ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
NATURAL RESOURCES

УДК 699.86

Borys I. Basok, D. S. (Technical Sciences), Professor, Corresponding member of NASU, Head of a department
ORCID: 0000-0002-8935-4248 ***e-mail*:** basok@ittf.kiev.ua

Svitlana M. Goncharuk, PhD, Leading Researcher
ORCID: 0000-0002-5609-7337 ***e-mail*:** goncharuk-s@ukr.net

Victor P. Priemchenko, Chief Engineer
ORCID: 0000-0003-4785-4815 ***e-mail*:** priemchenko@ukr.net

Oksana M. Lysenko, PhD, Senior Researcher
ORCID: 0000-0003-3981-9796 ***e-mail*:** lisenko_oks@ukr.net

Hanna M. Veremiichuk, postgraduate student, Junior Researcher
ORCID: 0000-0003-1893-3637 ***e-mail*:** averemiichuk@gmail.com

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THERMOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF DOMESTIC BOILER WITH A MECHANICAL PELLET BURNER

Abstract. *An experimental study of technologies for direct combustion of pellets in a domestic boiler was conducted. Experimental studies to determine the thermophysical characteristics of the process of burning pellet fuel in the bulk layer were performed using a pellet burner Pelletron-15.*

To determine the patterns of the process of burning pellets in the burner and the thermal characteristics of the domestic boiler with a pellet burner, studies of the temperature of the boiler volume at different modes of operation of the burner were performed. Temperature measurement was performed using HA-thermocouples with open junction, located in the furnace space at different heights and different distances from the initial cross section of the burner. The analysis of the chemical composition of flue gases, which was determined using a gas analyzer TESTO 330-2LL, namely determined the temperature of the flue gases at the measurement point, as well as the concentration of oxygen (O_2), carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and other parameters.

According to the results of experiments, the temperature distribution in the furnace space of the solid fuel boiler Viadrus with a thermal capacity of up to 24 kW with a mechanized burner Pelletron-15 with a pellet feed hopper built into the front panel was determined.

In addition, based on the results of some experimental studies, the heat of combustion, humidity and ash content of pellets were determined. The dependences

© Б.І. Басок, С.М. Гончарук, В.П. Приємченко, О.М. Лисенко, Г.М. Веремійчук, 2021

on the time change of the boiler temperature at the stage of quasi-stationary mode of wood pellet combustion are obtained: at the minimum and maximum fuel supply from the hopper, as well as at the maximum fuel supply mode after the supply of additional air from the fan and in the pellet combustion process.
The influence of speed and temperature of air introduced into the combustion chamber was determined. According to the research results, measures are proposed to improve the design characteristics of the pellet burner in low-power boilers (10… 30 kW).
Keywords: *biomass; pellets; direct combustion; bulk layer*

Б.І. Басок, С.М. Гончарук, В.П. Приємченко,
О.М. Лисенко, Г.М. Веремійчук

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ ПОБУТОВОГО КОТЛА З МЕХАНІЧНИМ ПЕЛЕТНИМ ПАЛЬНИКОМ

Анотація. *В роботі було проведено експериментальне дослідження технологій прямого спалювання пелет в побутовому котлі. Експериментальні дослідження з визначення теплофізичних характеристик процесу спалювання пелетного палива в насипному шарі проводились з використанням пелетного пальника марки Пеллетрон-15.*
Для визначення закономірностей процесу спалювання пелет в пальнику та теплотехнічних характеристик роботи побутового котла з пелетним пальником виконувались дослідження температурного режиму об'єму котла при різних режимах роботи пальника. Вимірювання температури здійснювалося за допомогою ХА-термопар з відкритим спаєм, що розташовуються в топковому просторі на різних висотах та різних відстанях від вихідного перетину пальника. Проводився аналіз хімічного складу димових газів, який визначався за допомогою газоаналізатора TESTO 330-2LL, а саме визначалася температура димових газів в точці вимірювання, а також концентрація кисню (O_2), двоокису вуглецю (CO_2), моноокису вуглецю (CO), окислів азоту (NOx) та інші параметри.
За результатами експериментів визначено розподіл температури в топковому просторі твердопаливного котла Viadrus тепловою потужністю до 24 кВт з вмонтованим в передню панель механізованим пальником Пеллетрон-15 з бункером подачі пелет.
Також за результатами окремих експериментальних досліджень визначено теплоту згоряння, вологість та зольність пелет. Отримано залежності щодо зміни у часі температурного стану котла на стадії квазістаціонарного режиму горіння пелет з деревини: при мінімальній і при максимальній подачі палива з бункера, а також в режимі при максимальній подачі палива після припинення подачі з вентилятора додаткового повітря та в режимі завершення процесу горіння пелет.
Визначався вплив швидкості та температури повітря, що вводиться в топкову камеру. За результатами досліджень запропоновано заходи з вдосконалення конструкційних характеристик пелетного пальника в котлах малої потужності (10…30 кВт).
Ключові слова: *біомаса; пелети; пряме спалювання; насипний шар*
DOI: https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.60-72

Вступ

Актуальними завданнями, що стоять перед економікою нашої країни останніми роками, є скорочення споживання дорогого імпортного палива – природного газу, а також збільшення частки використання відновлюваних джерел енергії. Передумовою успішного розвитку біоенергетики є наявність достатніх ресурсів біомаси [1]. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 року обсяг використання деревної біомаси з кожним роком зростає.

