

**О.Ю. Майстренко¹, Н.І. Дунаєвська¹,
Я.І. Засядько¹, Д.Л. Бондзик¹, Т.С. Щудло¹, В.Г. Вифатнюк²**

¹ Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України, Київ

² Спеціальне проектно-конструкторське та технологічне бюро «Енергомашпроект», Київ

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПАЛЬНИК ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ БІОМАСИ ЯК ДОПОМІЖНОГО ПАЛИВА В ФАКЕЛЬНИХ КОТЛОАГРЕГАТАХ



Виконано інноваційний проект з розробки технології та пальникового пристрою для спалювання твердої біомаси в комунальних котлоагрегатах типу ДКВР-2,5, що використовують природний газ, з метою заміщення імпортованого палива відходами деревообробної промисловості. Розроблено дві схеми пальника для котла ДКВР-2,5 на відходах деревообробної промисловості. Розроблено технічні завдання та робочі проекти. Виготовлено муфельний пальниковий пристрій за однією із запропонованих схем.

Ключові слова: відходи деревообробної промисловості, спалювання, пальник, передтопок, заміщення природного газу.

Протягом останніх років у Інституті вугільних енерготехнологій (ІВЕ) НАН України проводилися наукові дослідження процесів спільного спалювання палив різного ступеню метаморфізму з метою диверсифікації джерел енергоресурсів, зменшення витрат на виробництво теплової та електричної енергії за рахунок заміщення дорогих видів палива менш дорогими, а також для досягнення оптимального синергічного поєднання характеристик спалюваних видів палива, що забезпечить найвищі показники ефективності як самого процесу спалювання, так і його екологічності [1, 2]. У рамках конкурсних програм НАН України «Біопаливо» та «Енергозбереження» [3] досліджувалися процеси спільного спалювання твердої біомаси з природним газом та вітчизняним вугіллям. Ці дослідження дали можли-

вість Інституту виконати інноваційний проект «Технологія та пальник для спалювання біомаси як допоміжного палива в факельних котлоагрегатах», в рамках якого та за його результатами виготовити експериментальний зразок пальника.

Дана проблема набула значної актуальності в світі [4, 5], *по-перше*, через наявні тенденції у промислово розвинених країнах суттєво диверсифікувати доступні джерела енергоресурсів за рахунок залучення у енергетичні баланси відновлювальних видів палива, *по-друге*, внаслідок суттєвих зусиль, спрямованих на оздоровлення навколишнього середовища шляхом зменшення викидів шкідливих речовин, які надходять від теплогенеруючих установок, насамперед викидів двоокису вуглецю.

На сьогодні актуальною стала необхідність зниження частки природного газу в енергобалансі України з 45 % до середніх по Європі 20 %. Існує практика різних тарифів на поставки газу для промислових підприємств, бюджет-

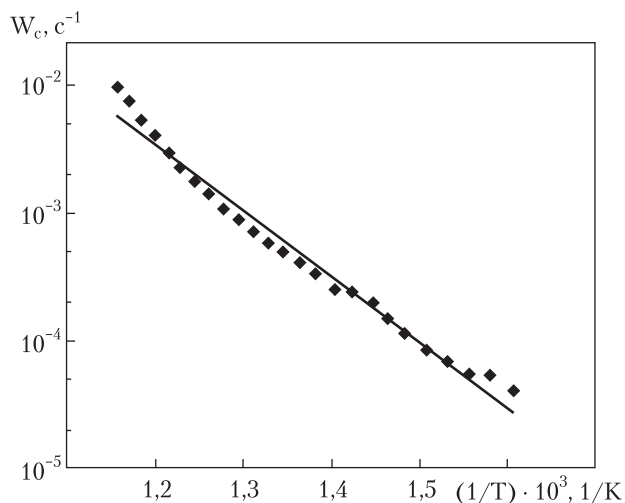


Рис. 1. Залежність питомої швидкості вигорання вуглецю коксу деревини від зворотної температури ($T = 339\text{--}629\text{ }^\circ\text{C}$, $d = 0,4\text{--}0,63\text{ мм}$)

них установ та комунальної енергетики. Так, Національна комісія регулювання енергетики 29.09.2011 р. встановила ціну природного газу для промислових підприємств – 3300 грн/1000 м³, а для ЖКХ – 1300 грн/1000 м³. За таких умов заміщення природного газу в житлово-комунальному господарстві на тверде паливо (в тому числі і біомасу) є економічно доцільним при перевищенні вартості природного газу 1600 грн/1000 м³. В найближчому майбутньому ціна газу буде суттєво підвищена і за таких умов частина комунальних котельних буде змушена перейти на інші види палива, в тому числі відходи виробництва навколишніх деревообробних підприємств. Саме завдання заміни природного газу в котлі ДКВР 2,5 на відходи деревообробного виробництва і було метою виконання інноваційного проекту.

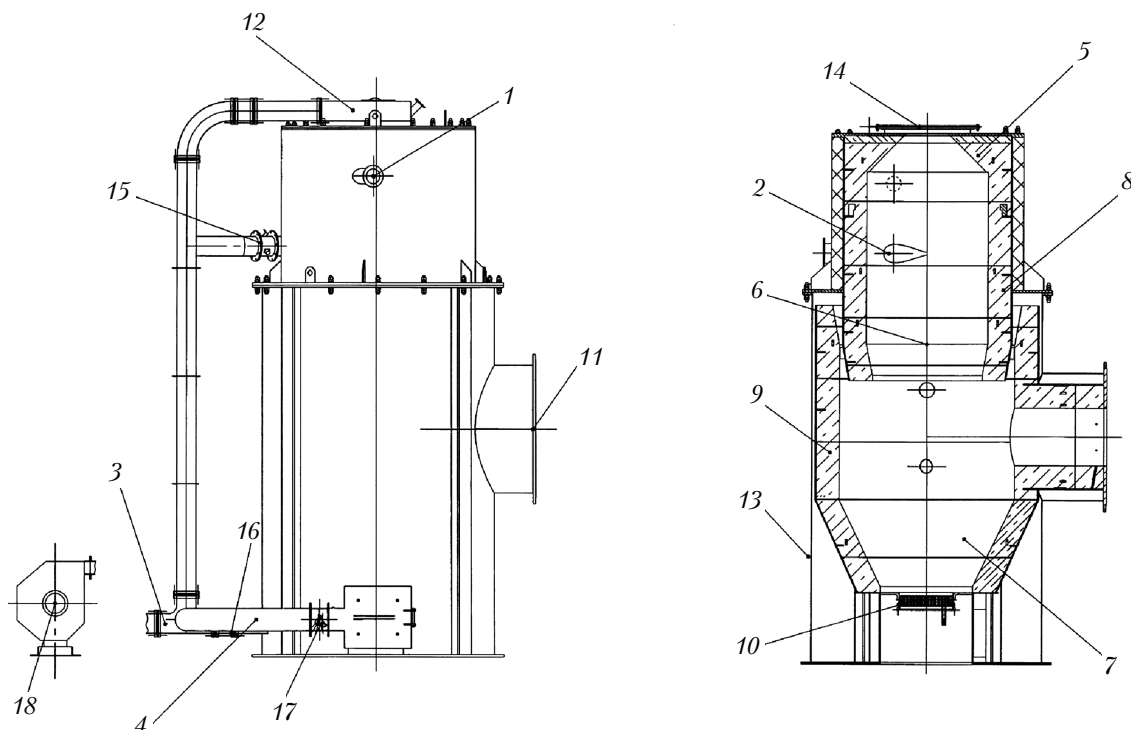


Рис. 2. Варіант циклонного пальника в вертикальному виконанні: 1 – подача палива; 2 – первинне повітря; 3 – вторинне повітря; 4 – третинне повітря; 5 – амбразура газового пальника; 6 – первинна топкова камера; 7 – вторинна топкова камера; 8 – футерівка першої топкової камери; 9 – футерівка другої топкової камери; 10 – колосникова ґратка; 11 – вихід димових газів; 12 – газовий пальник; 13 – зовнішня обичайка; 14 – заслінка; 15 – клапан первинного повітря; 16 – клапан вторинного повітря; 17 – клапан третинного повітря; 18 – вентилятор ВР-154-21-5

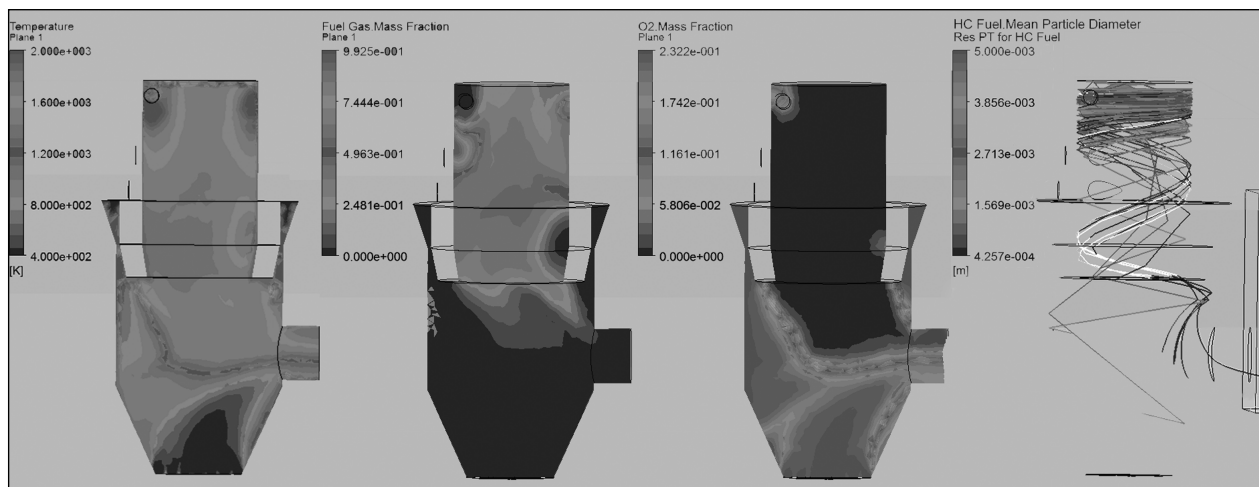


Рис. 3. Результати розрахунку тривимірної моделі вертикального передтопку: *a* – поля температур, К; *б* – поля концентрацій летких, частка за масою; *в* – поля концентрації кисню, частка за масою; *г* – траєкторії руху частинок різного розміру, м

В ІВБ НАНУ на пілотному стенді нами було проведено низку досліджень процесів спільного спалювання різних видів біомаси як окремо, так і разом з природним газом та з вітчизняним низькорекційним високозольним (до 28 %) вугіллям [2]. Ми мали на меті визначити інтегральні показники процесу при заміні частки традиційних викопних палив еквівалентною за теплом кількістю біомаси, розподіл температури у реакторі, положення факела та його міграцію по довжині каналу при додаванні біомаси і т. ін. Найбільш критичним параметром, який визначав принципову можливість та доцільність впровадження зазначеної технології, є ступінь конверсії вуглецю біомаси за умови спільного спалювання різнорідних палив. Було проведено також низку експериментів для визначення можливості спалювання біомаси разом з природним газом з метою зменшення його витрати за рахунок теплоти спалюваної біомаси. Отримані результати показали, що таку технологію можна застосовувати у промислових масштабах, і її впровадження дозволить заощадити значні обсяги імпортованого палива. При цьому суттєво зменшаться викиди двоокису вуглецю, оскільки біомаса вважається CO_2 -нейтральною.

