

УДК 620.9:662.6

Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі

Б. І. Басок¹, Б. В. Давиденко², Л. М. Кужель³, О. М. Лисенко⁴, Г. М. Веремійчук⁵

¹д.т.н., проф., член-кор., зав. відділу НАН України, Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, basok@itf.kiev.ua, ORCID:0000-0002-8935-4248

²д.т.н., ст. наук. співробітник, гол. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, bdavydenko@ukr.net, ORCID:0000-0001-8738-7612

³к.т.н., ст. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, kuzhel_liliya@ukr.net, ORCID:0000-0002-5481-4566

⁴к.т.н., ст. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, lisenko_oks@ukr.net, ORCID:0000-0003-3981-9796

⁵асп., мол. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, averemiichuk@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1893-3637

Анотація. За останні роки в Україні все частіше почали використовувати біопаливо. Україна – агропромислова країна, що має великий потенціал для виготовлення та застосування пелет рослинного походження. Наша держава займає шосте місце у світі за виготовленням такого виду біопалива. Проте більша їхня частина (близько 85 %) експортується за кордон. Це пов'язано з низьким попитом на внутрішньому ринку. Солома зернових культур може застосовуватись у комунальній енергетиці. Кількість соломи, що залишається після збирання врожаю, є достатньою для її використання як палива. Таке біопаливо за своїм складом і теплотворною здатністю наближається до таких традиційних видів як деревина та торф. Основним завданням даної роботи є експериментальні дослідження спалювання різних видів агропелет. Досліджено особливості спалювання пелет аграрного походження, а саме солом'яних (ячмінь, пшениця) та гранул з качанів кукурудзи. На основі побудованих графічних залежностей було визначено характерні особливості температурних режимів роботи побутового котла при спалюванні агропелет. Використання результатів можливе в комунальній та промисловій теплоенергетиці, соціально-бюджетній сфері та індивідуально-побутовому секторі.

Ключові слова: пелети, біопаливо, теплопостачання, пальник, відновлювані джерела енергії, спалювання агропелет, біоресурсний потенціал.

Вступ. В Енергетичній Стратегії України на період до 2035 року одним з ключових завдань є подальший розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Очікується досягнення радикального прогресу у сфері ВДЕ через збільшення їхньої частки в кінцевому споживанні до 11 % (8 % від загального первинного постачання енергії) за рахунок проведення стабільної та прогнозованої політики у сфері стимулювання розвитку ВДЕ та у сфері залучення інвестицій.

Одним з головних напрямів підвищення енергоефективності економіки України має стати скорочення витрат енергії у системах транспортування та розподілу електричної й теплової енергії шляхом технічної, технологічної модернізації та концептуального перегляду схем енергозабезпечення. При цьому має бути враховано досягнення у сфері децентралізованого енергопостачання, зокрема за рахунок використання ВДЕ та управління енергоспоживанням [1].

На кінець 2019 року потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики в Україні становила майже 7000 МВт, серед яких 5000 МВт припадає на сонячні електростанції і лише близько 200 МВт – на біоенергетичні

установки. На відміну від сонячних і вітрових електростанцій, установки на біомасі та біогазі виробляють прогнозований обсяг електроенергії. Адже їхня робота не залежить від часу доби й погоди. Це не загрожує стабільній роботі енергосистеми.

Для роботи біоенергетичних електростанцій, зазвичай, необхідне стабільне постачання сировини. Сировиною для біоенергетики у більшості випадків виступають відходи інших виробництв. Прикладами є лушпиння соняшнику, відходи життєдіяльності тварин і птиці, органічні побутові відходи, а також стебла пшениці, кукурудзи та інших рослин, деревина. Цієї сировини в Україні з її потужним аграрним потенціалом на сьогодні і в майбутньому достатньо при правильному підході [2] до ведення господарства.

Актуальність дослідження. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження близько 40 % аграрних відходів країни (близько 34 млн. т. соломи, відходів кукурудзи й соняшнику), використаних як паливо в біоенергетиці, дозволять замінити в еквіваленті до 10 мільярдів м³ газу на рік. Це відповідає об'єму природного газу, який наша

країна змушена щороку імпортувати [2].

Підгрунтям для розвитку біопалива є законодавча база в даній галузі. Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження запропоновано положення до законодавчої політики щодо підтримання вирощування енергетичних рослин [3].

На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні поки залишаються на досить низькому рівні. З іншого боку, вона не становить загрози для стабільності вітчизняної енергосистеми і виглядає логічним продовженням розвинутого аграрного комплексу країни.

Потужність теплових станцій в біоенергетиці на сьогодні становить понад 5000 МВт. Це дозволяє замінити на рік понад 4 млрд. м³ газу. Це є істотним показником, оскільки Україна щорічно споживає близько 30 млрд. м³ газу.

Парадоксально, але тепла енергія з біомаси не стимулюється державою у вигляді високого «зеленого» тарифу. Навпаки, теплота з біомаси продається на 10 % дешевше, ніж теплота з природного газу [2]. І це при тому, що спалювання біопалива не порушує баланс парникових газів у атмосфері, як і інші відновлювані джерела. Вивільнюється лише та кількість CO₂, яка була секвестрована рослинами в процесі зростання за один сезон.

Таким чином, актуальність досліджень щодо підвищення ефективності використання біопалива та стимулювання державних органів до підтримування даної галузі є надзвичайно актуальною задачею зміцнення енергетичної та екологічної безпеки й незалежності України.

Останні дослідження та публікації. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства, біоенергетика стане одним з найперспективніших джерел енергії [4]. Ця галузь енергетики пов'язана з виробництвом і використанням екологічно безпечної, соціально прийнятної та економічно конкурентоспроможної енергії.

За оцінками експертів найближчими роками Україна може збільшити виробництво зернових і олійних культур до 100 млн. т. на рік [5]. Таким чином, країна має стабільно високі обсяги виробництва основних сільськогосподарських культур з перспективою подальшого зростання, що є потужним джерелом різних видів відходів та побічної продукції [6].

Було проведено оцінювання, яке показало, що на сьогодні біомаса аграрного походження залишається основною складовою енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Це – солома зернових культур та ріпаку, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно і

соняшника, а також соняшникове лушпиння

За даними 2017 р., економічний потенціал цих видів біомаси, доступний для виробництва енергії, становить майже 9 млн. т. н. е., що відповідає 43 % загального потенціалу біомаси (20,9 млн. т. н. е.). Повне використання енергетичного потенціалу агробіомаси може забезпечити близько 18 % кінцевого споживання енергії в Україні, яке у 2017 році становило 50,1 млн. т. н. е. [7].

В Інституті землеробства Національної аграрної академії наук України було проведено дослідження з метою виявлення найпродуктивніших видів трав'яних енергетичних культур для плантаційного вирощування на осушуваних органогенних ґрунтах Лісостепу та Полісся [8]. У довіднику [9] наведено інформацію щодо класифікації та ботаніко-біологічних особливостей енергетичних культур і методики проведення досліджень.

Залежно від врожайності основних сільськогосподарських культур, що вирощуються в країні, їхні запаси коливаються в межах 27...37 млн. т. у. п. на рік. Це відповідає 13...18 % споживання первинних видів палива в Україні [10, 11].

Станом на 2017 рік економічно доцільний потенціал біомаси для виробництва енергії становив 20,9 млн. т. н. е. на рік при зафіксованій потребі 11 млн. т. н. е. на рік [6, 12]. Отже, потрібно використовувати можливий потенціал агропелет задля заміщення споживання природного газу в комунальній енергетиці, ціни на який будуть продовжувати зростати (табл.).

При спалюванні агропелет виникає проблема через низьку температуру плавлення отриманої золи. Внаслідок цього відбувається закупорювання (заплавлення, закоксовування) подових колосникових решіток традиційних котлів об'ємного спалювання в класичній топці. Крім того, проблеми спричиняє склування золи. Тому такі властивості рослинних пелет потребують використання пальників і котлів, призначених саме для зазначеного виду палива.

Існують різні конструктивні рішення пелетних пальників для спалювання пелет з аграрної сировини, кожне з яких має свої переваги та недоліки [14-16]. Тому розроблення і дослідження технологій та устаткування для спалювання біопалива аграрного походження є актуальною задачею та вимагає детальнішого вирішення поставленої проблеми.

Формулювання цілей статті. Основним завданням даної роботи є проведення експериментальних досліджень спалювання різних видів агропелет.

Енергетичний потенціал біомаси в Україні
(2015 та 2050 р.р.) [13]

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн.т.		Частка, доступна для енергетики, %		Потенціал, доступний для енергетики, млн.т.н.е.	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Солома зернових культур	35,14	52,7	30	30	3,65	5,48
Солома ріпаку	3,1	4,7	40	40	0,43	0,65
ПП виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	30,3	45,5	40	40	3,48	3,48
ПП виробництва соняшнику (стебла, к орзинки)	21,2	21,2	40	40	1,22	1,22
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшнику)	1,90	1,90	74	74	0,50	0,50
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,0	9,0	94	94	1,39	2,08
Деревна біомаса (сухостій, деревина з лісосмуг, обрізки)	8,8	8,8	41	41	1,03	1,03
Біодизель (з ріпаку)	-	-	-	-	0,19	0,19
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряку)	-	-	-	-	0,54	0,54
Біогаз із відходів та побічної продукції АПК	1,6*	11,2*	50	100	0,68	2,38
Біогаз із органічної частини твердих побутових відходів (ТПВ)	0,6*	5,8*	34	100	0,18	0,60
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0*	9,0*	23	100	0,19	0,39
Енергетичні культури:	-	-	-	-	-	-
– верба, тополя, міскантус (1,5 млн га у 2015 р., 3 млн га у 2050 р.)	17,25	51,8	90	90	6,58	19,74
– кукурудза на біогаз (0,5 млн га у 2015 р., 1 млн га у 2050 р.)	1,67*	6,68*	90	90	1,29	5,15
Всього	-	-	-	-	20,19	43,42

* - млрд м³ CH₄

Основна частина. Для спалювання пелет було розроблено та випробувано експериментальну установку (рис. 1) твердопаливного котла з пелетним пальником для опалення будинку пасивного типу Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (м. Київ, вул. Булаховського, 2) [17].

Вона працює наступним чином. З бункера завантаження 1, у якому знаходяться пелети, за допомогою шнека транспортування 2 біопаливо подається в пелетний пальник 3. В останньому

внутрішнім шнеком біопаливо транспортується до камери спалювання. У результаті цього на виході з камери виходить стійкий потужний факел полум'я в твердопаливному котлі 5.

Для інтенсифікації процесу розпалу та горіння, а також для гасіння, використовується вентилятор 4. Блок керування 6 призначений для автоматичної та безпечної роботи котла. Усі дані, отримані під час експерименту, фіксуються за допомогою вимірювальної установки.