Привабливість пелет в якості палива полягає в тому, що при незначному обсязі вони мають достатньо високу теплотворну здатність, екологічно безпечні та економічно вигідні. Одна з найважливіших переваг використання пелет є висока насипна щільність, що дозволяє економічно вигідно перевозити їх на великі відстані.

За минулі чотири роки найбільший приріст спостерігався на ринку котлів на аграрній біомасі. Помітне значне зростання ринку котлів на трісці – у 6,8 раза за кількістю і в 3,3 раза за потужністю та ринку котлів на пелетах (гранулах) – у 4 рази, тобто з 71 до 300 одиниць, що свідчить про актуальність їх використання [2].

Зазначимо, що понад 90% енергії з біомаси отримують шляхом спалювання. Характеристики палива, вартість обладнання та потужність енергетичної станції є визначними показниками під час вибору технології спалювання для впровадження. Спалювання біомаси відбувається в топках котлів, а теплота, що виділяється, передається теплоносіям (воді, парі або повітрю) частково в самій топці котла, а частково – від продуктів згоряння, які з топки під час свого руху контактують з конвективними поверхнями теплообміну та поступово віддають теплоту теплоносіям [3]. Тому особливо актуальними є розробка та дослідження характеристик пристроїв для спалювання пелет в стаціонарному режимі. Ефективне спалювання пелет різного походження в котлах є актуальним завданням для енергетичного використання цих палив [4, 5].

Сьогодні питання впровадження технологій енергетичного використання біомаси та заміщення викопних палив, в першу чергу природного газу, набуває все більшої актуальності. Основними напрямами, практичне впровадження яких розвивається найбільшими темпами, є технології прямого спалювання деревини у вигляді дров, відходів деревообробки, тріски та гранул або пелет. Низка вітчизняних компаній вже освоїли випуск котлів для спалювання деревини як для побутового використання, так і для промислових споживачів [6]. Використання деревних пелет має ряд переваг, а саме використання існуючої сировинної бази, яку раніше вважали тільки відходами, що забруднює навколишнє середовище; формування нових ринків збуту готової продукції; створення новітніх екологічних конструкційних матеріалів [7].

Основні відмінності застосування пелет полягають саме в організації процесу спалювання біомаси, що має свої особливості залежно від виду біомаси. У свою чергу процес спалювання накладає певні вимоги на конструкцію топки, спосіб подачі палива тощо [8].

Саме пелетний пальник є складовим елементом твердопаливного котла та основною його частиною. Перехід на такі пристрої для опалення будівель індивідуально-побутового сектора сьогодні особливо актуальний через їх екологічність, в т.ч. вуглецеву нейтральність, та в зв’язку з поступовим виснаженням викопних природних енергоресурсів, таких як вугілля, нафта і газ.

Мета і методи

Основною метою даної роботи було експериментальне дослідження технологій прямого спалювання пелет в побутовому котлі.

Експериментальні дослідження з визначення теплофізичних характеристик процесу спалювання пелетного палива в насипному шарі проводились з використанням пелетного пальника марки Пеллетрон-15 з максимальною тепловою потужністю 15 кВт. Цей пальник призначений для застосування в системах опалення житлових, офісних або виробничих приміщень шляхом його облаштування для твердопаливних котлів [9].

Схематичне зображення пелетного пальника Пеллетрон-15 у розрізі наведено на рис. 1.

Для визначення закономірностей процесу спалювання пелет в пальнику та теплотехнічних характеристик роботи побутового котла з пелетним пальником виконуються дослідження температурного режиму об'єму котла при різних режимах роботи пальника. Вимірювання температури здійснюється за допомогою гребінки (вісім) термопар хромель-алюмель з відкритим спаєм, що розташовуються на різних висотах та різних відстанях від вихідного перетину пальника (показано на рис. 2).

Хімічний склад димових газів визначався за допомогою газоаналізатора TESTO 330-2LL. За його допомогою вимірювалась температура димових газів в газоході, а також концентрація кисню (O_2), двоокису вуглецю (CO_2), моноокису вуглецю (CO), окислів азоту (NO_x) та деякі інші параметри.

