

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 536.24:533.6.011

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.1/42>

Баранюк О.В.

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

Воробйов М.В.

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

Кінзерський А.

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

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА ПРИ СПАЛЮВАННІ ПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ З ТВЕРДИХ СОРТІВ ДЕРЕВИНИ

У статті розглянуто процеси спалювання пелет в водогрійному котлі з метою визначення його теплогідрравлічних характеристик в залежності від зміни параметрів процесу горіння. Параметри процесу горіння, а саме співвідношення подачі компонентів горіння: палива та повітря-окисника визначають повноту згоряння палива та втрати з хімічним та механічним недопалом. Для організації повного згоряння палива, особливо для умов роботи конкретного обладнання, потрібно поглибити розуміння фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час спалювання пелет для конкретного котельного агрегату. Автори використовуючи метод CFD-моделювання розробили комп'ютерну модель пелетного пальника для твердопаливного котла VIADRUS A0C потужністю 20 кВт. Була створена скінченно-елементна модель з відповідними граничними умовами та математичним описом процесу, яка була розв'язана чисельними методами в студентській версії програмного комплексу ANSYS-Fluent.

Аналіз отриманих результатів моделювання свідчить, що комп'ютерна модель чутлива до теплофізичних властивостей компонентів палива і кінетики реакції, але їх правильне завдання дозволяє достатньо точно оцінити аеродинамічну структуру потоку в пальнику і топці котла а також прогнозувати утворення забруднюючих речовин.

Показано, що зона високої інтенсивності доокиснення CO повністю співпадає з об'ємною зоною існування факелу, де температура димових газів досягає 800°C. Верифікація результатів комп'ютерного моделювання проведена шляхом порівняння розрахункового підігріву води у моделі «водяної сорочки» топкової камери і паспортних даних котла. Швидкість циркуляції води також повністю співпадає з паспортними даними і складає 1 м/с.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності процесу горіння при спалюванні біопалива та модернізації систем спалювання палива малопотужних котелень комунального та промислового теплопостачання, соціально-бюджетної сфери, індивідуально-побутового сектору тощо.

Ключові слова: пелети, горіння, пальник, побутовий котел, моделювання, завихреність, окисли азоту.

Постановка проблеми. Спалювання деревини як окремого палива є одним із найдавніших способів отримання теплової енергії. Проте в сучасній Україні, вирубка лісів задля опалення оселі протирічить етичним і екологічним нормам і є адміністративним злочином. Тому для опалення муніципальних і житлових приміщень

в ЄС застосовуються різноманітні відходи деревообробної та аграрної промисловості і в першу чергу – «пелети». На сучасному рівні розвитку енергетики, пелети є основним джерелом теплової енергії в Європі. Обсяги споживання пелет для приватних, муніципальних і промислових об'єктів постійно зростають [1] оскільки пелети є еколо-

гічно чистим видом палива, проте не є основним джерелом енергії.

При спалюванні пелет в атмосферу викидається стільки ж вуглекислого газу, скільки утворилося при природному розкладанні деревини [2]. Пелети мають стабільно високу якість, безпеку, екологічність, постійну насипну щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані і найголовніше – можливість автоматизувати управління процесом горіння. Стає очевидним, що пелети (паливні гранули) – єдиний вид палива, який може бути справжньою альтернативою природному газу в побутовому секторі [2].

В Україні використання біопалив на основі рослинної біомаси з кожним роком стає все більше перспективним з заміщення викопних палив [3]. Таким чином реалізуються на практиці заходи, щодо захисту навколишнього середовища за рахунок скорочення викидів парникових газів і пилу в атмосферу. По співвідношенню зручності та вартості опалення з паливними пелетами конкурує тільки природний газ, якщо будинок під'єднаний до центрального газопостачання. За відсутності центрального газопостачання – підключення до газорозподільної мережі – набагато дорожчий захід, ніж встановлення твердопаливного пелетного котла.

