

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ, ДОВКІЛЛЯ  
ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ  
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА АСАМБЛЕЯ  
КОНСОРЦІУМ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

# **ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ**

*Збірник праць*

*За редакцією  
кандидата технічних наук  
О. І. Сігала*

КИЇВ  
ІВЦ АЛКОН  
2025

ванням розчинів перекису водню різної концентрації необхідні подальші дослідження, спрямовані на уточнення виявлених закономірностей, розширення емпіричної бази та перевірку отриманих результатів в інших умовах.

### **Список використаної літератури**

1. Adnan Görgülü, Hüseyin Yağlı Yıldız Koç. Comprehensive analysis of the effect of water injection on performance and emission parameters of the hydrogen fuelled recuperative and non-recuperative gas turbine system // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. V. 45, Issue 58. P. 34254–34267. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.038>

2. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. (2020). URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

3. Dubovkina I., Sigal O., Rikhte V., Nizhnyk N. Toxic substances formation in co-incineration process for food production // Ukrainian Food Journal. 2021. Issue 4. P. 828–839. <https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2021/4/15.pdf>

УДК 662.613.12:62.112

**А. Г. Колієнко, В. А. Загорулько**

*Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ГОРЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОМАСИ**

На сьогодні накопичено достатній досвід використання у якості палива для опалювальних котельних рослинної продукції сільськогосподарського виробництва (біомаси) і в першу чергу соломи [1].

Це дає підґрунт для більш детальних досліджень в області визначення основних горючих характеристик соломи, як палива. До числа таких характеристик відносяться:

- склад горючих, баластних і інших компонентів соломи;
- теплота згорання;
- об'єм повітря на горіння і об'єм продуктів згорання;
- температура горіння.

Основними горючими компонентами соломи є карбон С, у значно меншій кількості – водень Н. До складу соломи також входять такі небажані елементи як калій, хлор і сірка, зола.

Організація спалювання соломи пов'язана з вирішенням низки питань, які спричинені неоднорідністю складу соломи, високим виходом летких при її горінні, що призводить до особливостей здійснення процесу підведення дуттьового повітря при спалюванні тюкованої соломи, її низькою теплотою згорання, особливо за умови високої вологості палива, наявністю хлору, який призводить до корозії трубною частини котла, а також високою зольністю соломи і низькою температурою розм'ягчення золи, що призводить до утворення шлакових агломератів, шлакування колосникової решітки і забруднення трубною поверхні нагрівання.

Високий вихід летких речовин призводить до значних розмірів факелу, що спричиняє необхідність збільшення висоти і розмірів топки, а також розділення потоків дуттьового повітря на первинне і вторинне. Первинне подається під колосникову решітку, забезпечує протікання процесів сушки соломи, її сублімації і часткової газифікації, а також прямого спалювання частини соломи на решітці.

Вторинне повітря подається у вигляді «гострого» дуття у середину і верхню частину топки для догорання газової фракції продуктів сублімації і газифікації. Витрати як одного так і іншого потоку повітря повинні регулюватись. Колосникова решітка котла на солі повинна бути виготовленою із жаростійкого матеріалу і передбачати можливість очищення колосникових ґрат від золи. Запобігання процесам шлакування решітки можливо за рахунок використання охолодження колосників, або організації процесу спалювання подрібненої соломи у зрідженому шарі.

Для забезпечення необхідних екологічних показників роботи котлів необхідно організувати рециркуляцію частини відпрацьованих продуктів згорання до топкового простору. Такий захід дає можливість також стабілізувати процеси горіння і здійснювати процеси регулювання горіння.

Дослідження процесів гетерогенного горіння [2, 3], до яких відносяться і процеси горіння біомаси показали що за умови значної швидкості потоку і для подрібненого палива процес горіння зміщується у зону кінетичного горіння [2, 3]. У цій зоні процес горіння обмежується швидкістю самої хімічної реакції, Згідно із законом Арреніуса збільшення температури процесу спричиняє різке збільшення швидкості горіння.

Основними продуктами реагування карбону палива з окиснювачем (киснем повітря) є складні киснево-карбонові комплекси  $C_xO_y$ , які розпадаються з прикінцевим утворенням  $CO_2$  і  $CO$ . Рівень теоретичних досліджень з кінетики хімічного реагування не дає можливості отримати точну залежність для визначення швидкості горіння карбону. Але з експериментальних досліджень відомо, що збільшення температури процесу спричиняє збільшення співвідношення  $CO/CO_2$ .