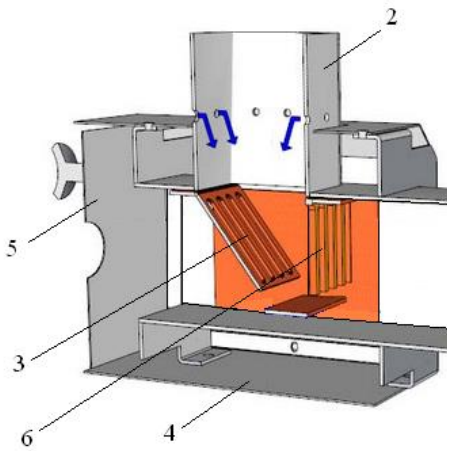

Рис. 1 – Схема пелетного пальника Пеллетрон-15

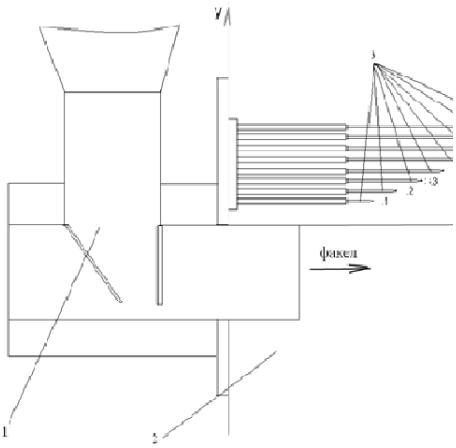

Рис. 2 – Схема вимірювання температури в об'ємі котла: 1 – пелетний пальник; 2 – топковий об'єм котла; 3 – термопари

Результати та пояснення

Як базовий варіант розглядається конструкція пальника «Пелетрон-15», який призначений для спалювання пелет вищої якості, які виготовлені з деревини, мають низьку зольність, високу температуру плавлення золи та відносно високу теплоту згоряння.

Пелетний пальник входить до складу опалювального котла, що обладнаний димовою трубою. Запуск пальника відбувається за умов його попереднього розігріву від стороннього джерела теплоти для створення необхідного перепаду тиску в димовій трубі та забезпечення умов подачі повітря в пальник і вільного виходу димових газів (тобто створення тяги в трубі) [10].

Дослідження при мінімальній витраті палива. Серія експериментальних досліджень стосується спалювання у пелетному пальнику пелет з деревини. Їх діаметр складає 6 мм. На першому етапі досліджень отримано експериментальну залежність від часу температурного стану в котлі на початковій стадії процесу спалювання пелет після розпалу пальника від стороннього джерела теплоти. Відлік часу на рис. 3 відповідає початку стабільної роботи пальника після його виходу на квазістаціонарний режим при мінімальній витраті палива.

В період роботи пальника з початку і до 800 с режим подачі палива – мінімальний. В цьому режимі температура у факелі, яка фіксується термопарою №8, змінювалась в діапазоні 300° С..350° С. Після 650 секунди температура зменшується до 250° С. Показання термопар №1 та №6 впродовж перших 800 секунд змінювалось у межах 150° С …200 °С.

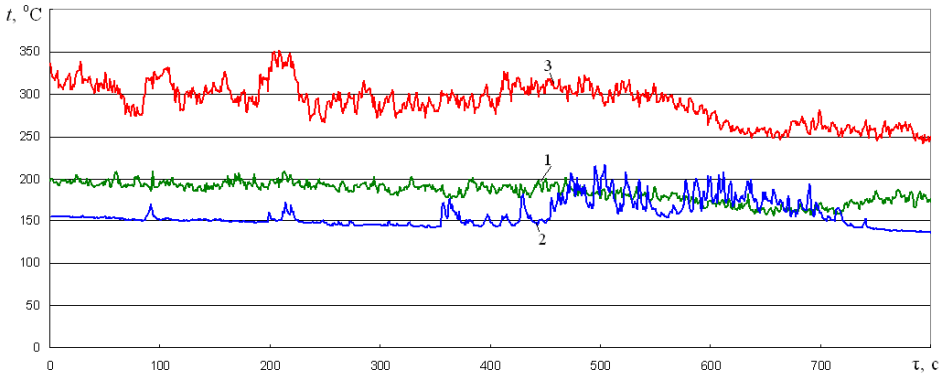

Рис. 3 – Зміна у часі температурного стану котла на стадії квазістаціонарного режиму горіння пелет з деревини при мінімальній подачі палива: 1 – покази термопари №1; 2 – №6; 3 – №8

Після 800 секунди було переведено режим подачі з бункера пелетного палива на максимум. Температура в точці, де встановлено термопару №8, почала стрімко зростати.

Мінімальні значення відповідали моментам часу, при яких здійснювалася подача палива з бункера, а максимальні – періодам найбільш інтенсивного виходу та горіння летючих газів. При цьому показання термопар №2 та №6 монотонно збільшувалися.

Для інтенсифікації процесу горіння з 1680 секунди в камеру згоряння через бокові дверцята було організовано подачу підігрітого повітря з тепловентилятора. Температура в точці №8 при цьому почала стрімко зростати і досягла значення 800° С. Зміна температури в точці №8 має періодичний характер. Спостерігаються періоди підвищення та зниження температури в цій точці. Періоди складають 70…90 с.

В момент часу 2443 с подачу палива з бункера було перекрито. В пальнику ще лишалася достатня маса палива, завдяки якій певний час продовжувався режим інтенсивного горіння. Внаслідок того, що холодне пальне з бункера більш не потрапляє в пальник, в період від 2443 с до 2561 с температура в камері згоряння та у факелі зростає і досягає в точці №8 максимального значення 900° С. Значення температури в точках №1 та №6 також досягають максимальних значень 300 °С, що відображено на рис. 4.

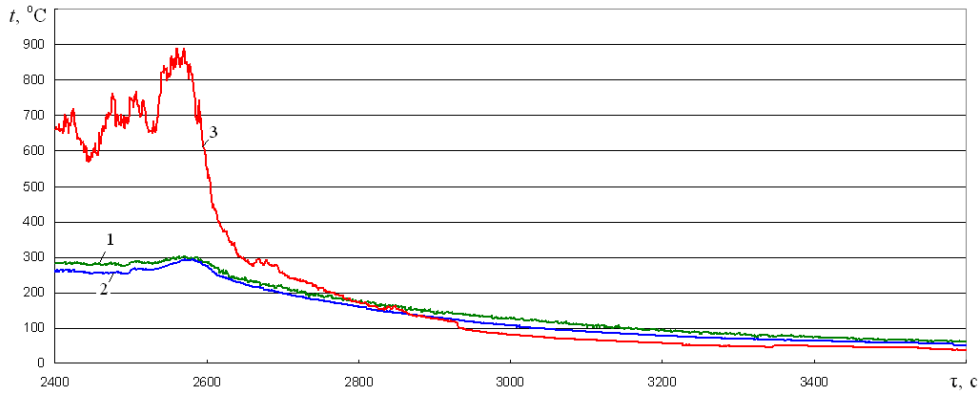

Рис. 4 – Зміна у часі температурного режиму в котлі на стадії завершення горіння пелет з деревини: 1 – покази термопари №1; 2 – №6; 3 – №8

До моменту часу 2561 с пелети в камері пальника практично всі згорають. Вихід летючих газів припиняється. Температура в точці №8 починає швидко спадати. Це пояснюється тим, що тепловиділення в камері згоряння практично припиняється, а повітряна тяга в розігрітому димарі ще лишається. В пальник надходить холодне зовнішнє повітря, яке охолоджує камеру згоряння та котел.

Після остаточного охолодження пальника та котла в камері пальника практично не лишається золи. Зола, яка має структуру легкого попелу, виноситься з камери згоряння під час горіння пелет і осідає в збірнику золи, що розміщується в нижній частині котла.

Дослідження при максимальній подачі палива. Наступна серія експериментальних досліджень була реалізована при режимі спалювання, коли на початку процесу горіння застосовувався режим максимальної подачі палива, а далі здійснювався перехід на режим мінімальної подачі.

Температурний стан пальника, що на початковій стадії працює в режимі максимальної витрати палива, відображено на рис. 5. На цьому рисунку крива 1 відповідає термопарі №1, крива 2 – термопарі №4, а крива 3 – термопарі №8. За часовий період до 1000 с температура в точці, де встановлено термопару №8, змінюється в періодичному режимі, який викликаний синхронною періодичністю подачі холодного палива з бункера в камеру згоряння. Температура в цій точці змінюється від 500° С до 800° С, а амплітуда коливання температури в цій точці досягає 300° С. Періодичність коливань – 60…90 с. Температури в точках котла, де встановлено термопари №2 та №4, повільно і майже монотонно зростають від 215° С (точка №4)…240°С (точка №1) до 280° С (точка №4)…304° С (точка №1).