Для реалізації на ринку України пропонуються так звані «білі» пелети, що виготовлені з деревини твердих сортів, а також так звані «сірі» пелети, що виготовляються з деревини хвойних порід, рапу тощо пресуються у вигляді гранул. Оскільки пелетні котли розраховуються і проектується для спа-

лювання певного типу пелетів, то при переході на інші за складом та якістю види палива виникають питання в збереженні характеристик роботи котла. Одним із можливих інженерних шляхів визначення можливості заміни палив та зміни характеристик роботи енергетичного обладнання при цьому є комп'ютерне моделювання за допомогою загальноновизначених у світі програмних комплексів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз доступної літератури свідчить, що пелети є основним джерелом теплової енергії в ЄС при децентралізованому теплопостачанні. Пелети (пілети, деревні гранули) – це спресовані гранули, які складаються з відходів деревообробної та сільськогосподарської промисловості. Використання пелет у вигляді білопалива забезпечує 86% відновлюваного опалення та охолодження в ЄС (58,6% від загального споживання відновлюваної енергії) [4].

Загальне споживання біопалива в Україні у 2050 році може становити 23,1 млн. тон/рік. Близько 50% цих ресурсів буде використано для виробництва тепла та замінить природний газ (еквівалентно заміні 13,7 млрд м³/рік природного газу). Інша частина замінить вугільну та атомну генерацію на виробництво електроенергії, а також нафтопродукти на транспорті.

У період 2020–2050 рр. в Україні використання деревної біомаси залишиться на колишньому рівні, але зростає частка використання для виробництва енергії соломи, стебел, лушпиння соняшнику, сільськогосподарських відходів, енергетичних культур, рідкого біопалива, твердих відходів. Цей прогноз ґрунтується на розрахунках,

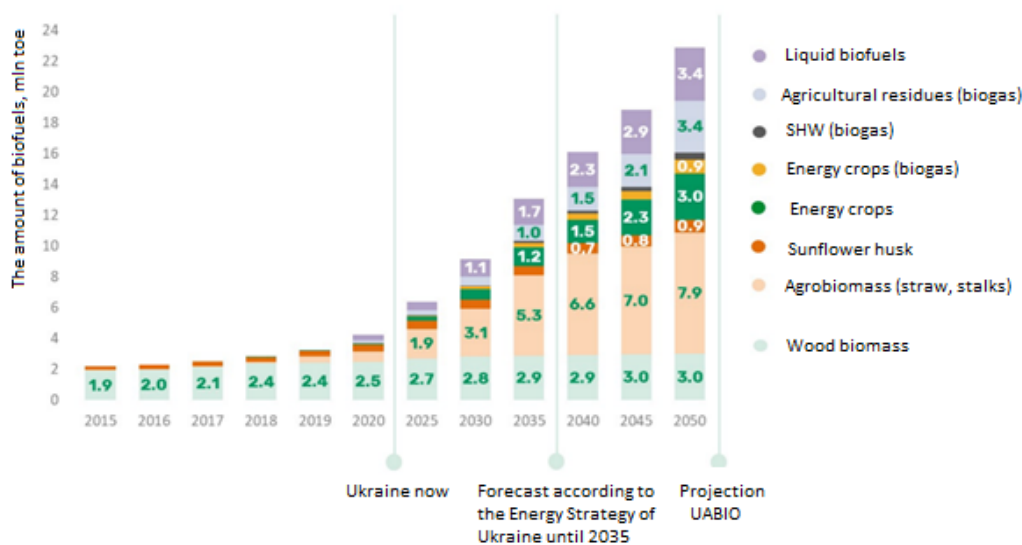


Рис. 1. Потенціал біопалива в Україні [4]

які показують, що потенціал деревної біомаси та соняшникових сіножатів в Україні у 2020 році вже використано більш ніж на 90% [5].

Враховуючи вищесказане, розробка рекомендації спалювання недеревної біомаси у побутових котлах з низьким рівнем викидів є важливою і актуальною задачею енергонезалежності країни. Розробка нової або вдосконалення існуючої системи горіння може бути прискорене за допомогою чисельних методів. Чисельні методи зазвичай використовуються для дослідження різних шляхів і заходів щодо зменшення викидів забруднюючих речовин від систем спалювання біомаси, особливо у великих або промислових котлах [6]. Чисельне моделювання часто є дієвим інструментом при аналізі процесу теплопередачі та розподілу температури димових газів, як показано в [7].

Зазвичай при моделюванні процесів горіння твердих палив розглядають процеси камерного спалювання для потужних енергетичних котлів [8, 9], а стосовно невеликих опалювальних котлів, зокрема які працюють на пелетах даних в літературі достатньо мало.

