

Рачинський А.Ю.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ТЕПЛОВІ Й ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОТЛА ДКВР-10-13

У статті наведено результати CFD-дослідження процесу спалювання природного газу в паливній камері парового котла ДКВР-10-13 при варіюванні теплового навантаження, оцінці його теплової ефективності та впливу на екологічні показники. Розрахунки виконано у безкоштовній студентській версії ANSYS Student. Метою роботи є прогнозування утворення оксидів азоту (NOx) у котлі ДКВР-10-13 за різних теплових навантажень шляхом CFD-моделювання процесів горіння. Об'єкт дослідження – процеси згоряння газоподібного палива та їх вплив на продуктивність котла. Предмет дослідження – CFD-модель паливної камери котла ДКВР-10-13 зі стандартними пальниками, здатними працювати на рідкому й газоподібному паливі. Застосування методів числового моделювання дало змогу детально проаналізувати гідродинаміку та тепломасообмін, оцінити ефективність горіння й вплив на рівень шкідливих викидів.

Верифікацію моделі проведено на основі опублікованих і верифікованих робіт Харківського національного університету будівництва та архітектури. Відхилення розрахункових даних від експериментальних результатів не перевищує 3 %. Отже, застосована математична модель і вибрана для розрахунків модель турбулентності є адекватними для діапазону режимних параметрів, використаних у цьому дослідженні.

Встановлено, що стандартні пальники котла ДКВР-10-13 не відповідають чинним нормам щодо викидів NOx. Запропоновано їх заміну на струменеві пальники компанії СНТ, що, за результатами моделювання, знижує середній вміст NOx на виході паливної камери приблизно на 20 %. Ефект пояснюється нижчою температурою в зоні активного горіння (≈ 1400 °C проти ≈ 1800 °C для стандартних пальників).

Визначено, що струменево-нішевий пальник забезпечує зменшення утворення NOx за рахунок кращого змішування палива з повітрям і зниження температур у зоні горіння. Використання такого пальника потенційно дозволяє знизити викиди оксидів азоту без погіршення стабільності процесу горіння, що є вагомою перевагою з екологічної точки зору.

Ключові слова: теплообмін, моделювання, спалювання, окисли азоту, факел.

Постановка проблеми. Проблематика спалювання палива та його впливу на довкілля залишається надзвичайно актуальною, адже ефективне згоряння й мінімізація шкідливих викидів є ключовими завданнями сучасної енергетики та екологічної безпеки. У країнах Європейського Союзу спостерігається масова відмова від використання природного газу як палива для теплових електростанцій. Натомість у багатьох азійських державах природний газ і надалі широко застосовується в промисловості та енергетиці завдяки простоті використання й нижчому рівню забруднення порівняно з вугіллям. Представлена робота присвячена CFD-моделюванню стабілізованого горіння без попереднього змішування в пальнику з низьким завихренням при зміні режимів роботи котельного агрегату – від номінального до роботи на 40 % потужності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні більшість опалювальних котелень, збудованих у 1960–1970-х роках, досі експлуатують парові котли типу ДКВР. Ці агрегати відпрацювали понад 40 років і повністю вичерпали свій ресурс. Щоб продовжити термін їхньої служби, робочий тиск у котлах знижують до 0,6–0,8 МПа, а фактично під час експлуатації підтримують лише 1–2 атм. Робота за таких низьких тисків погіршує стійкість циркуляції, зменшує температуру насичення та збільшує частку пароутворення. У екранних трубах інтенсивно утворюється накип і зростає ризик перепалу. Крім того, за тиску 1–3 атм через низьку температуру насичення доводиться відключати чавунний водяний економайзер, аби уникнути небажаного пароутворення. У результаті коефіцієнт корисної дії (ККД) таких котлів не перевищує 80–82 %, а за сильного забруднення труб падає до

70–75 %. Тому їх дедалі частіше переводять у водогрійний режим, що потребує регулярних технічних оглядів. Після завершення нормативного ресурсу подальша робота водогрійних котлів дозволяється лише за наявності позитивного висновку експертизи промислової безпеки.

Попри сучасний курс на декарбонізацію енергетики, спалювання вуглеводневого палива залишається ключовим джерелом енергії. Тому реконструкція котельень і зниження шкідливих викидів залишаються актуальними завданнями. У роботі [1] показано, що при спалюванні газу на діючих парових і водогрійних котлах України зменшення об'ємної теплової напруги топки до 55 % номінальної потужності та рециркуляція 17 % димових газів знижують викиди NO_x на 75 %, що майже відповідає вимогам директиви IED.