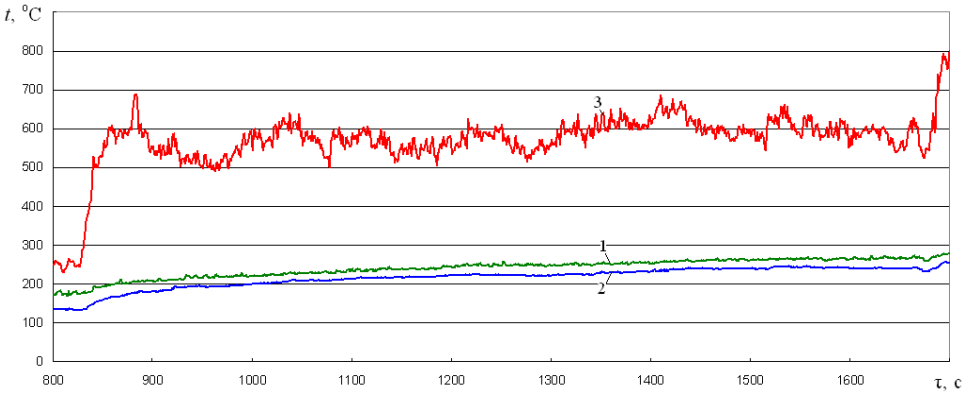

Рис. 5 – Зміна у часі температурного стану котла на стадії квазістаціонарного режиму горіння пелет з деревини при максимальній подачі палива з бункера: 1 – показання термопари №1; 2 – №6; 3 – №8

В момент часу 1015 с пальник переводиться на режим мінімальної подачі палива. Температура в точці №8, яка відповідає області, куди спрямовано факел полум'я з пальника, стрімко зменшується до 380° С. Температури в точках №1 та №4 також зменшуються до 250° С…280° С. Температура в точці №1 залишається на 20° С …30° С вище, ніж в точці №4. До моменту часу 2240 с температури в точках №1 та №4 знизилися до 206° С та 173° С відповідно.

В такому режимі пальник працював до моменту часу 2246 с. Потім режим подачі палива з бункера знову було переведено на максимум, що викликало зростання температури факела до 655° С (точка №8). В точках №1 та №4 температура підвищилася до 267° С та до 241° С відповідно. Надалі температура в точці №8 коливалася в межах 500° С …655° С.

В момент часу 2572 с було в автоматичному режимі припинено подачу палива з бункера. В цей момент прохід в бункері, через який паливо з бункера потрапляє в камеру згоряння, повністю перекривається заслінкою. Бункер таким чином повністю від'єднується від камери згоряння. Припиняється подача холодного палива, і в камері згоряння на деякий незначний час суттєво інтенсифікується процес горіння. В момент часу 2594 с температура в цій точці досягає максимального значення 788° С, після чого починає швидко знижуватися. До 2647 с температура в цій точці зменшується до 303° С (за 53 секунди). Далі зниження температури стає менш інтенсивним.

Дослідження хімічного складу димових газів. Аналіз хімічного складу димових газів в котлі при роботі пелетного пальника проводиться під час другої серії досліджень процесу спалювання пелет з деревини. Для проведення аналізу складу димових газів, в тракті їх видалення, що виходить з котла, передбачено спеціальний отвір, в який вводиться датчик газоаналізатора. Отвір знаходиться на висоті 0,5 м відносно вхідного перерізу димовивідного тракту.

Залежність від часу температури димових газів в тракті їх видалення на ділянці, де проводиться вимірювання, наведено на рис. 6 (крива 1). На цьому ж рисунку для порівняння наведено також залежність температури, що вимірюється в точці 1 котла ХА термопарою.

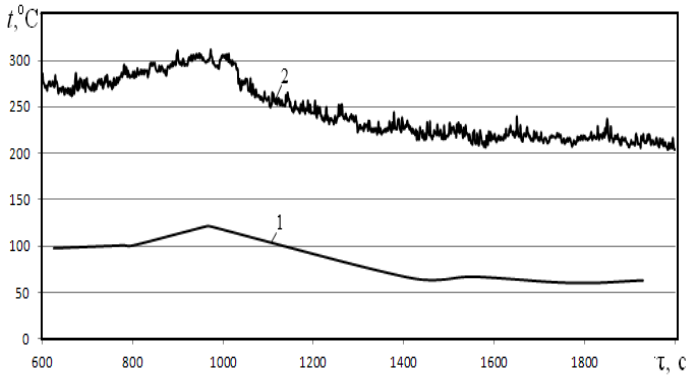

Рис. 6 – Зміна у часі температури димових газів у отворі для газоаналізатора (1) та в точці №2

Як видно з рисунка, температура димових газів у області отвору для газоаналізатора синхронно змінюється з температурою в точці №1 котла. Температура на цій ділянці тракту для видалення димових газів на 150…170° С нижча, ніж в точці №1 котла, і змінюється у межах 60° С …121° С. Їх охолодження відносно температури в точці №1 відбувається внаслідок тепловіддачі від димових газів до теплообмінника для тракту системи опалення, що встановлений в котлі, а також внаслідок тепловтрат у простір приміщення.

Зміну у часі концентрації кисню у димових газах у точці її виміру наведено на рис. 7. Як видно з цього рисунка, концентрація кисню перед початком розпалювання пелет становила 21%, тобто відповідала вмісту в довкіллі. В процесі спалювання концентрація кисню спочатку знижується до 16%, а потім до 15%. Мінімального значення концентрація кисню набуває в момент часу 971 с, коли температура в точці виміру досягає максимального значення 121° С. Надалі концентрація кисню збільшується до 18…18,5%, що свідчить про зниження інтенсивності процесу горіння. Температура газів в точці вимірювання зменшується при цьому до 60…65° С.

