізації існуючого котлового парку України.

Модернізація старих водогрійних котлів є вигідним і ефективним рішенням для досягнення екологічних стандартів із мінімальними витратами. Завдяки впровадженню сучасних технологій можна знизити рівень NOx у димових газах, забезпечивши його відповідність директивам ЄС, уникнувши необхідності дороговартісної заміни обладнання. Це рішення сприяє економії ресурсів, покращенню екологічної ситуації та підтримці сталого розвитку підприємств.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Faramawy S., Zaki T., Sakr A. A.-E. Natural gas origin, composition, and processing: A review, Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 34. P. 34–54.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030> (дата звернення: 20.11.2024)
2. Siryi, O. A., Abdulin, M. Z., & Kobylanska, O. O. (2022). Energy-ecological assessment of the boiler equipment modernized with the jet-niche technology. Journal of Mechanical Engineering – Problemy mashynobuduvannya, vol. 25, no. 3, pp. 46–55.  
<https://doi.org/10.15407/pmach2022.03.046>. (дата звернення: 20.11.2024)
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions  
URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj> (дата звернення: 20.11.2024)
4. Directive (EU) 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants  
URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj> (дата звернення: 20.11.2024)
5. Дослідження енергетичних показників струменево-нішевої системи спалювання палива, О. А. Сірий, М. З. Абдулін, Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – № 12 (1288). – С. 89-94.  
URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/36504> (дата звернення: 20.11.2024)

**Жученко Іван Михайлович**— аспірант, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [ivanzhuchenko@gmail.com](mailto:ivanzhuchenko@gmail.com)

Науковий керівник: **Степанов Дмитро Вікторович** — кандидат техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Zhuchenko Ivan** — postgraduate student, Faculty of Building Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [ivanzhuchenko@gmail.com](mailto:ivanzhuchenko@gmail.com)

Supervisor: **Stepanov Dmytro**. — Ph.D. assistant professor, Acting Head of the Department of thermal power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia