

## **ЕНЕРГЕТИКА**

---

УДК 536.24:621.184.4: 621.184.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/22>

### **Абдулін М.З.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **Шелешей Т.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **Беднарська І.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **Будя Ю.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **Юрчук В.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОТЛОАГРЕГАТІВ КВГМ 100 ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ**

Головними напрямками розвитку теплової енергетики не лише в Україні, а й у світі є: зменшення негативного впливу на навколишнє середовище шляхом удосконалення, модернізації фільтрів та золоуловлювальних установок; підвищення ефективності циклів паротурбінних установок; розвиток котельних агрегатів; удосконалення схем енергоблоків; впровадження когенераційних систем; підвищення рівня автоматизації технологічних процесів; удосконалення додаткового обладнання ТЕС. Під час спалювання вугілля та мазуту в атмосферу виділяються зола із частинок ками неспаленого палива, сірчистий і сірчаний ангідриди  $SO_2$  і  $SO_3$ , оксиди азоту  $NO$  і  $NO_2$ , деяка кількість фтористих сполук та гідрокарбонати, а також газоподібні продукти неповного згорання. Природний газ в екологічному плані є найчистішим видом палива. Проте і під час добре організованого спалювання природного газу утворюються шкідливі речовини: діоксид вуглецю  $CO_2$ , оксиди азоту.

Менший об'єм вихорів дозволяє проводити пуск та експлуатацію ПП з меншою витратою палива, що забезпечує безпечність пуску та відсутність теплових ударів. Покращення сумішоутворюючих властивостей пальників підвищує надійність роботи при достатньо малому коефіцієнті надлишкового повітря, як наслідок, при підвищених значеннях середньої температури факелу в топковому просторі.

При дослідженні ККД за прямим балансом було обраховано, що приріст становить 1,5 % на навантаженнях 30% від номінального і близько 5% при умові його роботи в режимах (60-65%) від номінального. Дані результати свідчать про зниження питомої витрати палива. Окрім того використання комплексу, який складається з пальників зі струменево-нішевою технологією та встановлення частотними перетворювачами на дуттєвих механізмах дає можливість вельми зменшити споживання електроенергії. Також слід зауважити, що в підсумку модернізації поліпилились експлуатаційні показники котлоагрегату, такі як: незагрозливе плинне запалення, плинна переміна експлуатаційних навантажень, збагачений обсяг коригування робочих навантажень, підвищення ступеня безпеки роботи котлоагрегату.

*На техніко-економічні та екологічні показники котла КВГМ впливає безліч різних показників в тому числі і температура вихідних газів. Під час проведення дослідження було встановлено, що температура вихідних газів впливає на низку параметрів, таких як: коефіцієнт корисної дії котла, питома витрата теплоти, втрата теплоти з відхідними газами, показники емісії оксидів азоту та вуглецю.*

**Ключові слова:** екологічні проблеми енергетики, шкідливі викиди, технології спалювання, Струменево-нишова технологія, котлоагрегат.

**Постановка проблеми.** Не можливо уявити собі розвиток будь якої країни без розвитку її енергетики. Адже на протязі всієї історії людства відбувався й розвиток її здібності використовувати сили природи. На початку часів люди навчились використовувати силу тварин – віл, кінь, бик і тд. Пізніше підкорили собі силу вітру – перші вітряки та млини, та води – водяне колесо. Згодом стало зрозуміло, що вітер та вода це не все, що дарує нам матінка природа. Вугілля та нафта – стали основним паливом промислової революції 18 та 19 століть. За допомогою зусиль багатьох вчених людство відкрило для себе силу пари та її потенціал в енергетиці. На початку 20 століття головними видами палива було органічне палива: вугілля, торф, нафта, природний газ і тд. Наступним етапом стало підкорення енергії атомного ядра, на жаль, не тільки в мирних цілях. Однак перший атомний реактор, що був запущений в США 1951 року став новою сходинкою в розвитку енергетики. Зараз, вже у 21 столітті і досі триває цей розвиток. Будуються реактори на основі термоядерного синтезу, обговорюються шляхи розгортання сонячних панелей у космосі – прогрес не стоїть на місці і надалі він буде тільки пришвидшуватись [1].