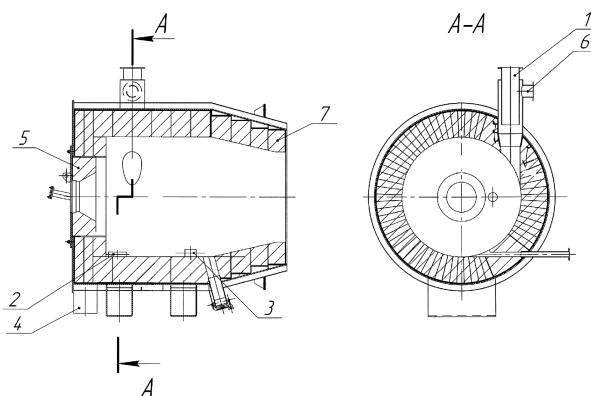


Рис. 4. Варіант циклонного паливника у горизонтальному виконанні: 1 – внесення палива; 2 – первинне повітря (перша зона); 3 – первинне повітря (друга зона); 4 – вторинне повітря; 5 – амбразура газового паливника; 6 – подача газів рециркуляції; 7 – футерівка паливни

Незважаючи на те, що при спалюванні деревини вихід летких речовин складає 80–85 %, час вигорання коксового залишку все одно є найбільш визначальним для розрахунку котельного агрегату [6]. Тому для з'ясування особливостей вигорання деревного коксу було проведено кінетичні дослідження на установці РСК-1 Інституту вугільних енерготехнологій, що являє собою вертикальний імпульсний безградієнтний реактор киплячого шару атмосферного типу.

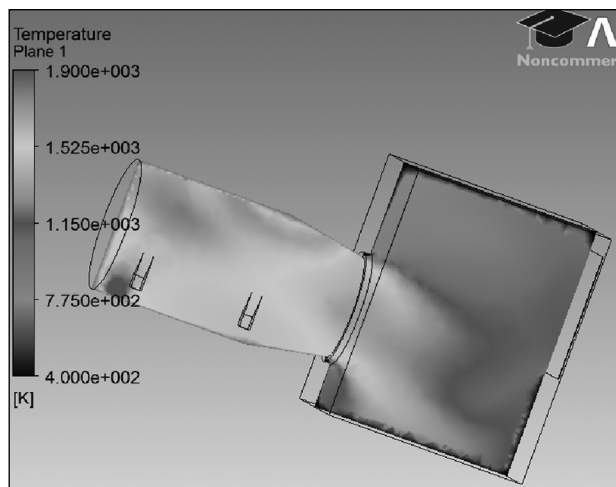


Рис. 5. Розподіл температур у горизонтальному передтопку



Рис. 6. Зовнішній вигляд горизонтального пальника для спалювання відходів деревини як резервного палива в топці котла ДКВР 2,5

Результати визначення залежності питомої швидкості вигорання вуглецю деревного коксу (розмір часточок – 0,4–0,63 мм) від зворотної температури (діапазон температур при дослідженні – 339–639 °С), що були отримані за наведеною вище методикою, показано на рис. 1 в напівлогарифмічних координатах. Лінійність експериментальних точок на графіку свідчить

про внутрішньо-кінетичний режим горіння дослідного зразка.

За результатами аналізу вищенаведеної лінійної залежності була отримана швидкість реакції $K_{01} = 4,4 \cdot 10^{-3} [1/c] / [кг/м^3]$ та енергія активації $E = 97,8$ кДж/моль. Отримані значення кінетичних констант горіння деревного коксу породи сосна були використані як вхідні дані для проектування передтопка шляхом комп'ютерного моделювання в програмах CFD.