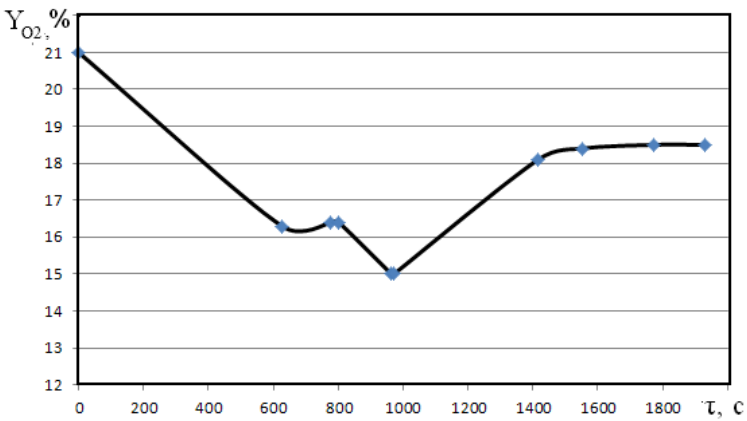

Рис. 7 – Зміна у часі концентрації кисню у димових газах

Зміну у часі концентрації вуглекислого газу CO_2 наведено на рис. 8. Як видно з рис. 8, до моменту часу 800 с концентрація CO_2 змінювалася у межах

4,5…4,6%. При цьому температура димових газів в точці вимірювання складала 90…100° С. Пелетний пальник працює в цей період у режимі максимальної подачі палива. Коли ж температура димових газів в момент часу 971 с досягла максимального значення 121° С, концентрація CO_2 зросла до 5,8%, що є наслідком зростання інтенсивності згоряння палива. Надалі ж концентрація CO_2 зменшується до 2,4…2.8%. Температура димових газів при цьому знижується до 60…65°С. Це свідчить про менш інтенсивне згоряння палива. У цей період пелетний пальник працює у режимі мінімальної подачі палива.

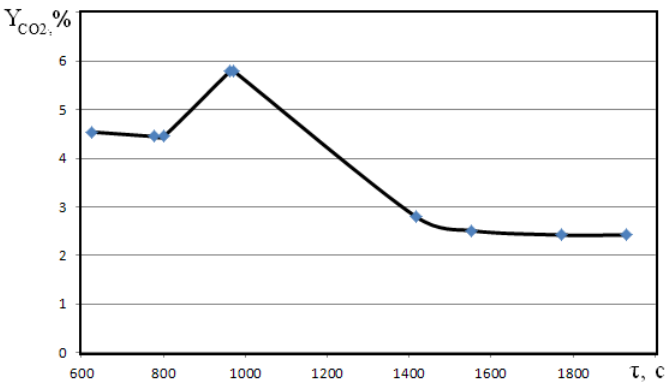

Рис. 8 – Зміна у часі концентрації вуглекислого газу у димових газах

В процесі спалювання пелетів утворюється не лише вуглекислий газ, але на проміжних етапах й монооксис вуглецю СО. Він виділяється при піролізі біомаси і є основною горючою речовиною. При його реакції з киснем утворюється вуглекислий газ та водяна пара. Його горіння відбувається інтенсивніше при підвищенні температури в камері згоряння. Таким чином, догоряння СО до CO_2 відбувається інтенсивніше при підвищенні температури. Зі зменшенням температури догоряння СО уповільнюється.

Важливим показником роботи пальника є концентрація окислів азоту в димових газах. Зміна у часі концентрації цих речовин в димових газах відображена на рис. 9.

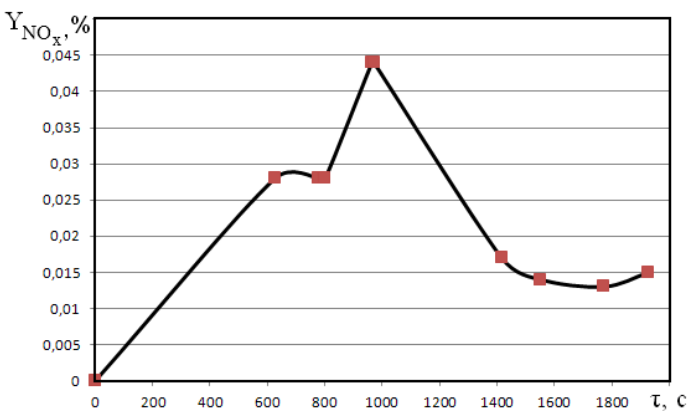

Рис. 9 – Зміна у часі концентрації окислів азоту NO_x

Як видно з рис. 9, від початку процесу горіння пелет в пальнику до моменту часу 800 с концентрація NO_x в димових газах підвищується від 0 до 0,028%. Після підвищення температури в пальнику та відповідного підвищення температури димових газів до максимального значення, яке відбувається в момент часу 971 с, підвищується також і концентрація NO_x в димових газах до 0,044%. Далі, коли пальник працює в режимі мінімальної подачі палива, температура димових газів зменшується. При цьому також зменшується і концентрація NO_x до 0,013%....0,017%.

