

## Підвищення енергоефективності теплогенеруючого обладнання великої потужності

Євген Вакулєнко, аспірант<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0003-0512-0941), Олександр Молодід, аспірант<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0007-4465-4013)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

### АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто сучасну проблему дефіциту природного газу в Україні, що зумовлює зростання його вартості та стимулює пошук альтернативних рішень для зниження витрат газового палива на ТЕЦ і ТЕС. Наголошено на екологічних вимогах, встановлених Енергетичним Співтовариством та національними кліматичними зобов'язаннями, які обмежують викиди CO та NOx до рівня менше 100 мг/нм<sup>3</sup> і потребують зниження парникових газів до 60 % від рівня 1990 року. У межах дослідження запропоновано метод модернізації існуючих котлів за рахунок збагачення дуттьового повітря киснем та впровадження двоступеневого спалювання палива. Мембранне розділення повітря розглянуто як економічно доцільний спосіб підвищення концентрації кисню. Чисельні розрахунки для котла ТП-87 Дарницької ТЕЦ продемонстрували зменшення об'єму теоретично необхідного повітря, зростання ККД та зниження питомих витрат палива.

*Ключові слова:* теплогенеруюче обладнання, екологія, шкідливі викиди, дуттьове повітря, кисень.

### 1. ВСТУП

На сьогоднішній день в Україні гостро стоїть проблема дефіциту природного газу, в зв'язку з чим ціни на газ стрімко зростають, що змушує енергетичні підприємства проводити низку заходів та пошуки нових рішень для зниження витрати газового палива на ТЕЦ та ТЕС [1].

Окрім цього Україна як член Енергетичного Співтовариства зобов'язана дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства. Згідно нього великі спалювальні установки мають обмежити викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Для CO та NOx викиди мають складати < 100 мг/нм<sup>3</sup>. У вересні 2015 року розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.09.2015 № 980-р було схвалено очікуваний національно визначений внесок України до проекту нової глобальної кліматичної угоди, відповідно до якого Україна взяла на себе зобов'язання не перевищити 60% у 2030 році від рівня викидів парникових газів у 1990 році [2]. На сьогодні кожен парогенератор або водогрійний котел великої потужності в Україні не відповідає цим вимогам.

### 2. ПОШУК РІШЕННЯ

За таких обставин виникає жорстка проблема підвищення екологічних характеристик потужного тепло генеруючого обладнання. Проблема можна вирішувати різними методами: замінити застаріле обладнання на нове, що відповідає екологічним умовам, але це дорого та довго або провести модернізацію діючого обладнання.

На кафедрі теплотехніки були проведені пошуки та дослідження можливих методів вирішення даної проблеми. Одним з перспективних методів є збільшення концентрації кисню у дуттьовому повітрі.

Метод кисневого дуття відомий досить давно, його застосовували в металургії. Для потреб енергетики такий метод був занадто дорогим. Але у 70-х роках минулого століття був винайдений метод мембранного розділення повітря, який виявився економічно прийнятним для потреб збагачення дуттьового повітря киснем в енергетиці [3].

Для оцінки дієвості даного методу було проведено чисельне дослідження – тепловий розрахунок котла ТП-87, який встановлений на Дарницькій ТЕЦ в місті Києві. Котел має П-подібну компоновку що найчастіше зустрічається на території України. Це було зроблено для охоплення більшого спектру підприємств, які можуть використовувати даний метод покращення екологічних та економічних показників.

### 3. ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ

До розрахунку прийнята стандартна концентрація кисню та підвищення її з кроком у 2 % до 29 % в дуттьовому повітрі. Розрахунки показали, що зменшується кількість теоретично необхідного повітря для спалювання палива від 9,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при 21% O<sub>2</sub> до 7 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при 29 % O<sub>2</sub> [4]. Відповідно, зменшується теоретична кількість азоту в дуттьовому повітрі. Внаслідок цього зменшуються втрати теплоти з димовими газами, що обумовлює, зростає ККД. Зменшується питома втрата палива, що веде до зниження NOx у продуктах згорання. Однак зменшення кількості азоту у дуттьовому повітрі призводить до зростання температури в зоні горіння. Це сприяє утворенню термічних оксидів азоту в ході горіння [5, 6]. Тому з'являється потреба у пошуку методу зниження генерації термічних NOx [7].

Одним з таких методів є використання методу двоступеневого спалювання палива, коли на першому ступеню подається кількість повітря, менша за теоретично необхідну, а на другому подається стехіометрично необхідний об'єм дуттьового повітря для спалювання 1 кг палива. Внаслідок цього утворюється недопал палива, який призводить до утворення CO у димових газах. Щоб позбутися CO, що утворюється наслідок неповного згорання палива на першому ступені, на другому ступені пропонується додати в топку повітря, збагачене киснем, яке більш якісно допоможе доокисити вуглець та дає можливість звести до 0 втрати теплоти з хімічним недопалом. Який є основною економічною втратою у промислових парогенераторах, які працюють на газовому паливі.

Таким чином пропонується використати комбїнацію двох методів покращення параметрів котлоагрегату, які буду покращувати фізичні, економічні та екологічні показники парогенератора, та доповнювати одне одного, тим самим зменшуючи власний негативний вплив на процес окиснення вуглецю в топці промислового парогенератора.