Кожний історичний етап розвитку науки і техніки ставить перед ученими та інженерами багато проблем. Одна з основних проблем сучасності і найближчого майбутнього – забезпечення людства достатньою кількістю енергії. Проблема ця досить гостра, тому що має не тільки суто технічний характер. Слова енергія та енергетична криза щодня вимовляють з екранів телевізорів, не сходять зі сторінок журналів і газет, не кажучи вже про спеціальні видання. Енергетична ситуація в окремих державах істотно впливає на життєвий рівень і культуру населення, позначається на внутрішній і зовнішній політиці. Країни без ПЕР докладають великих зусиль, щоб забезпечити себе потрібними джерелами енергії. Країни – експортери нафти, нафтові монополії одержують величезні прибутки і надприбутки. З другого боку, інші країни виношують політичні і військові плани перерозподілу та збереження нафтових і газових промислів [1–2].

Україна, завдяки географії, має доволі вигідне розташування не тільки в плані економіки, але

й енергетики. Адже має кілька великих річок на яких побудовані ГЕС – гідроелектростанції. Велику степову зону для освоєння вітрової та сонячної енергетики. Значні поклади вугілля та природного газу. Певні поклади газу також знайдені на дні шельфу Чорного Моря. Задовільні запаси уранових руд.

Вся енергетична галузь України об'єднана в ОЕС – Об'єднану Енергетичну систему. Вона налічує 8 ГЕС та 3 гідроакумулюючих гідроелектростанцій (ГАЕС), 4 діючі атомні станції, 15 теплових електростанцій, 43 ТЕЦ – теплоелектроцентралей, багато сонячних електростанцій (зокрема і друга найбільша СЕС у Нікопольському районі Дніпровської області) та безліч вітрових станцій ВЕС. Однак все ж найбільшого поширення набули саме теплові електростанції.

Теплова електрична станція (ТЕС) – електростанція, яка використовує хімічну енергію органічного палива (вугілля, торф, мазут, природний газ і тд) для підігріву робочого тіла (найчастіше вода) в топці котла, доведення до стану пари із певними параметрами та використання її кінетичного енергії для розвитку крутного моменту турбіни. Крутний момент ротора турбіни передається статору генератора, де виробляється електричний струм за допомогою явища електромагнітної індукції. Можна виділити два типи ТЕС: КЕС – конденсаційна електростанція, яка відпускає споживачу лише електричну енергію; ТЕЦ – теплоелектроцентральною, що крім електричної відпускає споживачу і теплову (у вигляді гарячої води або пари). В Україні найпоширенішими є саме ТЕЦ. Найчастіше їх будуть на межі великих міст чи на окраїні аби дотриматись усіх норм. Під час спалювання палива у топці котла виділяється велика кількість тепла, що в свою чергу передається теплоносію (найчастіше це підготовлена вода). За рахунок чого вода перетворюється на пару і далі потрапляє в турбоагрегат, де енергія пари перетворюється на кінетичну енергію обертання ротора турбіни. Після чого кінетична енергія ротора передається статору електрогенератора, де ця енергія перетворюється в електричну. Відпрацьована пара потрапляє до конденсатора, де конденсується у воду та готується до нового циклу. Як було наведено вище, для спалювання в топці котла

на теплових станціях використовується органічне паливо, що в свою чергу створює ряд певних проблем: велика енергозалежність від енергоресурсів; шкідливий вплив на екологію.

**Формулювання цілей статті.** Тому головними напрямками розвитку теплової енергетики не лише в Україні, а й у світі є: зменшення негативного впливу на навколишнє середовище шляхом удосконалення, модернізації фільтрів та золоуловлювальних установок; підвищення ефективності циклів паротурбінних установок; розвиток котельних агрегатів; удосконалення схем енергоблоків; впровадження когенераційних систем; підвищення рівня автоматизації технологічних процесів; удосконалення додаткового обладнання ТЕС [3, 5].

Основними причинами, що призводять до катастрофічного стану довкілля є: використання низькосортного палива; застаріла технологія виробництва та обладнання; висока енерго- та матеріаломісткість; високий рівень концентрації промислових об'єктів; несприятлива структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних технологій виробництва; відсутність належних природоохоронних систем (очисних споруд, оборотних систем водозабезпечення тощо) та низький рівень експлуатації існуючих природоохоронних об'єктів; відсутність належного правового та економічного механізмів, які стимулювали б розвиток екологічно безпечних технологій та природоохоронних систем; відсутність належного контролю за охороною довкілля [4].

Під час спалювання вугілля в атмосферу виділяються зола із частинками неспаленого палива, сірчистий і сірчаний ангідриди  $SO_2$  і  $SO_3$ , оксиди азоту  $NO$  і  $NO_2$ , деяка кількість фтористих сполук та гідрокарбонати, а також газоподібні продукти неповного згорання. Летка зола іноді містить, крім нетоксичних складових, шкідливі домішки. Так, в золі донецьких антрацитів у незначній кількості міститься арсен, а в золі екібастузького вугілля і деяких інших родовищ – вільний діоксид кремнію, у золі сланців і вугілля Кансько-Ачинського басейну – вільний діоксид кальцію [3, 5].