Як випливає з наведених результатів, концентрації компонентів димових газів суттєво залежать від їх температури, яка, в свою чергу, залежить від інтенсивності процесу горіння в пальнику. Зі збільшенням температури димових газів концентрація кисню в них зменшується. Залежність цієї концентрації від температури практично лінійна. Водночас, при збільшенні температури димових газів практично за лінійним законом збільшуються концентрації двоокису вуглецю та окислів азоту. Це пояснюється інтенсифікацією процесу згоряння палива при збільшенні температури в пальнику. При цьому відповідно збільшується і температура димових газів.

Висновки та рекомендації

Успішна технічна реалізація процесу спалювання пелет пов'язана з вибором раціональних технічних рішень та режимних параметрів роботи відповідного обладнання, тому як висновок запропоновано наступні заходи з вдосконалення конструкційних характеристик пелетного пальника для можливості його використання в котлах малої потужності (до 30…50 кВт):

1. В пелетному пальнику «Пелетрон-15» застосовується гравітаційний спосіб подачі палива з бункера до камери згоряння. Цей спосіб передбачає вільне висипання пелет з бункера під дією своєї ваги. Недолік цього способу пов'язаний з можливою нерівномірністю витрати пелет, що надходять в камеру згоряння. Із-за цієї нерівномірності процес горіння може призупинитися через його нестачу в камері згоряння, або через надлишок, що може закрити зону горіння та знизити її температуру. Для запобігання цим недолікам доцільним є застосування механічної регульованої подачі палива за допомогою шнека.

2. В базовому варіанті пелетного пальника повітря, що необхідне для підтримання процесу згоряння палива, подається в камеру згоряння через отвір в дверцятах камери. Внаслідок можливого захаращення продуктами неповного згоряння пелетного палива повітряних протоків, виникає ситуація нестачі повітря для підтримання процесу горіння, або надлишок холодного зовнішнього повітря, що охолоджує камеру згоряння. В таких випадках процес горіння буде нестійким та нестабільним. Тому рекомендується регулювати витрати повітря відповідно до режиму горіння пелет в пальнику. Запобігання цим ситуаціям можливе шляхом застосування додаткової механічної вимушеної подачі повітря в зону горіння за допомогою вентилятора. Його робота та витрати повітря повинні регулюватися відповідно до встановленого режиму горіння, а також відповідно до витрат палива, що подається з бункера в камеру згоряння.

3. Доцільно передбачити також можливість попереднього підігріву повітря, що надходить до камери. Для цього необхідно в конструкції пальника передбачити рекуперативний теплообмінний пристрій, у якому здійснюється підігрів повітря, що надходить з вентилятора, димовими газами.

4. У базовому варіанті пальника, що призначений для спалювання низькозольного пелетного палива з деревини стандарту А, забезпечується рівень температури, що є достатнім для підтримки процесу горіння. Корпус цього пальника – металевий. У випадку ж спалювання пелет невисокої якості, необхідно передбачити заходи з підтримання належного температурного рівня в камері згоряння пальника. З цією метою необхідно провести теплоізоляцію камери згоряння. Можна, наприклад, виготовити її з керамічного матеріалу або нанести на зовнішню поверхню металевого корпусу камери згоряння шар теплоізоляційного матеріалу. Ці заходи дозволять підвищити температуру в камері згоряння та покращити ефективність процесу спалювання пелет.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник за ред. Г. Гелетуха. К: 2015. 72 с.
2. Інформаційний ресурс «Біоенергетична асоціація України». Режим доступу: https://uabio.org/
3. Г. Гелетуха, Є. Олійник, В. Антоненко, С. Чаплигін, В. Зубенко, С. Радченко. Проведення комплексного дослідження ринку котлів, що працюють на біомасі в Україні. 2016. 212 с.
4. Басок Б. І., Давиденко Б.В., Кужель Л.М., Лисенко О.М., Веремійчук Г.М., Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі. Журнал «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання», том 37, 2021, С. 13–23.
5. B. Basok, A. Veremiichuk, O. Baranyuk, O. Siruy, Simulation of biopellet combustion process in low power boilers. «Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering», Department of Construction Networks and Systems, Koszalin University of Technology, 2021, p. 141.
6. Г. Гелетуха, В. Крамар, О. Епік, Т. Антощук, В. Тітков. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. К.: ТОВ «Науково-технічний центр “Біомаса”». 2016, 334 с.
7. Ю.В. Дзядикевич, Р.І. Розум, М.В. Буряк. Управління енергозабезпеченням шляхом використання вторинних енергоресурсів. «Інноваційна економіка», 2010, С. 44–50.
8. M.W. Vis, D. van den Berg. Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments. Volume I. Best Practices and Methods Handbook. November, 2010. p. 220.
9. Інтернет-ресурс: https://pelletron.ru/
10. Інтернет-ресурс: https://bio.ukr.bio/
11. Звіт про НДР «Розробка та дослідження пальникового пристрою ретортного типу для спалювання біомаси в котлах малої та середньої потужності (100-1000 кВт)» за етапом «Аналіз вихідної інформації та розробка технічної пропозиції експериментального пальникового пристрою ретортного типу для котлів потужністю 100-1000 кВт» / Інститут технічної теплофізики НАН України. Київ, 2010. 92 с. (Державний обліковий № 0210U004469).
12. Звіт про НДР «Розробка та дослідження пальникового пристрою ретортного типу для спалювання біомаси в котлах малої та середньої потужності (100-1000 кВт)» за етапом «Конструювання та виготовлення експериментального зразка пальникового пристрою ретортного типу» / Інститут технічної теплофізики НАН України. Київ, 2011. 38 с. (Державний обліковий № 0210U009825).