Відомою є робота корейських авторів [10] в якій авторами методами математичного моделювання та прямих досліджень оцінено характеристики роботи пелетного котла, в т.ч. і кінетики спалювання паливних пелетів, проте вказані результати отримано тільки для одного типу палива.

Існує думка, що спалювання агропелет не призводить до посилення парникового ефекту, про те це не так. Типові викиди твердих частинок при спалюванні сертифікованих та несертифікованих деревних пелет коливаються від 21,9 до 110 мг/м³ при 10% O₂ в сухих димових газах [11]. Крім більших викидів забруднюючих речовин, агропелети з високим вмістом золи та низькою температурою плавлення є ще однією проблемою. Так, в роботі [12] показано, що гранули з пшеничної соломи через високий вміст золи та низьку температуру плавлення золи непридатні для побутового застосування. Цей висновок узгоджується з дослідями авторів [13] щодо використання гранул, які складаються з чистої пшеничної соломи.

Отже, значна кількість публікацій в останні роки, свідчить про значний інтерес суспільства до тематики тому робота направлена на оцінку характеристик роботи котла та забезпечення необхідних параметрів його роботи при спалюванні агропелет є актуальною.

Мета дослідження. Основною метою даного дослідження є підготовка комп'ютерної моделі водогрійного котла VIADRUS A0C (Польського

виробництва), що буде використана для подальшої розробки, вдосконалення та впровадження пальників для спалювання пелет сільськогосподарського походження, а також визначення основних закономірностей процесу їх горіння й дослідження впливу режимних параметрів на розподіл температур в топковій камері, а також дослідження характеристик біоенергетичних трав'янистих та деревних культур як біопаливної сировини.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Метод дослідження – чисельний, за допомогою академічної ліцензії програмного комплексу ANSYS Student. Дана ліцензія є абсолютно безкоштовною (з 2015 року) і призначена для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

Об'єкт дослідження – процеси, що протікають під час спалювання і так званих «білих» пелетів з деревини твердих сортів в комп'ютерній моделі топкової камери автоматичного котла на твердому паливі VIADRUS A0C.

Предмет дослідження – автоматичний котел на твердому паливі VIADRUS A0C потужністю 20 кВт, що призначений насамперед для опалення односімейних будинків, дач, невеликих майстерень тощо [14]. В якості палива в якому використовувались дерев'яні пелети, що подавались в факельний пальник розроблений компанією PellasX [15] з витратою 2 кг/с при швидкості нагнітаємого феном повітря 7,5 м/с з температурою 300°C. Для побудови моделі використані дані з відкритих джерел.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувалось шляхом моделювання течії безперервної газової фази і її взаємодії з дискретною фазою частинок вугілля. З частинок вугілля при проходженні через газ виділятимуться газоподібні горючі речовини, які будуть джерелом для реакції горіння. Моделювати реакцію можна або з використанням моделі перенесення реагентів (species transport model), або з використанням моделі горіння без попереднього змішування (non-premixed combustion model).

В якості прикладу виконане моделювання процесів, що мають місце в топковій камері автоматичного котла на твердому паливі VIADRUS A0C потужністю 20 кВт. В якості палива в якому використовувались дерев'яні пелети, що подавались в факельний пальник з витратою 2 кг/с при швидкості нагнітаємого феном повітря 7,5 м/с з температурою 300°C.

Хімічний склад палива (дерев'янистих пелет, що є відходами деревообробної промисловості, так звані білі пелети) приведено в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Склад сухої знезоленої маси

Proximate Analysis (Приблизний аналіз)	Wt % (DAF)
Volatiles (Летючі)	70
Char (C(s)) (Зв'язаний вуглець)	16,6
Ash (Зола)	4,4
Moisture (Вологість)	9,0

Таблиця 2

Хімічний склад сухої обеззоленої маси

Element	Wt, %	Mole Fraction
C	43,0	0,28284
H	6,0	0,4703
O	40,0	0,19752
N	7,0	0,03948
S	4,0	0,00986

Початкові дані, необхідні для виконання роботи, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Хімічний склад сухої обеззоленої маси