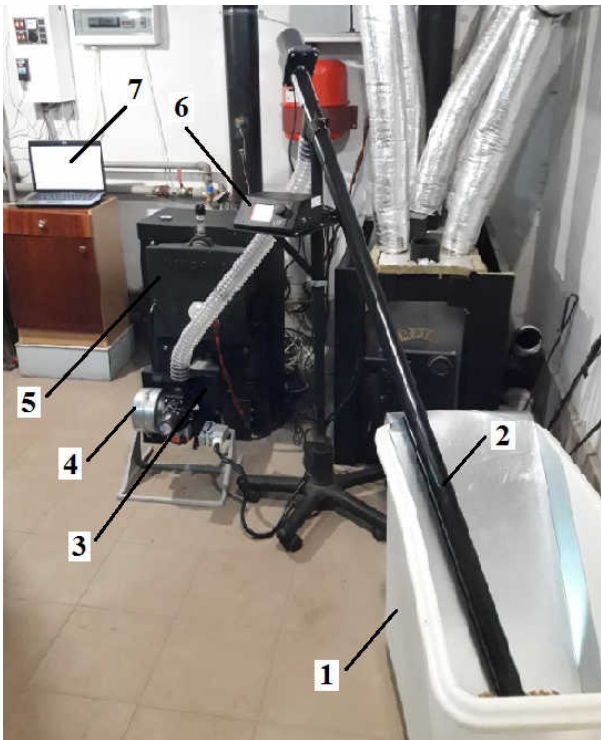


Рис. 1. Експериментальна установка для спалювання рослинних пелет:

1 – бункер завантаження; 2 – зовнішній шнек транспортування біопалива; 3 – пелетний пальник; 4 – вентилятор; 5 – твердопаливний котел; 6 – блок керування котлом; 7 – комп'ютер для запису отриманих експериментальних даних

До зазначеної установки входить комп'ютер 7 та гребінка з вісьмома хромель-алюмелевими (ХА) термопарами, які розташовано всередині котла.

Для запуску пелетного пальника до бункера спочатку завантажуються пелети. Витрата палива, кг/год, що надходить з бункера до камери згоряння, регулюється електронним блоком управління котлом. Цим же блоком проводиться налаштування й інших параметрів роботи котла, серед яких:

- температури котла, °С;
- часу роботи внутрішнього шнека, хв;
- часу роботи й паузи шнекового живильника, хв;
- максимальна і мінімальна потужність вентилятора, Вт;
- потужність роботи котла, Вт;
- параметри очищення пальника.

Після всіх необхідних налаштувань відбувається запуск пальника, шляхом вибору пункту меню “Розпалювання” в контролері. Коли пальник розгориться, контролер переходить у робочий режим і починає виконувати завдання щодо досягнення заданої температури, °С.

Важливим також є регулювання витрати повітря, кг/год, що надходить до камери згоряння ззовні завдяки вентилятору. На початковій

стадії камера згоряння ще не розігріта до достатньої температури, °С. Тому велика витрата зовнішнього холодного повітря, що надходить в камеру згоряння, може суттєво уповільнити процес горіння. Подача палива регулюється спеціальним пристроєм, що знаходиться між бункером та камерою згоряння.

До конструкції пальника входить також датчик температури, за показами якого автоматично припиняється подача палива з бункера до камери згоряння у випадку суттєвого перевищення температури, °С, відносно заданих показників. Така ситуація може виникнути при раптовому зменшенні тяги в димарі і зменшенні подачі зовнішнього повітря в камеру згоряння.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися зразки рослинних пелет (рис. 2-4).



Рис. 2. Експериментальні зразки пелет з соломи ячменю

При виконанні дослідів отримано зміну в часі, хв, температурного стану об'єму котла на стадії розпалу пелет рослинного походження, їхнього горіння та згасання.

При спалюванні пелет з соломи ячменю (рис. 5) протягом перших 11,5 хв. відбувалося розпалювання пелет від запальника. Після розпалювання пелети починають горіти, а значення температури, °С, в об'ємі котла починає поступово зростати. Найбільший приріст температури відбувається біля стінки котла, що протилежна до пальника.

На момент часу 19 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 870 °С (рис. 5, термопара №16). З 19-ої до 31-ої хв. експерименту відбувається стабільний процес горіння солом'яних пелет. Середня температура димових газів при цьому становить 270 °С.

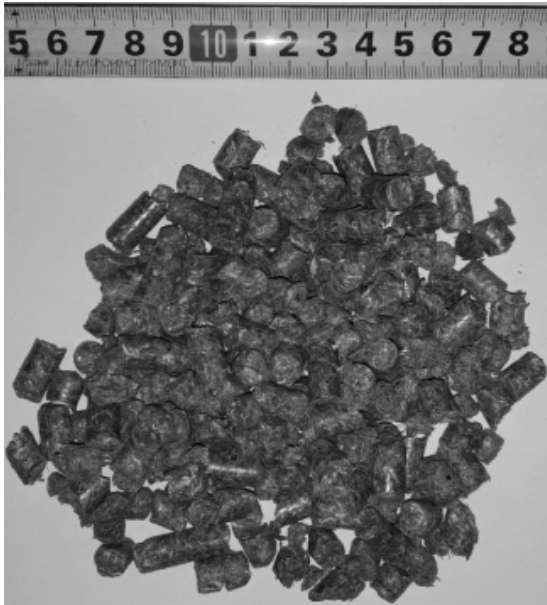


Рис. 3. Експериментальні зразки пелет із соломи пшениці



Рис. 4. Експериментальні зразки гранул із качанів кукурудзи

Протягом цього часу відбувалась автоматична періодична подача пелет з бункера за запрограмованим алгоритмом. При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 390...750 °С;
- термопари №11 – 300...460 °С;
- термопари №10 – в межах 280...400 °С.

Коливання температури відбуваються внаслідок періодичного вигорання порції біопалива в пальнику і надходження нової порції пелет з бункера.

Після 31-ої хв. від початку експерименту відбувається гасіння пальника, шляхом вибору пункту меню “Гасіння” в контролері. Як видно з графіка (рис. 5), починається поступове зниження температури, °С, в камері котла і димових газів. Після закінчення гасіння на дисплеї контролера з’являється відповідний символ. На завершення досліду було сфотографовано залишки палива (рис. 6).

У випадку пелет із соломи пшениці (рис. 7)

розпалювання відбулося дуже швидко – протягом 2 хв. Після розпалювання пелети починають горіти, а значення температури, °С, в об’ємі котла починають поступово зростати. Найбільший приріст температури відбувається біля тієї ж стінки котла, яка протилежна до пальника. На момент часу 10 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 785 °С (рис. 7, термопара №16).

З 10-ї до 18-ої хв. експерименту відбувається стабільний процес горіння пелет. Середня температура димових газів при цьому становить 270 °С. Протягом цього часу відбувалась автоматична періодична подача пелет з бункера за запрограмованим алгоритмом. При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 380...700 °С;
- термопари №11 – у межах 300...430 °С;
- термопари №10 – у межах 280...420 °С.

Причина коливання температури аналогічна попередньому випадку.

Після 18-ї хв. від початку експерименту відбувається гасіння пальника. Як видно з графіка (рис. 7), при цьому починалося поступове зниження температури в камері котла і димових газів, °С. Після появи на дисплеї контролера символу завершення гасіння було сфотографовано залишки палива (рис. 8).

При спалюванні гранул з качанів кукурудзи (рис. 9) розпалювання пелет від запальника відбулось протягом 7 хв. Процеси при розпалюванні і горінні аналогічні попереднім випадкам. На момент часу 18 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 840 °С (рис. 9, термопара №15).

З 18-ї по 22-у хв. експерименту відбувався процес горіння гранул. Середня температура димових газів при цьому становила 250 °С.

При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 300...700 °С;
- термопари №11 – 290...390 °С;
- термопари №10 – у межах 250...330 °С.

Після 22 хв. від початку експерименту відбувалося гасіння пальника. Як видно з графіка (рис. 9) як і в попередніх випадках почалося поступове зниження температури, °С, у камері котла й димових газів.

Незначне підвищення температури при гасінні пояснюється тим, що в цей момент увімкнувся вентилятор для прискорення догоряння залишків палива.

Насамкінець, після появи на дисплеї контролера символу завершення гасіння було сфотографовано залишки палива (рис. 10).

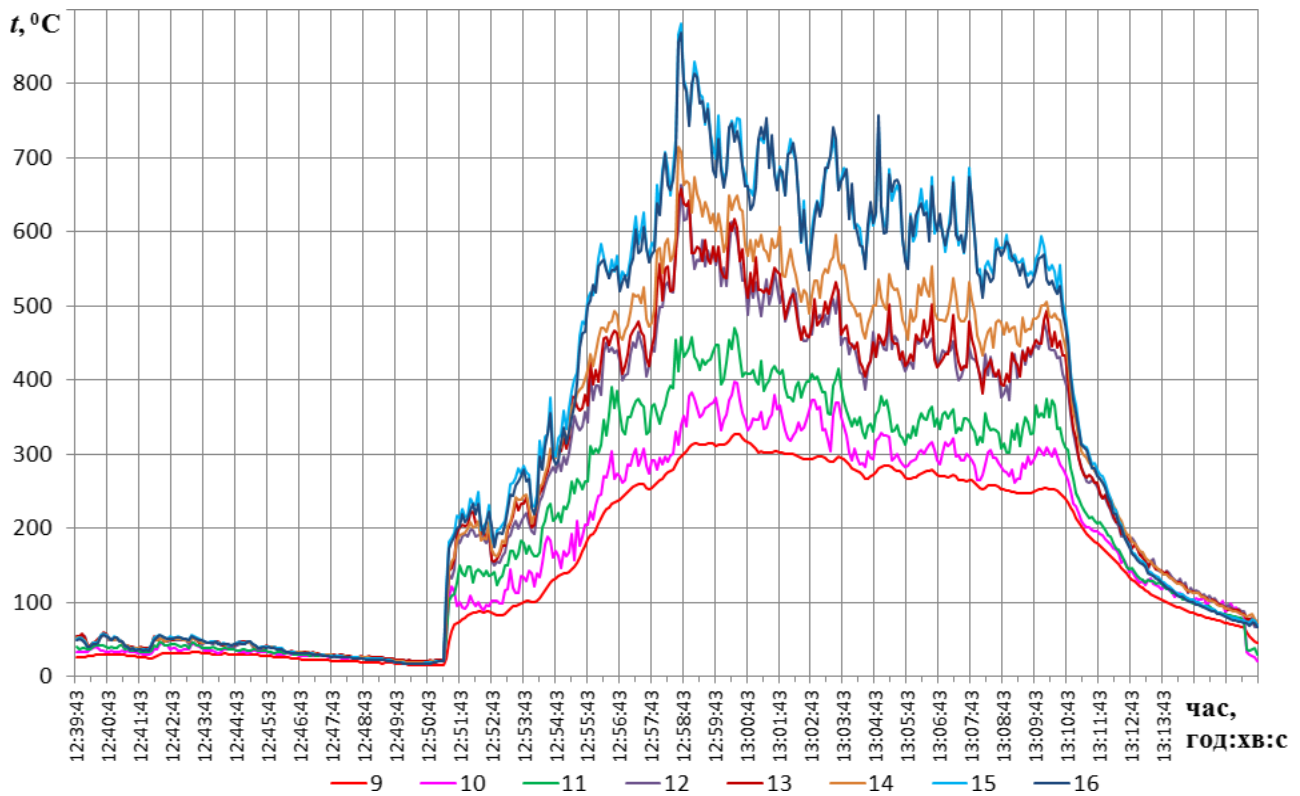


Рис. 5. Зміна у часі показників термопар при спалюванні соломи ячменю:

9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 6. Залишки після спалювання пелет з соломи ячменю

Висновки. Розроблена і впроваджена в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України експериментальна установка на основі твердопаливного котла з пелетним пальником дозволяє успішно досліджувати особливості спалювання рослинних пелет для опалення будинку пасивного типу. Зокрема, досліджено спалювання солом'яних пелет (ячмінь, пшениця) та гранул з качанів ку-

курудзи. Найдовше розпалювання відповідає пелетам з соломи ячменю – 11,5 хв. Діапазон температури в топці становить 280...750 °С. Проміжне положення за швидкістю розпалювання займають гранули з качанів кукурудзи – 7 хв. Діапазон температури в топці нижчий – 250...700 °С. Пелети з соломи пшениці розпалюються дуже швидко – за дві хвилини. Діапазон температури займає проміжне положення – 280...700 °С. Температура димових газів при спалюванні пелет з ячменю і пшениці становить 270 °С. Спалювання гранул з кукурудзи дає нижчу температуру димових газів – 250 °С.

Перспективи подальших досліджень.

Наведені в даній роботі результати можуть бути використані для подальшого дослідження процесів аеродинаміки горіння в котлах, призначених для спалювання рослинних та деревних культур. Використання результатів можливе в комунальній та промисловій теплоенергетиці, соціально-бюджетній сфері, індивідуально-побутовому секторі, а при спільному спалюванні із вугіллям – також і у великій електроенергетиці (зокрема на комунальних теплоелектроцентралях).

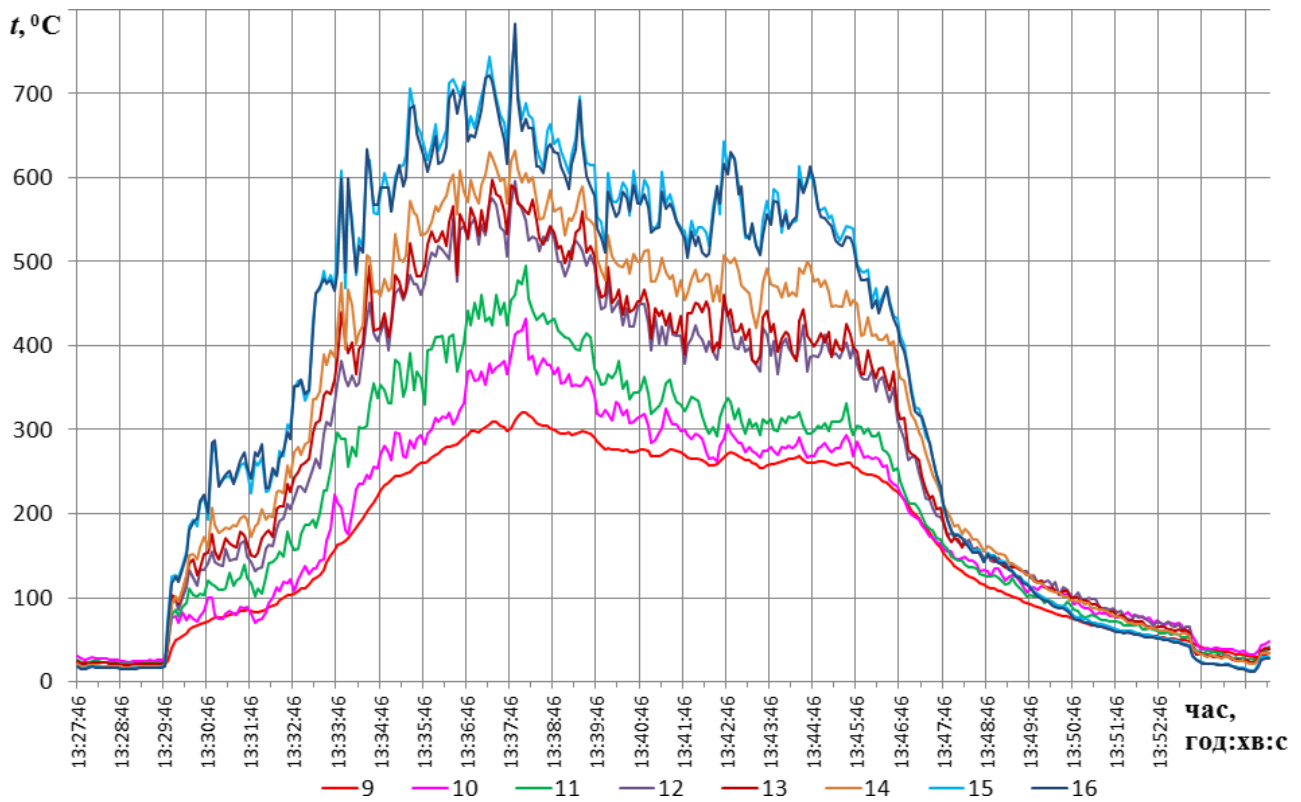


Рис. 7. Зміна у часі показників термопар при спалюванні соломи пшениці:
9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 8. Залишки після спалювання
пелет з соломи пшениці

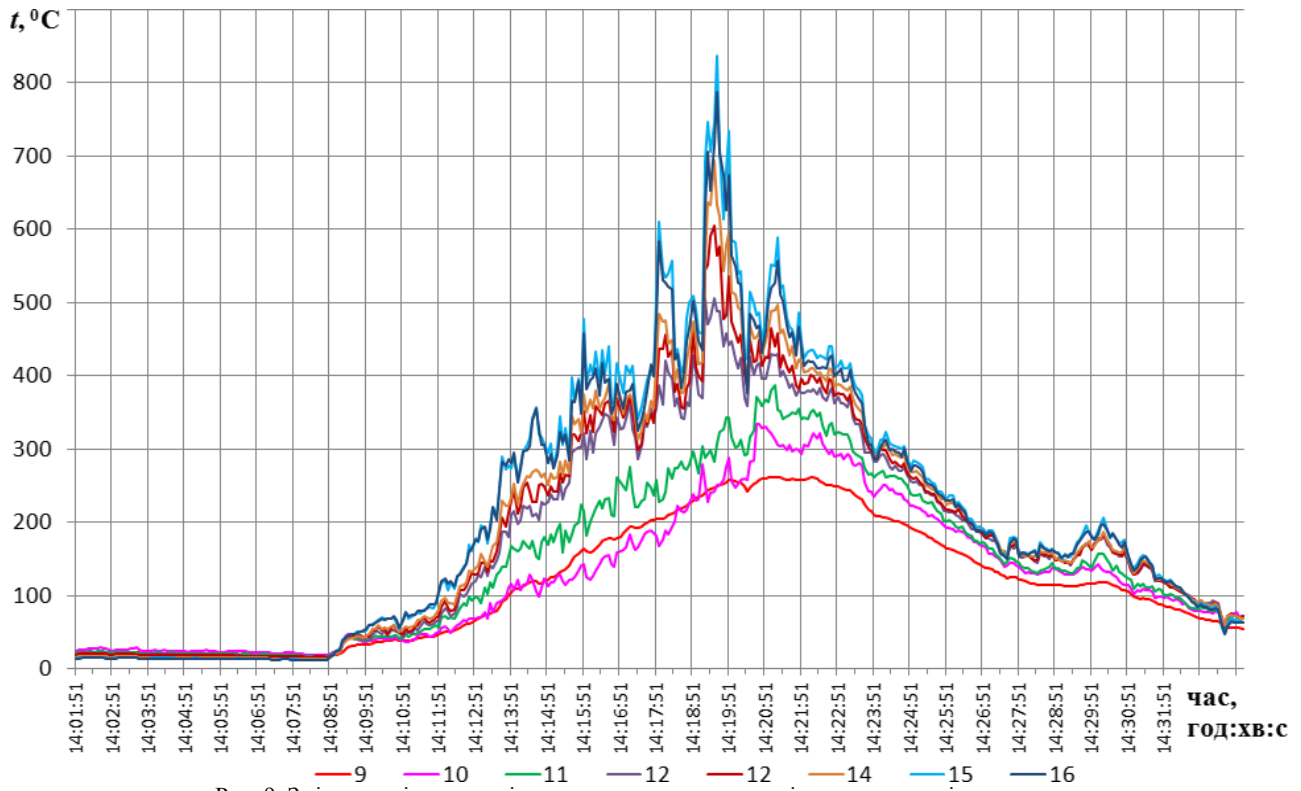


Рис. 9. Зміна у часі показників термопар при спалюванні гранул з качанів кукурудзи:
9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 10. Фото залишків після спалювання гранул з качанів кукурудзи