Разом з дослідженнями інтегральних показників процесу спільного спалювання на пілотному стенді накопичено значний досвід з моделювання процесів за допомогою сучасного програмного забезпечення з CFD методів FLUENT та ANSYS CFX [1]. Застосування цих програмних продуктів дало можливість дослідити всі параметри процесу на дискретно-локальному рівні та отримати інтегральні характеристики. Визначалися розподіл концентрацій компонентів, поля швидкостей та температур, розподіл ліній току компонентів для визначення оптимальної тривалості перебування частинок палива у реакторі для досягнення максимального ступеню конверсії.

Було прораховано два варіанти конструкції передтопка та створено комплекти робочої документації для виготовлення обох. На рис. 2 наведено схему одного з пальників для котла ДКВР 2,5 у вертикальному виконанні.

Пальник являє собою двоступеневий муфельний передтопок з повним згоранням подрібнених відходів деревини. На рис. 3, а–г наведено розрахунки полів температур, концентрацій летких і кисню та траєкторій руху частинок різного розміру в запропонованому передтопку.

Аналіз руху твердих частинок у сукупній моделі *передтопок–топкова зона* свідчить, що частинки більших розмірів мають тенденцію до випадання на колосникові ґратки, натомість менші частинки виносяться в котел. Переваги даної конструкції – широкий діапазон допустимого вмісту вологи в паливі, надійне запалювання біомаси, можливість використання передтопка для широкої гами палив, а також мож-

ливість працювати як на природному газі, так і на твердій біомасі як резервному паливі.

Щодо другого пальника спрощеної конструкції (рис. 4), то він також може працювати як на газі, так і на відходах деревини, має меншу вартість, але має і дещо звужений діапазон параметрів використовуваного палива та потребує переробки поду топки на тверде шлаковидалення.

Передтопок являє собою горизонтальний муфель, у якому реалізується попередня підготовка біомаси до спалювання, а саме: сушіння, вихід та займання легких, прогрівання та займання частинок коксового залишку зі скиданням у котел продуктів неповного згорання.

«Розтягування» зони горіння легких (рис. 5) приводить до більш рівномірного поля температур. Даній обставині сприяє саме «повільне горіння» легких при дефіциті окислювача у муфелі, причому зона високих концентрацій легких поширюється і в топковий простір, що обумовлює горіння легких у топці. Пальник був виготовлений в металі і має такі вихідні дані для проектування:

- ✦ *склад палива* (деревинні відходи): $W^p = 40,2\%$, $A^p = 0,6\%$, $S^p = 0$, $C^p = 30,3\%$, $H^p = 3,6\%$, $N^p = 0,2\%$, $O^p = 25,1\%$; нижча теплота згорання палива: $Q_{н}^p = 9378$ кДж/кг;
- ✦ *витратні характеристики*: паливо при роботі з передтопком на котлі ДКВР – 2,5–13 – $V^p = 810$ кг/год, повітря – $V = 3,7 \cdot 10^3$ м³/год;
- ✦ *режимні характеристики*: продуктивність по теплу – $7,6 \cdot 10^6$ кДж/год, продуктивність по пару – 2,5 т/год, коефіцієнт надлишку повітря в камері допалювання – 1,3.

На рис.6 наведено зовнішній вигляд горизонтального пальника для спалювання відходів деревини як резервного палива в топці котла ДКВР 2,5.

ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання проекту та на підставі аналізу стану перспективної паливної бази (відходи промислової переробки деревини в Україні, світовий та український досвід щодо

енергетичного використання цієї сировини, визначення можливих об'єктів впровадження) з урахуванням проведених в ІВЕ досліджень спільного спалювання природного газу та тирси на пілотних стендах, знайдених кінетичних характеристик догорання коксового залишку тирси соснових порід розроблено дві схеми передтопка та пальника для котла ДКВР-2,5 на відходах деревообробної промисловості (в перспективі – з використанням гідролізного лігніну як палива).