Подібні результати отримано й на інших установках. Так, на водогрійному котлі КВГМ-180 зі стандартним рециркуляційним димососом рециркуляція близько 30 % димових газів у повітря, що подається на горіння, дала змогу скоротити викиди NO_x на 67 % до рівня європейських стандартів, а вміст CO у димових газах знизився до $< 100 \text{ мг/Нм}^3$ (при 3 % O_2). Стандартні двопотокові пальники цього котла фактично працюють у режимі ступінчастого горіння, поєднаного з рециркуляцією.

Для парового котла ДКВР-6,5-13 досліджували спалювання суміші метану (76 %) та CO_2 (24 %) – умовного «біогазу». Концентрація NO_x у димових газах становила 63–76 мг/Нм^3 (при 3 % O_2), що відповідає нормам ЄС. Проте, слід зазначити, що порівнюючи природний газ з альтернативними горючими газами (генераторним, доменним, шахтним, біогазом) можна зробити головний висновок, про те, що він має найпривабливіші характеристики для застосування його в промисловості в тому числі і в енергетиці. Отже в найближчий час заміна його на альтернативні палива в хімічній, важкій промисловості та енергетиці неможлива.

У дослідженні [2] розглядали стабільність горіння в настінному котлі потужністю 600 МВт за різних комбінацій роботи пальників (OM_1 і OM_2) при 25 % та 35 % навантаження. Виявлено, що режим OM_2 забезпечує рівномірніший розподіл швидкостей і температури, затримує змішування пиловугільного пилу з повітрям та знижує температуру в топці, що сприяє зменшенню утворення NO_x .

Інше дослідження [3] присвячене спільному спалюванню метану в котлі з тангенціальним спалюванням вугілля потужністю 550 МВт. Оптимальне розташування інжектора всередині нафто-

вого отвору дало змогу при 40 % підмішуванні метану скоротити викиди NO_x на 69,8 % без зростання втрат палива.

Не менш показові експерименти описано в [4–6]. Вони доводять, що модернізація пальників – зміна конструкції, впровадження щільних або вихрових конфігурацій, впорскування вторинного чи тангенціального повітря, інтеграція форсунок – здатна значно підвищити стабільність горіння, знизити пікові температури та, як наслідок, скоротити викиди NO_x на 30–50 % і більше без зниження ККД.

Аналіз літератури [7–9] показує: для зменшення шкідливих викидів важливі не лише конструктивні зміни пальників, а й вибір палива. Наприклад, пропан в окремих випадках виявився ефективною альтернативою метану. Численні CFD-дослідження демонструють, що коректне моделювання процесів горіння потребує використання моделі перенесення компонентів (Species Transport) у поєднанні з турбулентною моделлю $k-\epsilon$ та відповідними пристінними функціями. Ці підходи підтверджені як при моделюванні спалювання альтернативних палив, так і під час розрахунків теплообміну в топках котлів різних типів.

Отже, сучасна практика доводить: підвищення ефективності та екологічної безпечності роботи котлів можливе завдяки комплексному підходу, що поєднує модернізацію пальників, рециркуляцію димових газів, оптимізацію режимів горіння й використання методів CFD-аналізу для коректного прогнозування процесів тепломасообміну.

Постановка завдання. Метою статті є прогнозування утворення оксидів азоту (NO_x) у котлі ДКВР-10-13 за різних теплових навантажень шляхом CFD-моделювання процесів горіння.

Метод дослідження – комп'ютерне моделювання течії і теплообміну потоків розжарених газів, що утворюються в паливній котла ДКВР-10-13 внаслідок стабілізованого горіння метану в штатних пальниках ГМГ-4 і пальниках, що виготовлені за струменево-нішевою технологією, які пропонуються для заміни штатних. Комп'ютерне моделювання виконувалось в середовищі програмного комплексу ANSYS Student, що є абсолютно безкоштовним (з 2015 року) і призначеним для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

Об'єкт дослідження – процеси згоряння газоподібного палива та їх вплив на продуктивність котла.

Предмет дослідження – CFD-модель паливної камери котла ДКВР-10-13 зі стандартними паль-

никами, здатними працювати на рідкому й газоподібному паливі.

Виклад основного матеріалу. У даній роботі процес горіння в топковому просторі котла ДКВР-10-13 моделювався в середовищі ANSYS CFX із застосуванням хімічної моделі скінченної інтенсивності (finite-rate chemistry model). Згоряння описувалося однокроковим механізмом реакції (one-step reaction mechanism), у якому реакцію визначали стехіометричні коефіцієнти, ентальпії реагентів та параметри, що впливають на ступінь її протікання.

Ступінь завершеності реакції розраховували, виходячи з припущення, що саме турбулентне перемішування реагентів є головним чинником, який обмежує швидкість хімічного перетворення. Взаємодія турбулентності та хімії описувалася за допомогою моделі вихорової дисипації (eddy-dissipation model). Для обліку процесів перенесення реагентів використовувалася модель перенесення компонентів суміші (species transport model).