У процесі спалювання мазуту в атмосферне повітря з димом і газами надходять: сірчистий і сірчаний ангідриди  $SO_2$  і  $SO_3$ , оксиди азоту ( $NO$  і  $NO_2$ , газоподібні і тверді продукти неповного згорання палива, сполуки ванадію, солей натрію, а також речовини, які видаляють з поверхні котлів під час їх очищення.

Природний газ в екологічному плані є найчистішим видом палива. Проте і під час добре орга-

нізованого спалювання природного газу утворюються шкідливі речовини: діоксид вуглецю  $CO_2$ , оксиди азоту. Еволюція не терпить застою. Розвиток цивілізації неможливо уявити без зростання споживання енергії та енергоресурсів. І все ж тут можливі підходи як загального (глобального), так і місцевого (локального) плану.

**Виклад основного матеріалу.** У глобальному плані – це регулювання виробництва енергії і зростання споживання енергоресурсів на державному і міжнародному рівні; перехід на нові, екологічно чисті й енергоощадні технології виробництва енергії; перегляд ставлення до процесу енергоспоживання, до визнаних людських цінностей, укладу життя як окремої людини, так і людства загалом. Реалізація зазначених процесів потребує розробки довгострокових державних програм, розрахованих на багато десятків років. Паралельно з визначеним вище, щоб знизити вплив енергетики на біосферу, треба розглядати такі заходи, які вже сьогодні можуть дати істотну віддачу. Так, знизити викиди шкідливих речовин енергетичними об'єктами можна подальшим заміщенням мазуту природним газом, удосконаленням пальникових пристроїв, організацією багату-ступеневого спалювання палива, застосуванням прогресивних способів очищення палива від сірки, підвищенням ефективності виробництва теплової та електричної енергії, дотриманням спеціальних режимів спалювання палива, застосуванням сучасних технологій очищення димових газів від  $SO_2$  та  $NO_x$  та іншими заходами, включаючи створення і впровадження тарифної і цінової політики, що стимулює розробку і впровадження екологічно чистих технологій і устаткування.

Велику роль у згладжуванні енергетичної проблеми і підвищенні життєвого добробуту населення відіграє енергозбереження – один з пріоритетних напрямів сучасної енергетичної політики. Так, економія 1 т вугілля зменшує викиди золи на 250 кг, оксидів сірки – приблизно на 2 кг, оксидів азоту – на 3 кг, оксиду вуглецю – на 10 кг; економія 1 т мазуту скорочує викиди сірчистого ангідриду на 40 кг, оксиду вуглецю – на 12 кг; економія 1 000 м<sup>3</sup> природного газу зменшує викиди оксиду азоту на 2,5 кг, оксиду вуглецю – на 8 кг. У результаті підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів за рахунок термодинамічних факторів можливе істотне зниження питомої витрати палива на виробництво 1 кВт-год електроенергії, що підвищує екологічну безпеку енергетичних об'єктів. Ще актуальнішим є розвиток і використання відновлюваних джерел

енергії. Останнє особливо важливо в контексті заходів, вжитих міжнародним співтовариством щодо зниження дії «парникового ефекту», і виконання інших зобов'язань, пов'язаних із можливою зміною клімату Землі [6].

Яскравим прикладом модернізації являється струменево-нішова технологія спалювання палива. Струменево-нішова технологія (СНТ) спалювання палива з керуючою структурою течії горючого й окислювача заснована на рівномірній роздачі газу в потоці повітря без застосування закрутки потоку й утворення стійкої вихрової структури, яка забезпечує сумішоутворення та стабілізацію горіння з самоохолодженням пального модулю.

В струменево-нішовій системі в широких межах зміни режимних факторів (швидкість газу, повітря, тиск та температура) реалізуються стійкі та легкокеровані вихрові структури з високою інтенсивністю турбулентності потоків пального та окиснювача, а також зони зворотних струмів, які забезпечують якісне сумішоутворення з необхідним рівнем пальної концентрації та надійну аеродинамічну стабілізацію горіння. Об'єм вихорів значно менший, ніж у звичайних паливних приладів вихрового типу, тому їх вплив на пульсації в топці котла, а також ерозійний вплив на амбразуру та інші елементи котла відносно малий [7].