Результати чисельного моделювання представлені на рис. 1, 2, 3 та 4, які вказують на позитивну зміну в роботі парогенератора.

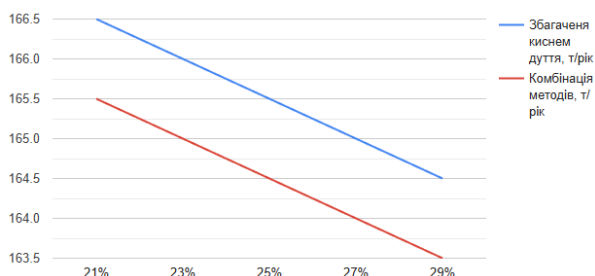


Рисунок 1. Значення валового викиду CO

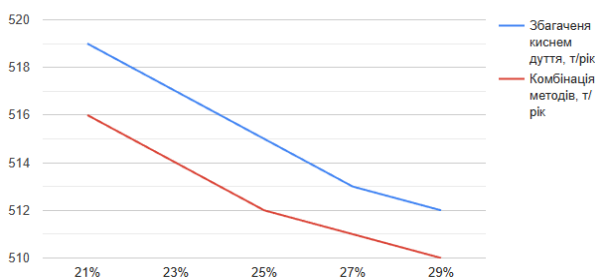


Рисунок 2. Значення валового викиду NOx

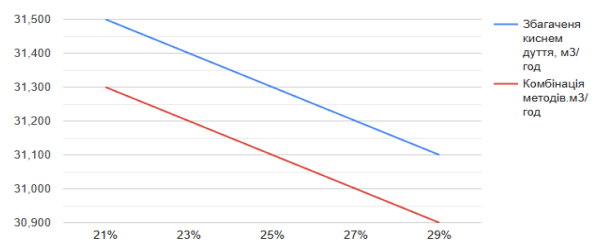


Рисунок 3. Зменшення витрати газу

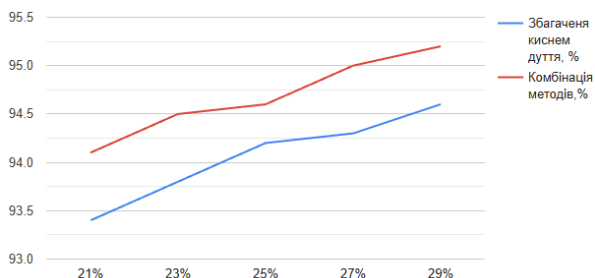


Рисунок 4. Значення ККД

#### 4. ВИСНОВКИ

Отже, організація спалювання природного газу шляхом застосування комбїнованого методу збагачення дуттєвого повітря киснем та двоступеневого спалювання палива є досить перспективним рішенням. Використання кисневого дуття дозволяє зменшити об'єм теоретично необхідного повітря, збільшити температуру в активній зоні топки, зменшити витрату палива, знизити втрати теплоти з димовими газами та підвищити загальний ККД котла. В цей час двоступеневе спалювання забезпечує зменшення утворення термічних оксидів азоту, без погіршення повноти згоряння газового палива.

Отримані результати чисельних розрахунків свідчать про доцільність модернізації діючих котлів за цим принципом, оскільки така технологія сприяє не лише економії палива, та поліпшення ККД застарілого обладнання, а й виконанню екологічних вимог ЄС та міжнародних кліматичних угод. Таким чином, поєднання цих двох методів є перспективним напрямом розвитку теплотехнічного обладнання в енергетиці України.

#### Список літератури

- [1] Марченко О. Ринок газу в Україні: травневе зростання, імпорт і дефіцит ресурсу. <https://ua-energy.org/uk/posts/rynok-hazu-v-ukraini-travneve-zrostannia-import-i-defitsyt-resursu>. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/rynok-hazu-v-ukraini-travneve-zrostannia-import-i-defitsyt-resursu>
- [2] Грузїнська І. Досягнення цілі вуглецевої нейтральності: аналіз наявних вуглецевих ринків та інструментів їх регулювання. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/rynok-hazu-v-ukraini-travneve-zrostannia-import-i-defitsyt-resursu>
- [3] Вакулєнко Є. С. Вирішення проблеми використання не проектного палива на ТЕЦ. «Буд майстер клас 2024». 2024. Т. 1, № 4. С. 285–287. URL: <https://doi.org/978-617-520-936-3-1>
- [4] Дяченко А., Гламаздін П. Збагачення киснем дуттєвого повітря для підвищення енергоефективності енергетичних парогенераторів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2021. Т. 32, № 4. С. 178–185.
- [5] Кулик М., Кравець Т., Семерак М. Аналіз наявних технологій розділення повітря для підвищення ефективності спалювання палива в енергетиці. *Науково-практичного журналу "Екологічні науки"*. 2019. № 2. С. 59–64.
- [6] Апостолюк С., Джигирей В., Соколовський А. Промислова екологія: навчальний посібник. 2-ге вид. Київ : Знання, 2012. 430 с.
- [7] Гламаздін П. М., Вакулєнко Є. С. Проблема використання непроєктного вугільного палива в парових енергетичних парогенераторах. *Енергія. Ресурси. Екологія*. 2025. Т. 1, № 4.