Параметр	Значення	Розмірність
Empirical secondary lower calorific value (Нижча теплота згоряння)	Визначається після перерахунку елементарного складу палива. Орієнтовно 17,8 МДж/кг	
Empirical secondary specific heat (Питома теплоємність продуктів згоряння)	1250	Дж/(кг·К)
Empirical secondary molecular weight (Молекулярна маса)	8,7	кг/кмоль
Coal as received HCV (Вища теплота згоряння)	16,79	МДж/кг
high temperature volatile yield (Вихід летючих при високих температурах)	1,0	–
fraction of N in char (DAF) (Вміст азоту у паливі)	0,5	–
Temperature (Температура займання палива)	+300	°C
Velocity magnitude (Середня швидкість повітря)	7,5...14	м/с
Total flow rate (Масова витрата палива)	2,6...4,3	кг/год

Для проведення моделювання роботи водогрійного котла створено геометричну модель та на її основі побудовано скінчено-елементна модель з граничними умовами і математичним описом розрахункового процесу, який реалізовано засобами ANSYS-Fluent. В якості прототипу вибраний автоматичний пелетний котел VIADRUS A0C для якого в відкритому доступі [14] є інформація щодо його конструктивних особливостей та технічних характеристик.

Головною частиною котла є чавунний секційний котельний корпус, виготовлений із сірого чавуну згідно з EN 1561 сорт 150. Котельний корпус зібраний з зпресованих одна з одною секцій і зафіксований за допомогою кріпильних болтів. Секції утворюють камеру згоряння та зольник, водний простір та конвекційну частину. Вхід та вихід опалювальної води розташовані у задній частині котла. Задня секція котла у верхній частині має горловину димоходу та фланець опалювальної води, у нижній частині – фланець живильної води з патрубком для випускного та випускного крана. До передньої секції прикріплені дверцята для чищення та зольника зі встановленим факельним пальником.

В котлі використовується встановлений на дверях зольника пальник для пелет від компанії PellasX [15].

З правого (лівого) боку котла розміщено бункер для пелет із листової сталі об'ємом 300 л. Бункер з'єднаний з пальником допомогою живильника палива та сполучного шлангу.

На рис. 1 та рис. 2 зображено компонування пелетного котла VIADRUS A0C, що приведена з метою формування у читача уявлення про конструкцію котла.



Рис. 1. Модель глибинної і першої секцій (а та б) та фотографія топкової камери діючого пелетного котла VIADRUS A0C (в)

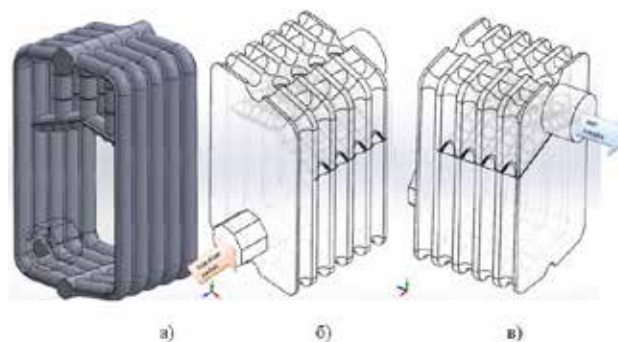


Рис. 2. Модель топкової камери пелетного котла VIADRUS A0C (а), фронтальний (б) і зворотній (в) види моделі топкової камери

Скінчено-елементна сітка моделі враховує розвиток примежового шару на всіх твердотільних поверхнях котельного агрегату. Область поза примежовим шаром моделювалась за допомогою нерівномірної тетраедричної сітки (рис. 3а). Після конвертації моделі в Fluent є можливість заощадити об'єм оперативної пам'яті комп'ютера при проведенні розрахунків шляхом об'єднання тетраедричних скінчених елементів в шестигранні. При цьому скошеність (Skewness) не перевищувала 0,8, а співвідношення сторін (AspectRatio) кінцевих елементів не перевищувало 40 (рис. 3б).

Комп'ютерна модель спалювання твердого палива в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent містить рівняння нерозривності, осереднені по Рейнольдсу рівняння збереження енергії, імпульсу і маси (Нав'є-Стокса), а також рівняння переносу *i*-го компонента суміші. Для замикання осереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса використовувалась Realizable *k*- ϵ модель турбулентності, що забезпечує позитивність нормальних напруг ($\overline{(u_i')^2} \geq 0$) і виконання нерівності Шварца: $\overline{(u_i' u_j')} \leq (u_i')^2 \cdot (u_j')^2$. Транспортні рівняння для *k* та Realizable моделі турбулентності можна знайти в [16].