Геометрія пальників і топки відтворювалася за допомогою гібридної скінченно-елементної сітки (рис. 1а). Структурована частина сітки враховувала розвиток примежового шару на стінках пальників і котла, тоді як поза цією зоною застосовувалася нерівномірна тетраедрична сітка. При цьому показник скошеності (Skewness) не перевищував 0,8, а співвідношення сторін (Aspect Ratio) елементів було меншим за 40. Щільність розташування вузлів регулювалася параметром Relevance Center з рівнем «Fine», що забезпечувало високу деталізацію. Розмір елементів сітки також визначався цим параметром. Для поєднання структурованих і неструктурованих зон використовувався

метод MultiZone. Попередні тестові розрахунки дозволили підібрати таку густину сітки, за якої подальше її ущільнення вже не впливало на результати.

Створена CFD-модель процесу спалювання газоподібного палива включала рівняння неперервності, осереднені за Рейнольдсом рівняння збереження енергії, імпульсу й маси (рівняння Нав'є-Стокса), а також рівняння перенесення для кожного компонента газової суміші. Для замикання осереднених рівнянь Нав'є-Стокса було застосовано Realizable k- ϵ модель турбулентності. Система керувальних рівнянь описує течію стисливої в'язкої рідини зі змінними фізичними властивостями, враховує рівняння енергії та баланс компонентів суміші [10].

Комп'ютерна модель пальника, що працює за струменево-нішевою технологією представлена на рис. 1б. Дана конструкція дає змогу поєднати в собі усі стадії робочого процесу пальників такі як: розподіл палива в потоці, утворення суміші з необхідними рівнями концентрацій палива, запалення горючої суміші, стабілізація факелу та формування продуктів згоряння необхідної якості та без шкідливих викидів, термічну підготовку палива та самоохолодження термічно навантажених елементів пальника.

Подача газу в пальник здійснюється в загальний колектор який роздає газ на пілони. Пілони формують роздачу газу через один ряд отворів. Проте, кресленики пальника є комерційною таємницею компанії СНТ [11].

Для того, щоб процес порівняння відбувався в однакових умовах, розрахунки для обох досліджених випадків проводились при однакових граничних умовах.

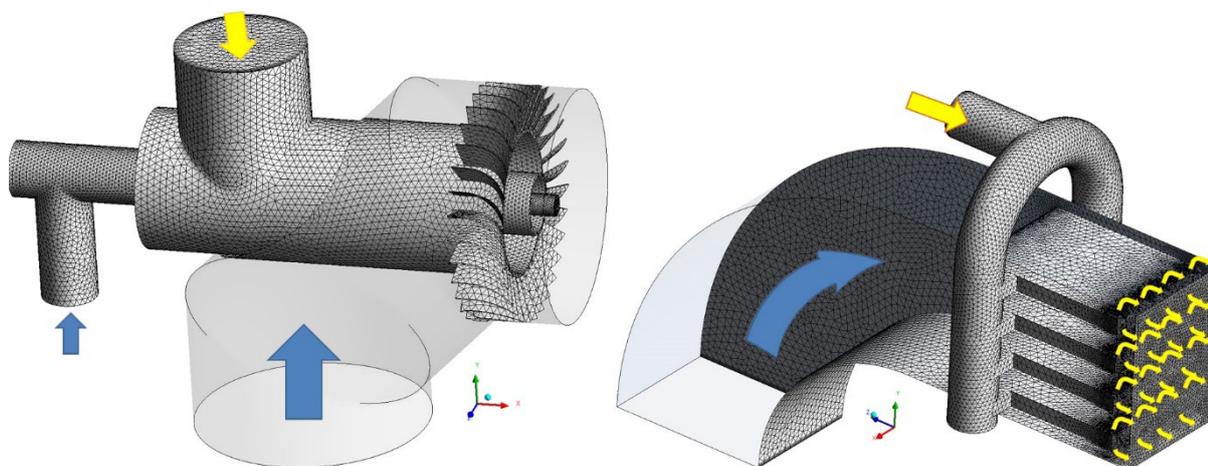


Рис. 1. Комп'ютерна модель штатного пальника ГМГ-4 (а) та пальника, що побудований з використанням струменево-нішевої технології (б)

Верифікація моделі виконана на основі даних [12] де показано, що в жаротрубному котлі з реверсивним факелом збільшення параметра крутки ($n > 1,4$; кут нахилу вихідний лопатки пального $\beta > 40^\circ$) призводить до підвищення температури в ядрі факела, як і в представленій роботі, а його положення зміщується до фронту котла, що призводить до збільшення температури відхідних газів на виході з котла. Як свідчить рис. 2, температура розжарених газів змінюється немонотонно вздовж паливни через складну динаміку процесів горіння та теплопередачі. У ядрі факела температура сягає 1300°C , що відповідає активній зоні горіння. Біля фронтальної стіни поблизу пального температура знижується до 1250°C , що свідчить про відведення теплоти топковими екранами і теплообміном між повітрям з об'єму паливни. На виході з топки температура газового потоку становить 1070°C , що вказує на зменшення тепловиділення після завершення основного процесу горіння. Зона займання і горіння газоповітряної суміші має температуру $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$.

