

УДК 662.611.3

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОЇ БІОМАСИ У ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ

Р. Загородній, аспірант¹

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Гнатюка

Проаналізовані чинники, які впливають на ефективне спалювання твердої біомаси у теплогенераторах. Запропоновано регулювати подачу палива і повітря у визначеному співвідношенні на основі аналізу складу димових газів.

Біомаса, твердопаливні котли, паливна суміш, коефіцієнт надлишку повітря, λ -зонд.

На сучасному етапі розвитку енергетики в багатьох країнах світу широко використовують біомасу з однорічним циклом відновлювання. Найбільш поширеними і надійними способами отримання енергії є технологія спалювання її у котлах, вибір якої залежить від палива, яке використовується. Біомаса володіє певними особливостями, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів. Крім того, деякі з характеристик твердого біопалива, такі як щільність, розміри часток, вологість, за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. Тому в процесі експлуатації теплогенераторів з метою підвищення енергоефективності горіння твердого біопалива потрібно враховувати вказані характеристики.

У наукових працях вітчизняних і закордонних авторів [1, 2, 4] розкриті питання, пов'язані з принципом роботи теплогенераторів, обґрунтовано процес горіння палива, приділено значну увагу різним видам сировини, проте питання утворення енергоефективної паливної суміші авторами висвітлено недостатньо.

Мета досліджень – пошук чинників, що впливають на ефективне спалювання твердої біомаси з метою підвищення ККД теплогенераторів.

Виклад основного матеріалу. Важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси є її теплотворна здатність, яка залежить від виду енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо [3]. Основними технологіями термічної переробки твердого біопалива (рослинної біомаси та деревини) є їх пряме спалювання, газифікація і піроліз.

Процес горіння палива – це сукупність хімічних реакцій окислення його горючих елементів, що супроводжується значним виділенням тепла і світла. Для підтримки процесу горіння потрібен окислювач – кисень. Швидкість хімічної реакції зростає зі збільшенням температури. Тому у топках теплогенераторів забезпечують безперевну подачу повітря у достатній кількості для спалювання біомаси і підтримки високої температури. При повному окисленні продукти, що утворилися не можуть більше з'єднуватися з

¹ Науковий керівник – д. т. н., професор, Федорейко В.С.

окислювачем і виділяють теплоту. Продуктами повного окислення горючих елементів являються оксиди вуглеводню (CO_2), водню (H_2O) і сірки (SO_2 і в меншій мірі SO_3). Реакціями повного окислення горючих елементів є:



Причинами неповного згорання палива можуть бути такі: не всі горючі елементи окисляються, при окисленні горючих елементів утворюються продукти, які б могли брати участь в процесі горіння. При неповному окисленні горючих елементів можуть утворитися з'єднання, наприкладі реакції (4):



Неповне окислення горючих елементів пов'язано з недостатньою подачею окислювача, невідповідній подачі палива і повітря по часу, недостатньому змішуванні палива і повітря. Найбільша кількість теплоти виділяється при повному окисленні горючих елементів.

Витрати палива на горіння визначають по повному згоранню палива в топці котла. Мінімальна кількість повітря V_0 , достатнього для повного згорання одиниці маси палива, називають теоретично необхідною кількістю повітря. Величина V_0 і кількісне співвідношення між масами або об'ємами взаємореагуючих речовин визначають за реакціями (1) – (3) окислення горючих елементів [1].

Для реакції (1) на 1 кмоль (12,01 кг) вуглецю використовується 1 кмоль кисню, який має при нормальних умовах (температура $20^\circ C$ і тиску 0,1 МПа) об'єм $22,4 \text{ м}^3$, або на 1 кг вуглецю необхідно використати $22,4 : 12,01 = 1,866 \text{ м}^3$ кисню. При цьому утворюється $1,866 \text{ м}^3 CO_2$. На кількість вуглецю $C/100 \text{ кг}$ в 1 кг палива використовується $V_{O_2}^C = 1,866 C/100 \text{ м}^3$ кисню і утвориться $1,866 C/100 \text{ м}^3 CO_2$. Аналогічним чином можуть бути розраховані відповідно за рівняннями (2) і (3). Розхід кисню на спалювання водню і сірки і, відповідно, утворених оксидів при спалюванні одиниці маси палива будуть наступними ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V_{O_2}^H = 5,55 \frac{H}{100}; \quad (5)$$

$$V_{O_2}^S = 0,7 \frac{S}{100} = 0,375 \cdot 1,866 \frac{S}{100}; \quad (6)$$

$$V_{H_2O}^H = 11,1 \frac{H}{100}; \quad (7)$$

$$V_{SO_2}^S = 0,7 \frac{S}{100}. \quad (8)$$

Зі співвідношень (5) – (8) з врахуванням об'ємного вмісту кисню у повітрі (21%) і паливі $O/(100 \rho_{O_2})$, отримуємо кількість повітря, теоретично необхідного для повного окислення горючих елементів,

$$V^O = \frac{V_{O_2}^O}{0.21} = 0.0476 \left[1.866(C + 0.375S) + 0.265H - \frac{O}{\rho_{O_2}} \right], \quad (9)$$

або

$$V^0 = 0.0889(C + 0.375S) + 0.265H - 0.0333O, \quad (10)$$

де С, S, Н і О – масові частки (%) горючих елементів і кисню у даному паливі.