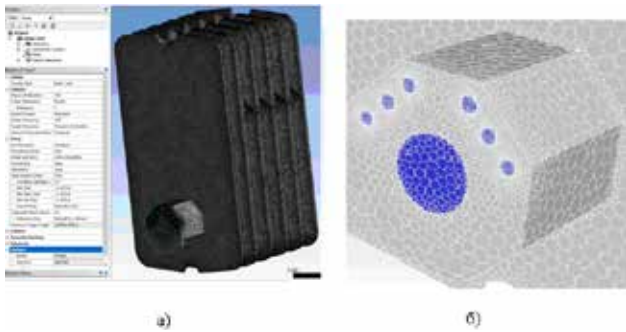


Рис. 3. Тетраедрична розрахункова сітка (а) та розрахункова сітка типу «Polyhedra» (б)

Для моделювання течії в примежовому шарі використані нерівноважні пристінні функції. Сильними сторонами яких є те, що вони призначені враховувати чутливість логарифмічного закону, який постулює розподіл швидкості потоку в примежовому шарі, до градієнта тиску. Тим самим вони краще прогнозують виникнення від'ємного градієнту тиску і появу зворотних течій чим стандартні пристінні функції.

Після завдання гідродинамічних характеристик потоку використана модель горіння без попереднього змішування (non-premixed combustion model). Відправною точкою для її використання є створення PDF таблиці (PDF – probability distribution function – функція розподілу вірогідності). Цей файл містить

інформацію про залежність змісту компонентів і температур від фракційного складу суміші і використовується ANSYS-Fluent для набуття цих значень в процесі розв'язку.

При визначенні PDF-таблиці використовувались рівняння Equilibrium Chemistry (Рівноважна хімія), які мають значно більшу точність. За допомогою цієї моделі є можливість включити ефекти проміжних реакцій і реакцій дисоціації, створюючи більш реалістичні прогнози температури полум'я, ніж загальноприйнята модель Eddy-Dissipation.

Обговорення отриманих результатів. Для аналізу результатів комп'ютерного моделювання використовувалась візуалізація полів температур взаємодії палива і окислювача, виходу летких сполук та ступені вигорання вуглецю у центральному перетині топкової камери для різних режимів навантаження котельного агрегату.

Поле температур у топковій камері приведено на рис. 4. Високотемпературна зона за результатами моделювання відповідає дійсній картині розвитку факелу і утворюється примусовим обдуванням підігрітого палива на спеціально обладнаній запальним тенем платформі пальника. Значні швидкості подачі окисника на деяких режимах сприяють безпосередньому контакту високоогрітих продуктів спалювання у факелі з фронтною стінкою топкової камери.

Аналіз рис. 4 свідчить, що температурне поле у розрізі топки достатньо рівномірне з верхньою межею біля 520°C за виключенням об'ємної зони існування факелу. На рисунку спостерігаються досить високі значення температур у зоні виходу продуктів спалювання з топки до димоходу (більше 300°C), проте такий розподіл температур є характерним для топкових камер котлів де спалюють пелети.

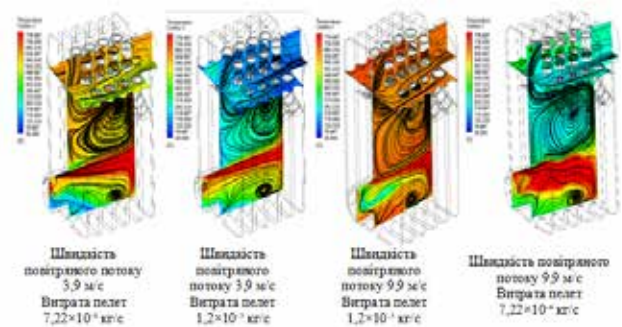


Рис. 4. Поле температур продуктів горіння деревних пелет

Використаний пакет прикладних програм обчислювальної гідродинаміки ANSYS-Fluent має досить широкі можливості стосовно розрахунку та візуаль-

ного представлення розрахункових параметрів. На рис. 5 приведений розподіл Mean Mixture Fraction, що показує межі, де вуглець і летючі переходять з твердої в газову фазу. Орієнтовно, приведені результати слід інтерпретувати як такі, що моделюють вихід твердих часток. Процес утворення незгорілих летючих твердих частинок є показовим при спалюванні твердих палив будь якого походження і потребує контролю при експлуатації твердопаливних котлів. Очевидно, що найбільш інтенсивний процес переходу до газової фази відбувається у пальнику і в області існування факелу, але при зміні режимів горіння процес реагування вуглецю уповільнюється, займаючи при цьому майже весь об'єм топки (рис. 5а, в).