Приведені на рис. 2 планки похибок свідчать, що відхилення розрахункових даних від експериментів [12] не перевищує 3 %, що дозволяє вважати використану математичну модель і вибрану для розрахунків модель турбулентності адекватними для діапазону режимних параметрів, що використаний в представленій роботі.

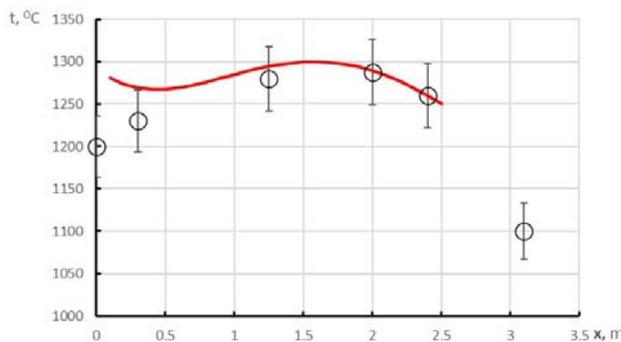


Рис. 2. Розподіл температур вздовж факела

Обговорення отриманих результатів. Згідно конструктивних особливостей котла ДКВР найбільш термонапруженими частинами в ньому є днище верхнього барабана і труби бічних екранів поблизу пального. На рис. 3 представлено результати CFD-моделювання розподілу теплового потоку на стінках топки парового котла за різних рівнів теплового навантаження – 40 %, 60 %, 80 % та 100 % від номінального. Як свідчить рис. 3 на бічних стінках паливни утворюються «проекції» факела розжарених газів з пального

внаслідок дії променевого теплового потоку площею $\approx 0,73\text{ м}^2$.

Підвищення теплового навантаження котла призводить до інтенсивнішого й менш рівномірного теплового впливу на обмурівку паливни. Ця інформація важлива для оцінки теплових напружень, вибору матеріалів і оптимізації режимів роботи котла, щоб запобігти локальному перегріву та зношуванню стінок. Масштаби кольорових шкал показують, що максимальні значення теплового потоку на стінках збільшуються від $\approx 2,1 \cdot 10^4\text{ Вт/м}^2$ при 40 % навантаження до понад $5,5 \cdot 10^4\text{ Вт/м}^2$ при 100 %. Це відповідає очікуваній інтенсифікації процесу горіння та більшій кількості тепла, що передається до водоохолоджуваних поверхонь. У всіх випадках зберігається характерна «плямиста» картина: окремі ділянки (переважно в районі факела й на протилежній стінці) мають суттєво більший тепловий потік, що вказує на локальну концентрацію полум'я та конвективно-радіаційного теплообміну. При збільшенні потужності від 40 % до 100 % не лише зростає пікове значення, а й збільшується площа стінок, на якій тепловий потік перевищує середній рівень.

На рис. 4 подано результати CFD-моделювання розподілу температури газового потоку всередині топки котла ДКВР-10-13 за різних режимів роботи. Аналіз рис. 4 свідчить, що зі збільшенням навантаження підвищується загальний рівень температур у топковому просторі, а зона максимальної температури розширюється й просувається глибше в об'єм камери згоряння.

Про процес змішування газоподібного палива з повітрям у паливниковому пристрої та формування факела горіння в камері котла наглядно свідчить рис. 5. На ньому зображено поле розподілу частки паливно-повітряної суміші (Mixture Fraction) у паливниковому вузлі котла, отримане за результатами CFD-моделювання. Основними елементами зображення є значення часток суміші (кольорова шкала (ліворуч) де значення «0» (області темно-синього кольору) – чисте повітря, без палива. Значення «1» (червоний колір) – практично чистий потік палива. Значення «0,1...0,9» – різні ступені змішування газоподібного палива з окисником. Лінії ізолейнів – контури рівних значень суміші, що ілюструють процес дифузії й перемішування.