Стаття надійшла до редакції 15.07.2021 і прийнята до друку після рецензування 27.10.2021

REFERENCES

1. Geletukha, G. (Ed.). (2015). Preparation and implementation of projects to replace natural gas with biomass in the production of thermal energy in Ukraine. A Practical Guide. Kyiv (in Ukrainian).
2. Information resource "Bioenergy Association of Ukraine". Retrieved from: https://uabio.org/
3. Geletuha, G., Oliynik, E., Antonenko, V., Chapligin, S., & Zubenko, S. (2016). Carrying out of complex research of the market of the boilers working on biomass in Ukraine. In: Industrial heat engineering, (pp. 212-221) (in Ukrainian).
4. Basok, B., Davydenko, B., Kugel, L., Lysenko, A., & Veremichuk, H. (2021). Experimental studies of burning plant pellets in a domestic boiler. *Journal «Ventilation, Lighting and Heat and Gas Supply»*, 37, 13-23 (in Ukrainian).
5. Basok, B., Veremiichuk, A., Baranyuk, O., & Siruy, O. (2021). Simulation of biopellet combustion process in low power boilers. In «*Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering»* (p. 141). Koszalin University of Technology, Department of Construction Networks and Systems.
6. Geletukha, G., Kramar, V., Epik, O., Antoshchuk, T., & Titkov, V. (2016). Comprehensive analysis of the Ukrainian market of biomass pellets. Kyiv: LLC «Scientific and Technical Center "Biomass"» (in Ukrainian).
7. Dzyadykevich, Y., Rozum, R., & Buryak, M. (2010). Management of energy supply through the use of secondary energy resources. In “Innovative economy”, (pp. 44-50) (in Ukrainian).
8. Vis, M. W., & Van den Berg, D. (2010). Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments. Best Practices and Methods Handbook (Vol. 1).
9. Internet resource: https://pelletron.ru/
10. Internet resource: https://bio.ukr.bio/
11. Report "Development and research of a retort-type burner for biomass combustion in small and medium power boilers (100-1000 kW)". (2010). Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine.
12. Report "Development and research of a retort-type burner for biomass combustion in small and medium power boilers (100-1000 kW)" "Design and manufacture of an experimental sample of a retort-type burner device". (2011). Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine.

The article was received 15.07.2021 and was accepted after revision 27.10.2021

Басок Борис Іванович
доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, зав. відділу Інституту технічної теплофізики НАН України
Адреса робоча: Україна, 03680 м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
ORCID: 0000-0002-8935-4248 ***e-mail*:** basok@ittf.kiev.ua

Гончарук Світлана Михайлівна
кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України
Адреса робоча: Україна, 03680 м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
ORCID: 0000-0002-5609-7337 ***e-mail*:** goncharuk-s@ukr.net

Приємченко Віктор Петрович
головний інженер Інституту технічної теплофізики НАН України
Адреса робоча: Україна, 03680 м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
ORCID: 0000-0003-4785-4815 ***e-mail*:** priemchenko@ukr.net

Лисенко Оксана Миколаївна
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України
Адреса робоча: Україна, 03680 м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
ORCID: 0000-0003-3981-9796 ***e-mail*:** lisenko_oks@ukr.net

Веремійчук Ганна Миколаївна
аспірантка, молодший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України
Адреса робоча: Україна, 03680 м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
ORCID: 0000-0003-1893-3637 ***e-mail*:** averemiichuk@gmail.com