Менший об'єм вихорів дозволяє проводити пуск та експлуатацію ПП з меншою витратою палива, що забезпечує безпечність пуску та відсутність теплових ударів. Покращення сумішоутворюючих властивостей паливних підвищує надійність роботи при достатньо малому коефіцієнті надлишкового повітря, як наслідок, при підвищених значеннях середньої температури факелу в топковому просторі.

За допомогою СНТ вдалося вирішити багато супутніх задач: ліквідовані вібраційні явища на різних котлах за рахунок упорядкування аеродинаміки протікання, забезпечилось стійке виробництво теплової енергії (що дало суттєвий соціальний ефект) і т. д. Для всіх представлених досліджень в якості експериментальної установки використовувався котлоагрегат типу КВГМ-100 та враховувались його характеристики.

При дослідженні ККД за прямим балансом було обраховано, що приріст котлоагрегату становить 1,5 % на навантаженнях 30% від номінального і близько 5% при умові його роботи в режимах (60–65%) від номінального. Дані результати свідчать про зниження питомої витрати деякого палива близько 4–10 г/Гкал за різних навантаженнях.

Окрім низки теплотехнічних показників під час дослідів визначався вплив паливників на навколишнє середовище. Вміст двоокису вуглецю, кисню та значення коефіцієнту надлишку повітря та значення викидів шкідливих речовин, які забруднюють навколишнє середовище. Всі вище вказані дослідження проводились за допомогою експрес методу прямими замірами. Вміст оксидів азоту та вуглецю в димових газах в залежності від навантаження котла КВГМ-100 до та після модернізації за допомогою паливників струменево-нішевої технології представлена на рисунках 1–2.

За відомостями режимної карти до та після модернізації котла на основі СНТ дала можливість понизити питому витрату палива на виробіток Гкал тепла порядку 4,58%. Заощадження палива в режимі роботи 92,7 ККД (значення навантаження 47 Гкал/год) становить 3,03%, за умови роботи 89,8 ККД (значення навантаження 74 Гкал/год) становить 6,11%. Після проведення модернізації ККД котлоагрегату по всьому обсязі навантажень різнилась на 0,43%, а до проведення модернізації обсяг відхилень становив 4,6%.

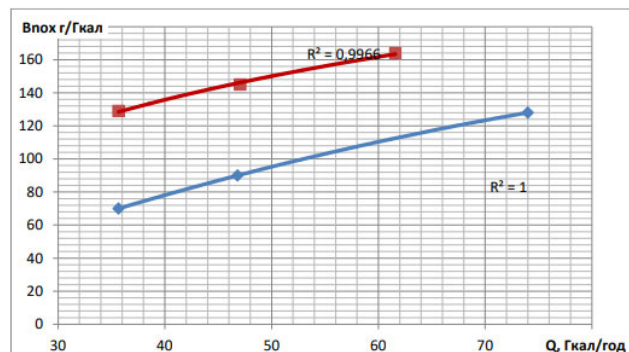


Рис. 1. Вміст оксидів азоту в димових газах в залежності від навантаження котла КВГМ-100 до та після модернізації за допомогою паливників струменево-нішевої технології

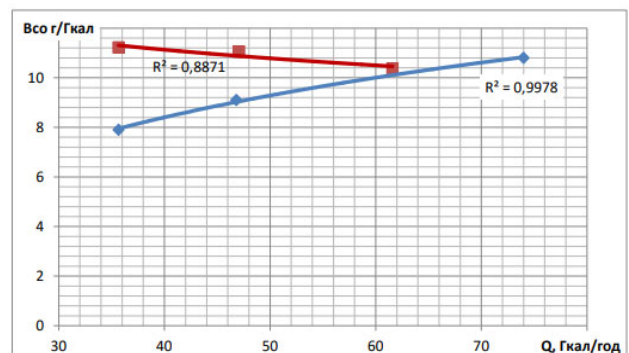


Рис. 2. Вміст оксидів вуглецю в димових газах в залежності від навантаження котла КВГМ-100 до та після модернізації за допомогою паливників струменево-нішевої технології



Окрім того використання комплексу, який складається з пальників зі струменево-нішевою технологією та встановлення частотними перетворювачами на дутьєвих механізмах дає можливість вельми зменшити споживання електроенергії. Також слід зауважити, що в підсумку модернізації поліпшились експлуатаційні показники котлоагрегату, такі як: незагрозливе плинне запалення, плинна переміна експлуатаційних навантажень, збагачений обсяг коригування робочих навантажень, підвищення ступеня безпеки роботи котлоагрегату. З приростом температури відхідних газів на кожен 1 °С витрати теплоти з відхідними газами зростають на 0,023%

до моменту модернізації, а вже після модернізації цей показник становить 0,04%. Але встановлено, що рівень втрат з відхідними газами до модернізації набагато вищий ніж після неї.