Рис. 5 свідчить, що безпосередньо біля виходу з пального (червона/жовта зона) спостерігається висока концентрація палива. Далі по ходу потоку кольори змінюються на зелений і синій, що означає поступове змішування палива з повітрям та формування однорідної горючої суміші. Чітко

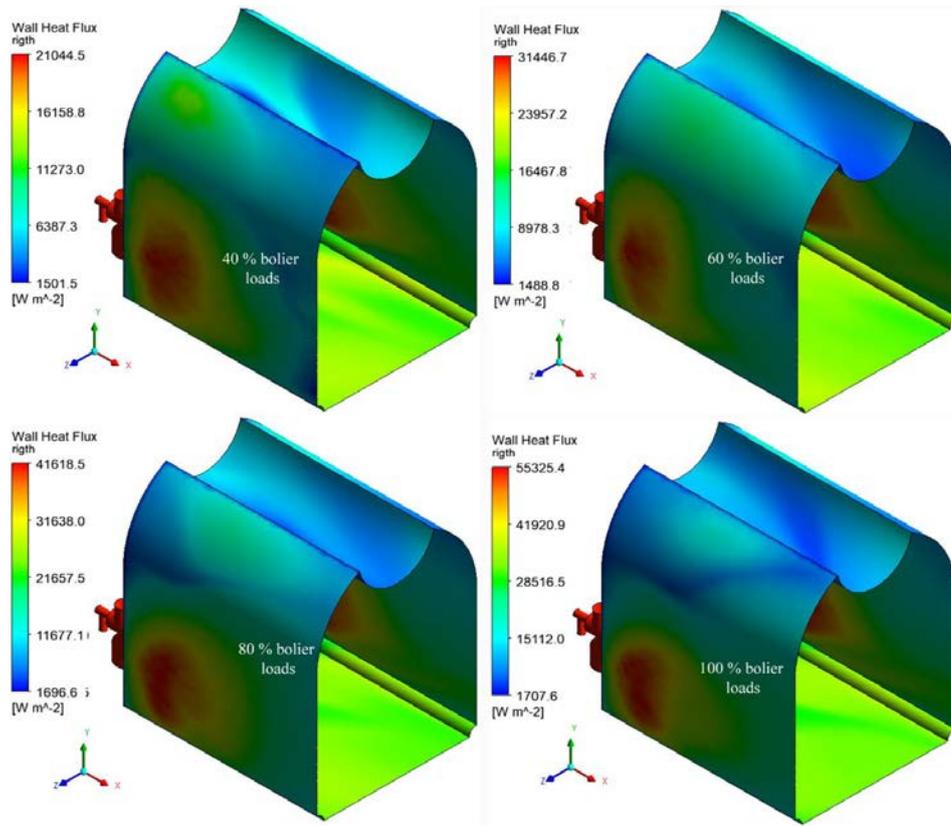


Рис. 3. Густина теплового потоку на стінках CFD-моделі паливні котла ДКВР 10-13

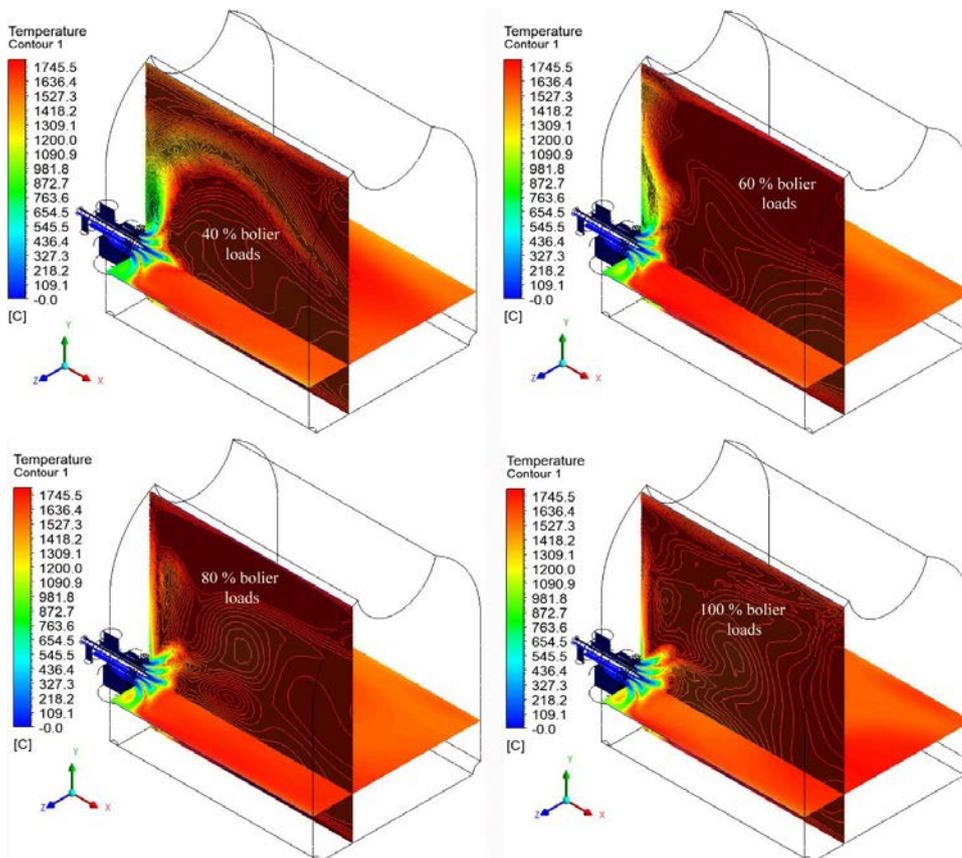


Рис. 4. Температура потоку в об'ємі паливні котла ДКВР 10-13

видно два факели (верхній і нижній), утворені палинковими струменями, які взаємодіють із навколишнім повітряним середовищем топки.