Утворення зазначених компонентів продуктів горіння відбувається як у процесі окислювальних гетеро- і гомогенних реакцій (1–3):



так і відновлення  $CO_2$  на поверхні розжареного карбонового залишку (4):



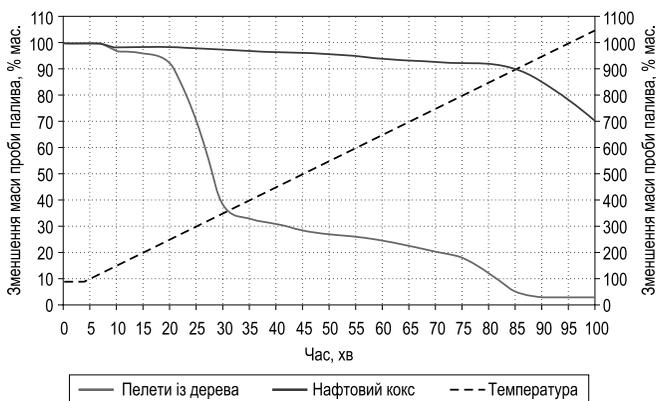
Швидкість хімічного реагування вуглецю визначається інтенсивністю витрачання ним кисню і інтенсивністю утворення продуктів реакції. Тому дослідження закономірностей хімічного реагування карбону можна вести у напрямку дослідження витрачання кисню  $O_2$  і утворення оксидів вуглецю в реакціях (1 і 2), зменшення кількості  $CO_2$  і збільшення частки  $CO$  для реакції (4), а також зростання  $CO_2$  і зменшення  $O_2$  і  $CO$  для реакції (3).

Леткі речовини і  $CO$ , що утворюються із твердої частинки біомаси згорають у газовій фазі. При цьому частинки знаходяться у складній взаємодії конвекцією з газовим середовищем топки і взаємодії випромінюванням з газами і огорожувальними поверхнями агрегату. Відтворити і промоделювати таке середовище досить важко. Тому дані про швидкість виділення летких речовин, а також швидкість горіння і вплив різних факторів на вигорання частинки відрізняються.

У процесі горіння і газифікації частинка біомаси проходить ряд стадій – по мірі нагрівання і підсушування починається процес сублімації і вихід летких речовин; вони дифундують у простір навколо частинки і окиснюються. На це витрачається до 10% часу від загального часу процесу. Після цього залежно від наявності окиснювача в зоні горіння відбувається складний комплекс паралельно-послідовних багатостадійних фізико-хімічних процесів, які приводять або до горіння коксу, або протікання вторинних реакцій відновлення  $CO_2$  і  $H_2O$  на поверхні розжареного вуглецевого залишку.

Методика оперативного визначення технічних характеристик біомаси, як палива за результатами його комплексного термічного аналізу ґрунтується на аналізі кривих зменшення маси навіски палива залежно від температури і атмосфери. Реакційна здатність палива при цьому визначається за величиною швидкості процесу випаровування вологи і виходу летких речовин в окислювальному середовищі.

Експериментальні дослідження виходу летючих виконувались на стенді. Окислювальне середовище створювалось шляхом подачі в реакційну зону повітря з постійними витратами 100 мл/хв. Досліджувались такі види палива, як пелети із деревини і нафтовий кокс. Температура в реакційній зоні змінювалась від 80 до 1100 °С. Результати дослідження представлені на рисунку.



**Рисунок.** Результати експериментальних досліджень реакційної здатності палива.

Динаміка термохімічного перетворення пелет ілюструє втрату вологи на 10-й хвилині нагрівання, інтенсивний вихід летючих речовин на 20-х, 30-х хвилинах, газифікацію вуглецю, який завершився на 85-й хвилині процесу і стабілізацію зольного залишку на завершальній стадії процесу. Вихід летючих становив до 70%. Термохімічні перетворення нафтового коксу проходив, судячи по графіку, дещо за іншим сценарієм, що пояснюється іншою природою карбону у складі нафтового коксу. Для бурого вугілля вихід летючих починається при температурі близько 170 °С, а для антрациту – близько 320 °С.

В результаті виконання експериментальних досліджень визначені тривалості переходу режиму сушки біомаси до режиму виходу летючих

речовин і далі – до стадії горіння і газифікації вуглецевого залишку. Визначені температурні межі процесу виходу летучих речовин. Показано, що температура, при якій починається вихід летучих залежить від виду палива: Так із літературних джерел відомо, що вихід летучих залежить від віку палива і збільшується із зростанням віку палива. Так для бурого вугілля вихід летучих починається при температурі близько 170 °С, а для антрациту – близько 320 °С.

Дослідженням показано, що вихід летучих для пелет із деревини починається при температурі близько 220 °С. А для інших палив залежить від геологічного віку палива.

### **Список використаної літератури**

1. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні. Аналітична записка № 21 Біоенергетичної асоціації України. 2019. 40 с.

2. Lewis B., von Elbe G. Combustion, Flames and Explosions of Gases. 3<sup>rd</sup> ed. – Orlando, San Diego, New York, Austin, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto : Academic Press, 1987. 520 p.

3. Khitrin L. N. The Physics of Combustion and Exploding. Jerusalem, 1962. 365 p.

УДК 662.613.12:62.112

**А. Г. Колієнко, В. А. Загорулько**

*Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ГОРЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОМАСИ**

Важливим в оцінюванні горючих властивостей біомаси є питання її вологості, оскільки для більшості котлів наявність вологи в паливі має негативний вплив на процеси горіння: збільшується точка роси, зростає об'єм продуктів згорання, погіршуються горючі характеристики палива. У ході ж збирання, перероблення і складування біомаси можливе її зволоження внаслідок контакту з атмосферною вологою.