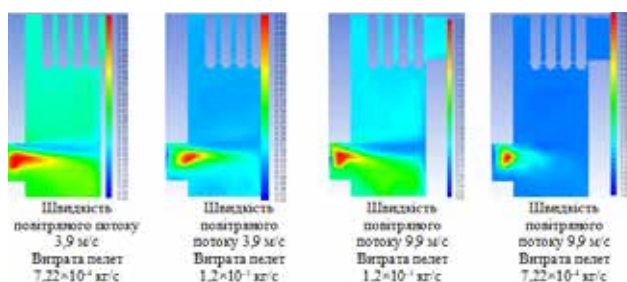


Рис. 5. Розподіл параметру Mean Mixture Fraction у центральному перерізі топкової камери

На рис. 6 і 7 відповідно представлені результати моделювання параметрів Evaporation/Devolatilization (DPM вихід летючих) та DPM Burnout (ступінь вигорання вуглецю).

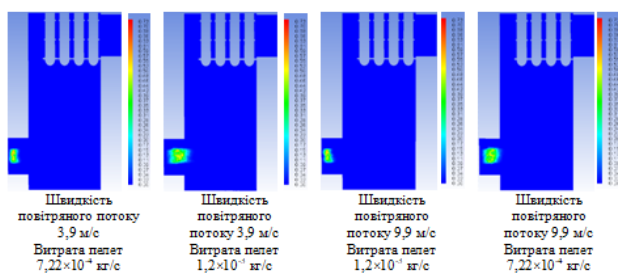


Рис. 6. Візуалізація виходу летких сполук у центральному перерізі топкової камери для різних режимів навантаження установки

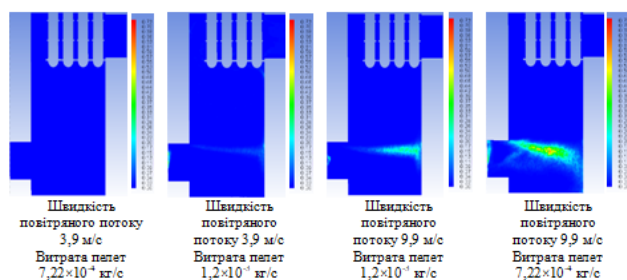


Рис. 7. Візуалізація ступеню вигорання вуглецю у центральному перерізі топкової камери для різних режимів навантаження установки

На рис. 8 представлені результати моделювання розподілу масової долі компонента CO.

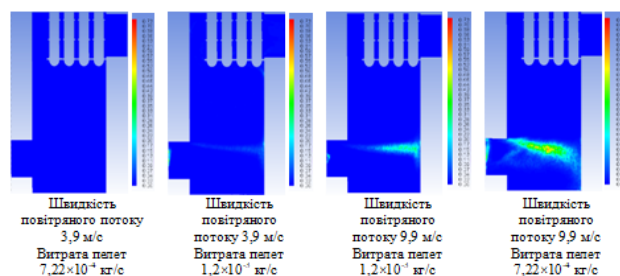


Рис. 8. Візуалізація розподілу масової долі компонента CO у центральному перерізі топкової камери для різних режимів навантаження установки

Так, на всіх представлених рисунках (рис. 5–8), для всіх розрахункових режимів видно, що існує розвинений факел реагуючих компонентів палива, який розповсюджується у горизонтальному положенні фактично відбиваючись від фронтальної стінки топки і заповнює продуктами горіння як нижню подову частину так і загальний об'єм топки. При цьому, як показують розрахунки, верхня частина топкової камери до теплообмінника має більш рівномірний температурний розподіл у порівнянні з подовою частиною, де на більшості режимів відбувається заходження факелу холодним повітрям і проходження реакції окиснення вуглецю сповільнюється (рис. 8). Найбільш інтенсивне згорання летких речовин у CO відбувається в полум'ї та у каналі пальника. Порівняння з температурними полями на рис. 4 вказує на відповідність зон високої інтенсивності доокиснення CO та зон з температурою >550°C. Однак, турбулентність є ще одним фактором, який визначає остаточну картину швидкостей проходження реакції горіння. Реакції CO з CO₂ ще мають високу інтенсивність на вході в першу частину конвективного теплообмінника у зв'язку з досить високою концентрацією CO, досить високі температури для спалювання CO і підвищений рівень турбулентності, що забезпечується обтіканням оребрених труб.