Візуалізація розподілу суміші є корисною для прогнозу утворення шкідливих викидів – надлишок палива (червоні області) може сприяти підвищенню CO, тоді як рівномірне змішування зменшує концентрацію NO_x. Тому наступним етапом моделювання стало визначення утворення оксидів азоту (NO_x) у просторі паливни котла при різних рівнях теплового навантаження – 40 %, 60 %, 80 % та 100 % від номінального.

Для обґрунтування доцільності заміни штатного паливника ГМГ-4 котла ДКВР-10-13 на паливник, що працює за струменево-нішевою технологією, на рис. 6 наведено результати CFD-моделювання утворення оксидів азоту (NO_x) у просторі паливни котла для обох варіантів конструкції паливників. Порівняння проводилось при номінальному режимі.

Спільним для обох конструкцій паливників є те, що високі концентрації (червоні/помаранчеві області) спостерігаються у верхній частині факела та поблизу вихідної ділянки топки – там, де тем-

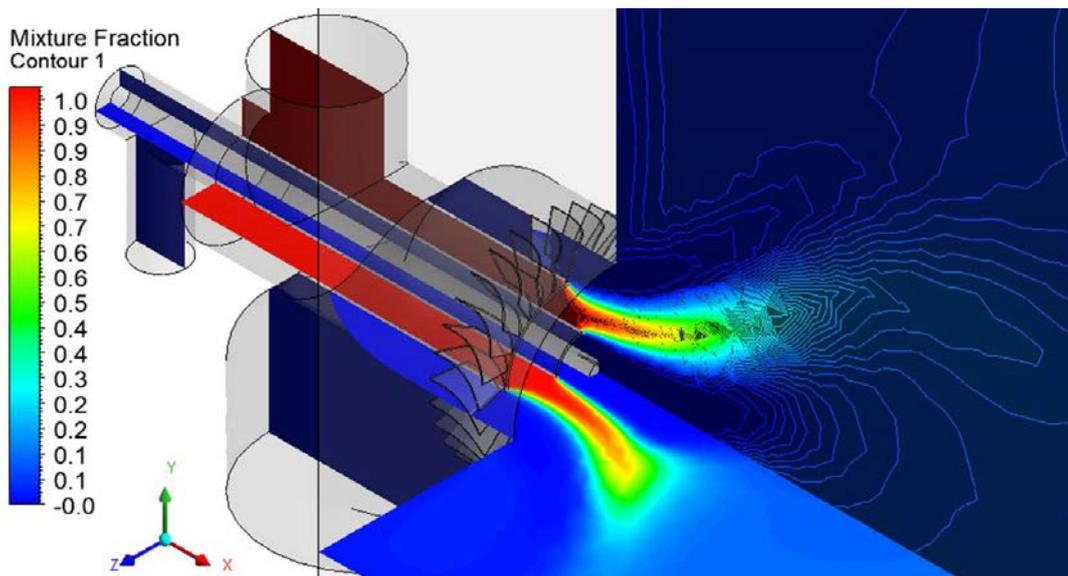


Рис. 5. Інтенсивність процесу перемішування (Mixture Fraction)