**Висновки.** Використання ефективної технології спалювання на котлоагрегатах КВГМ-100 показує покращення економічних та екологічних показників котельних агрегатів на всіх режимах його роботи, а саме: приріст ККД, зменшення питомої витрати умовного палива; зменшення витрати природного газу; зменшення витрати охолоджуючої води на пароохолоджувачі, зменшення рівня емісії оксидів азоту і вуглецю.

#### Список літератури:

1. Національний план скорочення викидів від великих електростанцій від 08.11.2017 № 796-р. Київ. Розпорядження Кабінету Міністрів України. С. 99.
2. Шелешей, Т., Беднарська, І., Майєр, Л., Юрчук, В. Порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибуна різних енергетичних установках. Молодий вчений. 2020. № 5 (81), С. 129-132.
3. Волчин І. А., Гапоніч Л. С., Згоран І. П. Вибір технології десульфурації димових газів для українських вугільних ТЕС. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. Т. 24. № 4. С. 154–168.
4. Zhang, G.; Huang, X.; Liao, W.; Kang, S.; Ren, M.; Jing Hai, J. Measurement of dioxin emissions from a small-scale waste incinerator in the absence of air pollution controls. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16, 1267.
5. Абдулін М. З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках. Научно-технический журнал «Новости теплоснабжения». 2005. С. 37-38.
6. Абдулін, М. З., Г. Р. Дворцин, and А. М. Жученко. Технология сжигания—определяющий фактор эффективности огнетехнических объектов. Научно-технический журнал «Новости теплоснабжения». М 4 (2008): 31-34.
7. М.З. Абдулін, Т.В. Шелешей, А.А. Куник. Аналіз впливу топкового режиму на температуру відхідних газів в котлоагрегатах при їх модернізації на основі струменево-нішевої технології. Modern Scientific Researches. Yolnat PE, Minsk, Belarus, 2020. Issue № 11. Part 2 – С. 43-51.

#### **Abdulin M.Z., Sheleshei T.V., Bednarska I.S., Budia Yu.S., Yurchuk V.S. IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF KVGМ 100 BOILER UNITS BY MODERNIZATION OF BURNER DEVICES**

*The main directions of thermal energy development not only in Ukraine, but also in the world are: reducing the negative impact on the environment by improving and modernizing filters and ash collection units; increasing the efficiency of cycles of steam turbine installations; development of boiler units; improvement of schemes of power units; introduction of cogeneration systems; increasing the level of automation of technological processes; improvement of additional TPP equipment. During the burning of coal and fuel oil, ash from particles of unburned fuel, sulfurous and sulfurous anhydrides SO<sub>2</sub> and SO<sub>3</sub>, nitrogen oxides NO and NO<sub>2</sub>, a certain amount of fluorine compounds and hydrocarbons, as well as gaseous products of incomplete combustion are released into the atmosphere. Natural gas is ecologically the cleanest type of fuel. However, even during the well-organized combustion of natural gas, harmful substances are formed: carbon dioxide CO<sub>2</sub>, nitrogen oxides.*

*Smaller volume of vortices allows starting and operation of PP with lower fuel consumption, which ensures safety of starting and absence of thermal shocks. The improvement of the mixture-forming properties of the burners increases the reliability of operation with a sufficiently small coefficient of excess air, as a result, with increased values of the average temperature of the torch in the furnace space.*

*During the study of the efficiency of the direct balance, it was calculated that the increase of the boiler unit is 1.5% at loads 30% of the nominal and about 5% under the condition of its operation in modes (60-65%) of the nominal. In addition, the use of a complex consisting of burners with jet-niche technology and installation of frequency converters on essential mechanisms makes it possible to greatly reduce electricity consumption.*

*It should also be noted that as a result of the modernization, the operational indicators of the boiler unit have improved, such as: non-threatening fluid ignition, smooth change of operating loads, enriched volume of adjustment of working loads, increase in the degree of safety of the boiler unit.*

*Many different indicators, including the temperature of the outgoing gases, affect the technical, economic and environmental indicators of the KVGM boiler. During the research, it was established that the temperature of the outgoing gases affects a number of parameters, such as: the efficiency of the boiler, specific heat consumption, heat loss with the exhaust gases, emission indicators of nitrogen and carbon oxides.*

**Key words:** *environmental problems of energy, harmful emissions, combustion technologies, Jet-niche technology, boiler unit*