Результати також показують, що одна частина повітря для горіння, що виходить з пальника і тече під полум'ям, є надлишковою для процесів горіння утворюючи холодні зони, які можуть обмежувати швидкість реакцій горіння.

Розподіл наведених параметрів корелюється з гідродинамічною картиною потоку реагуючої суміші, що приведена на рис. 6. Як видно, топкова камера в об'ємі обмежена «водяною сорочкою». Зверху розташовується теплообмінник, конструк-

ція якого являє собою додаткову секцію гідравлічної системи котла, що складається з оребрених труб. Така секційна конструкція котла дозволяє набирати необхідну потужність, а збільшення площі теплообміну за рахунок теплообмінника підвищує ефективність утилізації теплоти відхідних газів. Отримані температурні градієнти показують, що температура теплоносія на виході становить 57°C , що відповідає робочому режиму опалювальної системи, а розрахунковий підігрів води у котлі не суперечить паспортним даним і не перевищує 15°C . Швидкість циркуляції обрана з огляду на паспортні характеристики і складає 1 м/с (рис. 9).

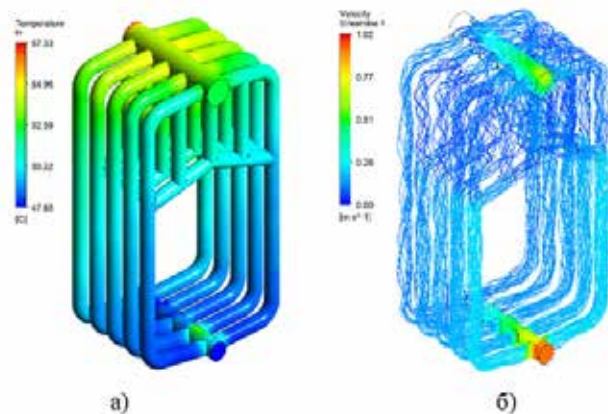


Рис. 9. Візуалізація поля температур (а) і швидкості (б) теплоносія, що рухається в «водяній сорочці» яка огортає топкову камеру котла

Висновки. На основі аналізу результатів комп'ютерного моделювання процесів спалювання пелет з твердих сортів деревини в топковій камері пелетного котла VIADRUS A0C за допомогою математичної моделі з використанням пакета прикладних програм ANSYS-Fluent визначено, що:

- модель дозволяє проводити досить точну оцінку аеродинамічної структури потоку в пальниках і топці котла, в яку даний паливник встановлено, а також емісійних характеристик викидів при спалюванні пелет у випадку коли точно задані теплофізичні властивості палива;
- зона високої інтенсивності доокиснення CO повністю співпадає з об'ємною зоною існування факелу, де температура димових газів досягає 800°C ;
- верифікація результатів комп'ютерного моделювання проведена шляхом порівняння розрахункового підігріву води у моделі «водяної сорочки» топкової камери і паспортних даних котла. Швидкість циркуляції води також повністю співпадає з паспортними даними і складає 1 м/с .

Результати дослідження в подальшому можуть бути використані для підвищення ефективності процесу горіння при спалюванні біопалива та модернізації паливоспалюючих систем котлів малої потужності комунальної та промислової теплоенергетики, соціально-бюджетної сфери, індивідуально-побутового сектора та ін.