2. Схеми були обраховані з метою оптимізації та визначення конструктивних розмірів, оптимальних витратних та технологічних характеристик пальника та передтопка за допомогою програм академічного варіанта ANSYS CFX.

3. Разом з ТОВ «Енергомашпроект» розроблено технічні завдання та робочі проекти муфельного передтопка і муфельного пальникового пристрою для спалювання відходів переробки деревини. Розроблена схема та підібране обладнання для паливного господарства котельної.

4. ПАТ «Енергетичне та нафтове обладнання» виготовило муфельний пальниковий пристрій для спалювання біомаси в топці факельного котлоагрегату. Планується впровадження муфельного пальника на котлоагрегаті ДКВР 2,5 в 2011 році.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корчевой Ю.П., Засядько Я.І., Щудло Т.С., Дунаєвська Н.І. Моделирование та експериментальні дослідження спільного спалювання біомаси та вугілля // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 1. – С. 9–15.
2. Засядько Я.І., Щудло Т.С., Бесценный И.В. и др. Экспериментальное исследование процесса совместного факельного сжигания антрацита с древесной биомассой // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 3. – С. 10–17.
3. Звіт про виконання НДР «Спільне спалювання біомаси та вугілля українських покладів в існуючих пилувугільних котлоагрегатах» № ДР 0106U009371 // Інститут вугільних енерготехнологій НАН України. – Київ, 2008. – 140 с.
4. Bain R.L., Amos W.A., Downing M., Perlack R.L. Biopower Technical Assessment: State of the Industry and Technology National Renewable Energy Laboratory // NREL

is a U.S. Department of Energy Laboratory Operated by Midwest Research Institute • Battelle. — Bechtel Contract No. DE-AC36-99-GO10337. — 2004. — 36 p.

5. Рябов Г.А., Литви Д.С., Нестеров Е.С. Совместное сжигание биомассы и ископаемых топлив как способ на более эффективного вовлечения биомассы в энергетический баланс // Энергетика за рубежом. — 2011. — № 4. — С. 3—15.
6. Буляндра А.Ф., Майстренко И.А. Особенности взаимодействия коксов александрийских бурых углей с кислородом воздуха // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 3. — С. 3—8.

*А.Ю. Майстренко, Н.И. Дунаевская,
Я.И. Засядько, Д.Л. Бондзик, Т.С. Щудло,
В.Г. Вифатнюк*

ТЕХНОЛОГИЯ И ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ КАК ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ФАКЕЛЬНЫХ КОТЛОАГРЕГАТАХ

Выполнен инновационный проект по вопросу разработки технологии и горелочного устройства для сжигания твердой биомассы в коммунальных котлоагрегатах типа ДКВР-2,5, которые используют природный газ, с целью замещения импортируемого топлива местными отходами деревообрабатывающей промышленности. Разработано две схемы горелки для котла ДКВР-2,5 на от-

ходах деревообрабатывающей промышленности. Разработаны технические задания и рабочие проекты. Изготовлено муфельное горелочное устройство по одной из предложенных схем.

Ключевые слова: отходы деревообрабатывающей промышленности, сжигание, горелка, предтопок, замещение природного газа.

*A. Maystrenko, N. Dunaevskaya,
Y. Zasyad'ko, D. Bondzik, T. Shchudlo, V. Vifatnyuk*

THE TECHNOLOGY AND THE BURNER FOR BIOMASS BACKUP FUEL COMBUSTION IN PULVERIZED-FUEL BOILERS

With the purpose of import fuel substituting by local woodworking industry wastes an innovative project on development of the technology and burner for realization of solid biomass combustion in DKVR-2,5 communal boilers, which use natural gas, was carried out. For the DKVR -2,5 boiler working with woodworking industry wastes two charts of burner were developed. Requirement specifications and detail designs were worked out. The muffle burner using one of the offered charts was produced.

Key words: woodworking industry wastes, combustion, burner, primary furnace, natural gas substituting.

Стаття надійшла до редакції 26.10.11