Література

1. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентноспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
2. Энергия из отходов: сможет ли биоэнергетика сделать Украину энергонеzависимой. URL: <https://www.unian.net/economics/energetics/energiya-iz-othodov-smozhet-li-bioenergetika-sdelat-ukrainu-energonezavisimoy-novosti-segodnya-11127413.html?fbclid=IwAR2EgSqZrIXRxp0HweVrbW43qhYoZ4AF9T2aMvgn2xGo6MZZZuSATiXKlg>.
3. Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин. Презентація «Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин». URL: <http://sae.gov.ua/uk/documents/3504>.
4. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org>.
5. Україна до 2022 року може збільшити виробництво зернових і олійних до 100 млн.тонн. URL: <http://uga.ua/news/prezident-uza-ukrayina-2022-roku-mozhe-zbilshiti-virobnitstvo-zernovih-olijnih-100-mln-tonneksportuvati-blizko-70-mln-tonn/>.
6. Гелетуxа Г. Г. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуxа, Т. А. Железна, С. В. Драгнев. – Аналітична записка БАУ № 21. – Біоенергетична асоціація України, 2019. – 41 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.
7. Енергетичний баланс України за 2017 рік. – Експрес-випуск ДССУ від 20.12.2018. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm
8. Слюсар І. Т. Продуктивність трав'янистих енергетичних культур на осушуваних заплавах органогенних ґрунтах / І. Т. Слюсар, О. П. Соляник, В. О. Сербенюк, О. М. Гера // Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН". – 2017. – Вип. 4. – С. 109-118.
9. Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник / В. Л. Курило, М. І. Кулик. – Полтава, 2017. – 74 с.
10. Голуб Р. Т. Біоенергетика: сучасний стан, перспективи, зарубіжний досвід / Р. Т. Голуб // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2018. – № 3. – С. 74-79.
11. Риженко Н. В. Енергетичний потенціал біомаси в Україні. Соціальноекономічні наслідки участі пост-соціалістичних країн у процесах європейської інтеграції / Н. В. Риженко // Матеріали Міжнародної наук. конференції (м. Черкаси, 2 жовтня 2019 р.). – Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2019. – С. 25-29.
12. Олійник Є. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / Є. Олійник, В. Антоненко, С. Чаплигін, В.Зубенко. – Київ : «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.
13. Гелетуxа Г. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу) / Г. Гелетуxа, С. Драгнев, П. Кучерук, Ю. Матвеев. – Київ. 2017. – 37 с.
14. Пат. 45799 Україна МПК F23D 21/00. Пелетний пальник / Гордін А. Б. ; власник А. Б. Гордін. – № u2009 06217 ; заявл. 16.06.2009; опублік. 25.11.2009 бюл. №22. – 3 с.
15. Пат. 82429 Україна МПК F23D 1/00. Пелетний пальник / Дацюк Б. А. ; власник Б. А. Дацюк. – u2013 06494; заявл. 24.05.2013; опублік. 25.07.2013 бюл. №14. – 6 с.
- Пелетний пальник: пат. 82429 Україна: МПК F23D 1/00 № u2013 06494; заявл. 24.05.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.
16. Механізм для чищення пелетного пальника: пат. 83866 Україна: МПК F23D 1/00, F23H 15/00, F23H 11/00 № u2013 10082; заявл. 13.08.2013; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18.
17. Гончарук С. М. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії» / С. М. Гончарук, М. Ф. Калініна, І. К. Божко, Л. М. Кужель, О. М. Лисенко // Промислова теплотехніка. 2014. – Т. 36. – №3. – С.88-95.

References

1. *Nova enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku: «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentnospromozhnist»*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
2. *Enerhiya iz otkhodov: smozhet li byoenerhetyka sdelat Ukrainu enerhonezavysymoi*. URL: <https://www.unian.net/economics/energetics/energiya-iz-othodov-smozhet-li-bioenergetika-sdelat-ukrainu-energonezavisimoy-novosti-segodnya-11127413.html?fbclid=IwAR2EgSqZrIXRxp0HweVrbW43qhYoZ4AF9T2aMvgn2xGo6MZZZuSATiXKlg>.
3. *Zakonodavcha polityka shchodo pidtrymky vyroshchuvannia enerhetychnykh roslyn. Prezentatsiia «Zakonodavcha polityka shchodo pidtrymky vyroshchuvannia enerhetychnykh roslyn»*. URL: <http://sae.gov.ua/uk/documents/3504>.
4. *International Energy Agency*. URL : <https://www.iea.org>.
5. *Ukraina do 2022 roku mozhe zbilshyty vyrobnytstvo zernovykh i oliinykh do 100 mln.tonn*. URL: <http://uga.ua/news/prezident-uza-ukrayina-2022-roku-mozhe-zbilshiti-virobnitstvo-zernovih-olijnih-100-mln-tonneksportuvati-blizko-70-mln-tonn/>.

6. Heletukha H.H., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. *Analiz barieriv dlia vyrobnytstva enerhii z biomasy v Ukraini. Analitichna zapyska BAU № 21*. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.
7. *Enerhetychni balans Ukrainy za 2017 rik. Ekspres-vypusk DSSU vid 20.12.2018*. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm.
8. Sliusar I. T., Solianyuk O. P., Serbeniuk V. O., Hera O. M. "Produktyvnist travianystrykh enerhetychnykh kultur na osushuvanykh zaplavnykh orhanohennykh gruntakh." *Zbirnyk naukovykh prats NNTS "Instytut zemlerobstva NAAN"*. 2017. Vyp. 4. P. 109-118.
9. Kurylo V. L., Kulyk M. I. *Enerhetychni kultury dlia vyrobnytstva biopalyva: dovidnyk*, 2017.
10. Holub R. T. "Bioenerhetyka: suchasnyi stan, perspektyvy, zarubizhnyi dosvid." *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2018. № 3. С. 74-79.
11. Ryzhenko N. V. "Enerhetychni potentsial biomasy v Ukraini. Sotsialnoekonomichni naslidky uchasti postsotsialistychnykh krain u protsesakh yevropeiskoi intehratsii." *Materialy Mizhnarodnoi nauk. konferentsii (m. Cherkasy, 2 zhovtnia 2019 r.)*. Cherkasy: CHNU im. B. Khmelnytskoho, 2019. P. 25-29.
12. Oliinyk Ye., Antonenko V., Chaplyhin S., Zubenko V. *Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoiu pry vyrobnytstvi teplovoi enerhii v Ukraini. Praktychnyi posibnyk. Polihraf plus», 2016*.
13. Heletukha H., Drahnev S., Kucheruk P., Matvieiev Yu. *Praktychnyi posibnyk z vykorystannia biomasy v yakosti palyva u munitsypalnomu sektori Ukrainy (dlia predstavnykiv ahropromyslovoho kompleksu)*. 2017.
14. Peletnyi palnyk: pat. 45799 Ukraina: MPK F23D 21/00 № u2009 06217; zaiavl. 16.06.2009; opubl. 25.11.2009, Biul. № 22.
15. Peletnyi palnyk: pat. 82429 Ukraina: MPK F23D 1/00 № u2013 06494; zaiavl. 24.05.2013; opubl. 25.07.2013, Biul. № 14.
16. Mekhanizm dlia chyshennia peletnogo palnyka: pat. 83866 Ukraina: MPK F23D 1/00, F23H 15/00, F23H 11/00 № u2013 10082; zaiavl. 13.08.2013; opubl. 25.09.2013, Biul. № 18.
17. Honcharuk S. M., Kalinina M. F., Bozhko I. K., Kuzhel L. M., Lysenko O. M. "Stvorennia eksperymentalnoho enerhoefektyvnoho budynku pasyvnoho typu «nul enerhii»". *Promyslova Teplotekhnika*. 2014, T. 36, №3. P. 88-95.