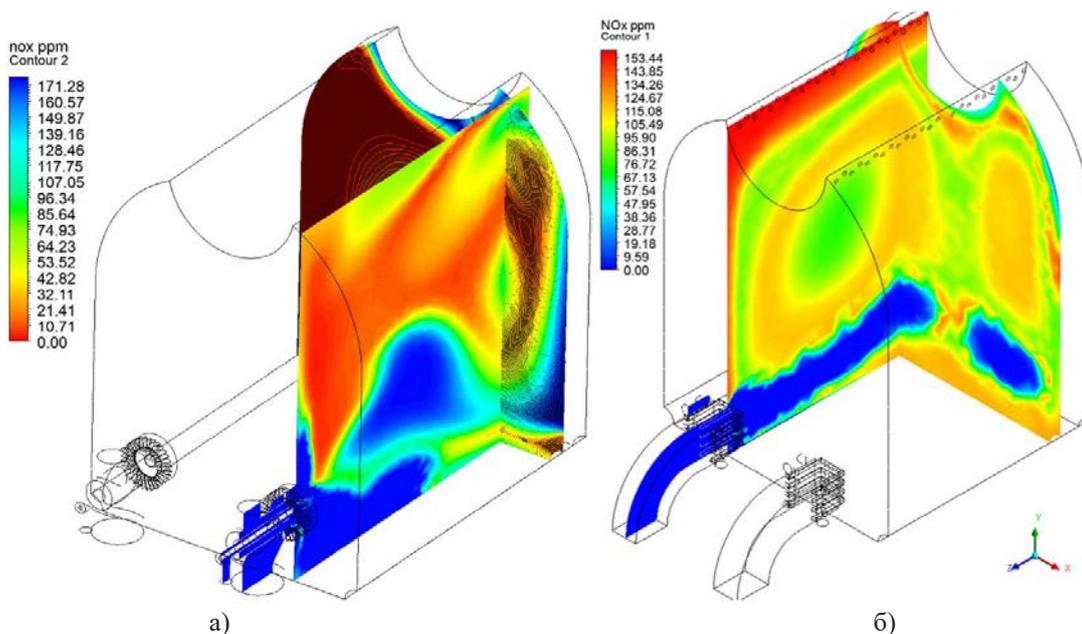


Рис. 6. Розподіл NO_x в характерних перерізах паливни при номінальному тепловому навантаженні котла у випадку використання паливників ГМГ-4 (а) та паливника, що побудований за струменево-нішевою технологією (б) [13]

пература газу максимальна і наявний надлишок кисню. Низькі концентрації (сині зони) переважають у зоні первинного горіння біля пальника та ближче до виходу димових газів, де температура і вміст кисню нижчі.

Найбільше NO_x утворюється у верхній частині факела та поблизу виходу продуктів згорання, де поєднуються висока температура та надлишок кисню. У зоні біля пальника та в нижніх шарах топки концентрація значно менша через нижчу температуру та інтенсивне змішування газів.

Аналіз рис. 6 для обох конструкцій пальників свідчить, що утворення NO_x відбувається головним чином у гарячих ділянках факела (термічний механізм Зельдовича), де поєднуються висока температура й достатній вміст кисню. Це підтверджує вплив температурного поля та режиму подачі повітря на інтенсивність утворення оксидів азоту в котлі.

При чому, використання пальників ГМГ-4 (рис. 6а) призводить до того, що гарячі гази та продукти згорання піднімаються вгору, створюючи стійку область підвищеної температури, що сприяє інтенсивному утворенню термічних оксидів азоту. Спостерігається значно більша площа зон із високими концентраціями NO_x (червоні та оранжеві ділянки) у верхній частині паливни. Концентрація NO_x у пікових зонах сягає понад 160 ppm.

В паливни котла ДКВР, що оснащений пальниками, що працюють за струменево-нішевою технологією зона підвищених концентрацій зсунута ближче до виходу паливни, що свідчить про іншу

аеродинаміку й більш м'який температурний режим. Поле концентрацій більш рівномірне, із переважанням зелених і жовтих відтінків, що вказує на ефективніше перемішування та нижчі локальні температурні піки. Максимальні концентрації NO_x трохи нижчі (до ~150 ppm) і займають менший об'єм.

Висновки:

– Розподіл теплового потоку на стінках топки водогрійного котла за різних навантажень (40 %, 60 %, 80 % і 100 %). З підвищенням навантаження спостерігається зростання щільності теплового потоку та розширення зон інтенсивного тепловідбору, що свідчить про збільшення теплової потужності процесу згорання.

– Розподіл температури газового потоку в топці котла ДКВР-10-13 при різних навантаженнях (40 %, 60 %, 80 % та 100 %). Зі збільшенням навантаження спостерігається зростання середньої та пікової температур, а також розширення зони інтенсивного горіння.

– Головним механізмом формування NO_x є термічне утворення (механізм Зельдовича), інтенсивність якого визначається температурним полем і доступністю кисню в різних частинах паливни

– Пальник, що працює за струменево-нішевою технологією забезпечує зменшення утворення NO_x за рахунок кращого змішування палива з повітрям і зниження температур у зоні горіння.

– Використання такого пальника потенційно дозволяє знизити викиди оксидів азоту без погіршення стабільності процесу горіння, що є вагомою перевагою з екологічної точки зору.

Список літератури:

1. Sigal I.Ya., Smikhula A.V., Marasin O.V., Gurevich M.O., Lavrentsov E.M. Methods to reduce nox formation during gas combustion in boilers. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.06>
2. Peian Chong, Jianning Li, Xiaolei Zhu, Dengke Jing, Lei Deng. Numerical Study on Combustion Characteristics of a 600 MW Boiler Under Low-Load Conditions. *Processes*. 2024. 12(11). 2496. <https://doi.org/10.3390/pr12112496>
3. Kang-Min Kim, Gyu-Bo Kim, Byoung-Hwa Lee, Chung-Hwan Jeon and Joon-Ho Keum. Methane Gas Cofiring Effects on Combustion and NOx Emission in 550 MW Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler. *ACS Omega*. Vol 6.Issue 46. 2021. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04574>
4. Zhang D., Hai Zhang, Yuxin Wu, Mercury Zhang, Hong Kong and Junfu Lu. Experimental and Numerical Studies on Combustion Characteristics of a 600 MW Supercritical Arch-fired Boiler Equipped With Slot Burners Before and After Retrofit. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao. Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*. 2017. 37(2). 606–613. <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.160628>
5. Tianlong Wang, Chaoyang Wang, Zhiqiang Liu, Show Shuai Ma and Huiibo Yan. Experiment Study and Industrial Application of Slotted Bluff-Body Burner Applied to Deep Peak Regulation. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*. 2024. 17(1). 1–15. <https://doi.org/10.4018/IJITSA.332411>
6. Kang-Min Kim, Seok-Gi Ahn, Gyu-Bo Kim, Chung Hwan Jeon. Development of Subair Technique for Combustibility Enhancement and NOx Reduction in a Pulverized Coal-Fired Boiler. *ACS Omega*. 2019. 4(1). 2291–2301 <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03405>
7. Eswara Kumar, Naveen Janjanam, M. Nagaraju, V. Diwakar, CFD analysis of combustion parameters of methane-airmixture. *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*. ISSN: 2278-0181 IJERTV4IS050217 www.ijert.org Vol. 4 Issue 05, May-2015.

8. Lucky Anetor, Edward Osakue, Christopher Odetunde, Reduced mechanism approach of modeling premixed propane-airmixture using ANSYS fluent. *Engineering Journal*. Vol. 16. Issue 1, ISSN 0125-8281. January 2012 <https://doi.org/10.4186/ej.2012.16.1.67>
9. Upendra Rajak, TikendraNath Verma (2017) Numerical investigation on cylindrical combustion chamber for methane-air fuel. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*. ISSN (Print): 2319-3182 Volume -6, Issue-1-2, 2017 pp. 148–150.
10. ANSYS FLUENT 14.5 Theory Guide. New-York, USA: ANSYS Inc, 2012.
11. Компанія Струменево-Нишова Технологія. Назва з екрану. URL: <http://sn-technology.com/ua/> (дата звернення 22.12.2024).
12. Редько А. О., Давіденко А. В., Павловський С. В., Кулікова Н. В., Костюк В. Є., Кирилаш О. І. Моделювання процесів теплообміну в топках водотрубних котлів ДКВР-10/14. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. 2016. № 844. С. 180–187. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2016_844_28
13. Рачинський А. Ю. Баранюк О. В., Черноусенко О. Ю. Термонапружений стан барабану котла ДКВР-10-13 у разі заміни штатного пальника на струменево-нішевий. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2025. № 1(178). С. 137–144. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-178-1-137-144>

Rachynskiy A.Yu. MODELING OF THE INFLUENCE OF THERMAL LOAD ON THERMAL AND ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE DKVR-10-13 BOILER

The article presents the results of CFD-study of the process of natural gas combustion in the fuel chamber of the DKVR-10-13 steam boiler when varying the thermal load, assessing its thermal efficiency and impact on environmental indicators. The calculations were performed in the free student version of ANSYS Student. The aim of the work is to predict the formation of nitrogen oxides (NOx) in the DKVR-10-13 boiler at different thermal loads by means of CFD-modeling of combustion processes. The object of the study is the combustion processes of gaseous fuel and their impact on the boiler performance. The subject of the study is the CFD-model of the DKVR-10-13 boiler fuel chamber with standard burners capable of operating on liquid and gaseous fuel. The application of numerical modeling methods made it possible to analyze in detail the hydrodynamics and heat and mass transfer, assess the combustion efficiency and the impact on the level of harmful emissions. The model was verified on the basis of published and verified works of the Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. The deviation of the calculated data from the experimental results does not exceed 3%. Therefore, the applied mathematical model and the turbulence model selected for calculations are adequate for the range of operating parameters used in this study.

It was established that the standard burners of the DKVR-10-13 boiler do not meet the current standards for NOx emissions. It is proposed to replace them with jet burners from the SNT company, which, according to the modeling results, reduces the average NOx content at the outlet of the fuel chamber by approximately 20%. The effect is explained by the lower temperature in the active combustion zone (≈ 1400 °C versus ≈ 1800 °C for standard burners).

It was determined that the jet-niche burner provides a reduction in NOx formation due to better mixing of fuel with air and a decrease in temperatures in the combustion zone. The use of such a burner potentially allows reducing nitrogen oxide emissions without worsening the stability of the combustion process, which is a significant advantage from an environmental point of view.

Key words: heat transfer, modeling, sintering, nitrogen oxides, torch.

Дата надходження статті: 02.11.2025

Дата прийняття статті: 18.11.2025

Опубліковано: 30.12.2025