Список літератури:

1. Паливні пелети. Характеристики і види. URL: <https://galmet.com.ua/yak-tse-pratsyuue/palyvni-pelety-harakterystyky-ta-vydy.html> . – 12.11.2021 р.
2. Все про пелети. URL: <http://liberator.com.ua/ua/vse-pro-peleti/>. – 12.11.2021 р.
3. ENplus. 2019. ENplus® Handbook (v3.0). URL: <https://enplus-pellets.eu/en-in/resources-en-in/technical-documentation-en-in.html#handbook> [Accessed: 2022-01-24].
4. Heletukha H.H., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. Analysis of barriers to biomass energy production in Ukraine. Analytical note. BAU № 21. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.
5. Bioenergy Association of Ukraine (2021). Available at: <https://uabio.org/bioenergy-transition-in-ukraine/>.
6. Zhou A, Xu H, Xu M, Yu W, Li Z, Yang W. Numerical investigation of biomass co-combustion with methane for NO_x reduction. Energy 2020:194.
7. Echi S, Bouabidi A, Driss Z, Abid M. CFD simulation and optimization of industrial boiler. Energy 2019; 169:105-14.
8. Nekhamin, M., Beztsennyi, I., Dunayevska, N. & Vyfatnuik, V. (2020). On using the ANSYS FLUENT software for calculating the process of burning a mixture of particles from different types of solid fuels. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(8 (106)), 48–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209762>.
9. Bhuiyan, A.A., Naser, J. (2015). CFD modelling of co-firing of biomass with coal under oxy-fuel combustion in a large scale power plant. Fuel, 159, 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.05.011>.
10. Lee, YW., Ryu, C., Lee, WJ. & Park YK. (2011). Assessment of wood pellet combustion in a domestic stove. The Journal of Material Cycles and Waste Management; 13 (3), <https://doi.org/10.1007/s10163-011-0014-0>.
11. Vicente E, Vicente A, Evtugina M, Tarelho L, Almeida S, Alves C. Emissions from residential combustion of certified and uncertified pellets. Renew Energy 2020; 161:1059-71.
12. Verma V, Bram S, Delattin F, Laha P, Vandendael I, Hubin A, et al. Agro-pellets for domestic heating boilers: standard laboratory and real life performance. Appl Energy 2012; 90(1):17-23.

13. Horvat I, Dovic D, Filipovi_c P. Laboratory testing of domestic hot water boiler while fired with different biomass pellets. In: 13th Conference on sustainable development of energy, water and environment systems. Palermo, Italy: SDEWES; 2018.
14. VIADRUS A0C Инструкци по Я обслуживанию и монтажу котла VIADRUS a.s. Vezručov 300 E-mail: info@viadrus.cz | www.viadrus.cz
15. Пелетный пальник PellasX HYBRID 35. [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://teplobezgaza.com.ua/pelletnaya-gorelka-pellasx-hybrid-35/>. – 12.11.2021 г.
16. FLUENT 5.5. User's Guide. – Fluent Inc. September 2000. – 563 p.

Baranyuk A.V., Vorobiov M.V., Kinzerskyi A. SIMULATION OF HEAT AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF HOT-WATER BOILER FOR COMBUSTION OF FUEL PELLETS FROM HARDWOOD

The article deals with the processes of pellet combustion in a hot-water boiler in order to determine the thermal and hydraulic characteristics of the boiler depending on changes in the parameters of the combustion process. The parameters of the combustion process, namely the ratio of the supply of combustion components: fuel and oxidizing air, determine the completeness of fuel combustion and losses due to chemical and mechanical underburning. To organize complete combustion of fuel, especially for the operating conditions of specific equipment, it's necessary to deepen the understanding of the physical and chemical processes occurring during the combustion of pellets for a particular boiler unit. Using the CFD modeling method, the authors developed a computer model of a pellet burner for a 20 kW VIADRUS A0C solid fuel boiler. A finite-element model with appropriate boundary conditions and a mathematical description of the process was created, which was solved by numerical methods in the student version of the ANSYS-Fluent software package.

The analysis of the simulation results shows that the computer model is sensitive to the thermophysical properties of fuel components and reaction kinetics, but their correct setting allows for a fairly accurate assessment of the aerodynamic flow structure in the burner and boiler furnace and prediction of pollutant formation.

It is shown that the zone of high intensity of CO deoxidation completely coincides with the volumetric zone of the flame, where the temperature of the hot gases reaches 800 °C. The computer modeling results were verified by comparing the calculated water heating in the "water jacket" model of the combustion chamber with the boiler data sheet. The water circulation rate also fully coincides with the passport data and is 1 m/s.

The results of the study can be used to improve the efficiency of the combustion process when burning biofuels and to modernize fuel combustion systems of low-power boilers of municipal and industrial heat supply, social and budgetary sphere, individual household sector, etc.

Key words: pellets, combustion, burner, domestic boiler, modeling, vorticity, nitrogen oxides.