УДК 620.9:662.6

Экспериментальные исследования сжигания растительных пеллет в бытовом котле

Б.И. Басок¹, Б.В. Давыденко², Л.Н. Кузель³, О.Н. Лысенко⁴, А.Н. Веремийчук⁵

¹д.т.н., проф., член-кор. НАН Украины, зав. отдела Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, basok@itf.kiev.ua, ORCID:0000-0002-8935-4248

²д.т.н., ст. науч. сотрудник, гл. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, bdavydenko@ukr.net, ORCID:0000-0001-8738-7612

³к.т.н., ст. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, kuzhel_liliya@ukr.net, ORCID:0000-0002-5481-4566

⁴к.т.н., ст. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, lisenko_oks@ukr.net, ORCID:0000-0003-3981-9796

⁵асп., мл. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, averemiichuk@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1893-3637

Аннотация. За последние годы в Украине в качестве топлива все чаще стали использовать биотопливо. Украина – агропромышленная страна, имеющая большой потенциал для изготовления и применения пеллет растительного происхождения. Наше государство занимает шестое место в мире по изготовлению такого вида биотоплива. Однако большая их часть (около 85 %) экспортируется за границу. Это связано с низким спросом на внутреннем рынке. Солома зерновых культур может применяться в коммунальной энергетике. Количество соломы, остающейся после уборки урожая, является достаточным для её использования в качестве топлива. Такое биотопливо по своему составу и теплотворной способности приближается к таким традиционным видам топлива как древесина и торф. Основной задачей данной работы являются экспериментальные исследования сжигания различных видов агропеллет. Исследованы особенности сжигания пеллет аграрного происхождения, а именно соломенных (ячмень, пшеница) и гранул из початков кукурузы. На основе построенных графических зависимостей были определены характерные особенности температурных режимов работы бытового котла при сжигании агропеллет. Использование результатов возможно в коммунальной и промышленной теплоэнергетике, социально-бюджетной сфере и индивидуально-бытовом секторе.

Ключевые слова: пеллеты, биотопливо, теплоснабжение, горелка, возобновляемые источники энергии, сжигание агропеллет, биоресурсный потенциал.

UDC 620.9:662.6

Experimental studies of burning plant pellets in a domestic boiler

B. Basok¹, B. Davydenko², L. Kuzhel³, O. Lysenko⁴, A. Veremiichuk⁵

¹Sc.D, professor, Corresponding member NAS of Ukraine, Head of Department, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, basok@itf.kiev.ua, ORCID:0000-0002-8935-4248

²Sc.D, Senior Researcher, Chief Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine bdavydenko@ukr.net, ORCID:0000-0001-8738-7612

³PhD, Senior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine kuzhel_liliya@ukr.net, ORCID:0000-0002-5481-4566

⁴PhD, Senior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine lisenko_oks@ukr.net, ORCID:0000-0003-3981-9796

⁵Post-graduate student, Junior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine averemiichuk@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1893-3637

Abstract. In recent years, biofuels have increasingly been used as fuel in Ukraine. Ukraine is an agro-industrial country with great potential for the production and use of pellets of plant origin. Our country ranks 6th in the world for the production of such biofuels as pellets, but most of them (about 85 %) are exported abroad. This is due to the low demand for pellets in the domestic market. Cereal straw can be used in municipal energy. The amount of straw left after harvest is sufficient for its use as fuel. This biofuel in its composition and calorific value is close to such traditional fuels as wood and peat. Also, raw materials for bio-pellets can be sunflower husks and energy crops. The main objectives of this work are experimental studies of the combustion of different types of agropellets. An experimental installation of a solid fuel boiler with a pellet burner was developed and implemented at the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine to study the peculiarities of pellet combustion. With the help of the developed measurement system based on a comb with thermocouples, which is located above the torch in the boiler, the temperature regime in the boiler volume was studied and the peculiarities of the pellet burning process in the burner were determined. As a result of the work, experimental studies of the peculiarities of burning pellets of agricultural origin, namely straw (barley, wheat) and pellets from corn cobs were carried out. On the basis of the constructed graphic dependences the characteristic features of temperature modes of work of a household copper at burning of agropellets were defined. The use of the results is possible in the communal and industrial heat energy, social and budgetary sphere and individual household sector.

Keywords: pellets, biofuel, heat supply, burner, renewable energy sources, agropellet combustion, bio-resource potential

Надійшла до редакції / Received 31.10.2020