Переважаю V^0 розраховують для робочої маси палива. Для запобігання неповного згорання палива у топку подають кількість повітря V_B більше теоретично необхідного [2].

При проектуванні котлів і аналізі їх роботи користуються коефіцієнтом надлишку повітря a , який дорівнює відношенню фактично поданого кількості повітря до теоретично необхідного,

$$a = V_B / V^0. \quad (11)$$

Для покращення умов перебігу процесу згорання і зниження емісії частинок у продуктах згорання витрата повітряного дуття регулюється, поступово змінюючись від верхніх до нижніх секцій котла. Для забезпечення старанного перемішування продуктів згорання повітря повинно подаватися в напрямі, протилежному виходу димових газів із топки котла.

Втрати теплоти у процесі спалювання біомаси визначаються шляхом газового аналізу складу димових газів сучасними приладами [1].

Результатами аналізу є температура димових газів, вміст CO_2 , O_2 і CO , на основі яких може бути визначена основна частина втрат.

Втрати теплоти визначаються температурою відпрацьованих газів і коефіцієнтом надлишку повітря a , який визначається зі співвідношення між дійсною кількістю повітря, поданого у топку, і кількістю повітря, теоретично необхідною для повного згорання [4]:

$$a = CO_{2,max} / CO_{2,вим}, \quad (12)$$

де $CO_{2,max}$ –максимально можливий вміст вуглекислого газу для певного виду палива (таблиці 1) [4].

1. Значення $CO_{2,max}$ для деяких видів палива

Паливо	$CO_{2,max}$, %
Кам'яне вугілля	18,8
Рідке паливо	15,9
Деревина	20,2
Торф	19,6
Природний газ	12,1

Сучасні газоаналізатори не виміряють безпосередньо вміст вуглекислого газу, а визначають його за вмістом кисню з рівняння:

$$CO_{2,вим} = CO_{2,max} \cdot (1 - O_2/20,94). \quad (13)$$

Оптимальне значення коефіцієнта надлишку кисню завжди повинен бути $a > 1$ і залежить від технології спалювання і виду палива. Для повного спалювання деревини складно забезпечити рівномірний розподіл повітря по всій зоні горіння, тому коефіцієнт надлишку повітря наближається до $a=1,4$.

Для ефективного протікання процесу горіння деревини значення коефіцієнта a повинні лежати в межах 1,4-1,6 (рис. 1).Тоді у димових газах буде біля 7,5% O_2 і 13% CO_2 .

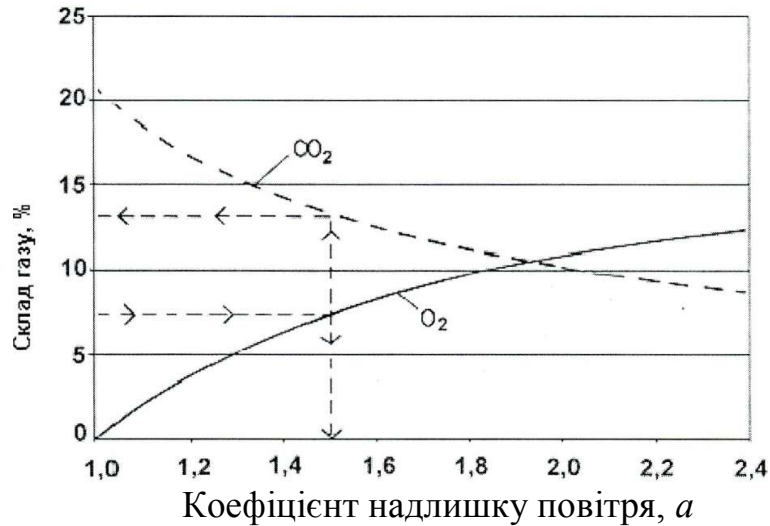


Рис. 1. Рациональний коефіцієнт надлишку повітря a для ефективного спалювання біомаси

З рисунка 1 видно, що оптимальні значення коефіцієнта надлишку повітря знаходяться в межах 1,5 – 2,0. Максимальне значення $a=2,0$ можливе у разі спалювання полін, середні значення (1,4 – 1,6) бажані для колотої деревини, а найнижчі (1,2 – 1,3) – для тирси, брикетів, гранул [1]. Тому з метою ефективного спалювання біомаси необхідно регулювати подачу повітря у камеру згорання [2].

Забезпечити оптимальні співвідношення паливо-повітря можливо шляхом застосування автоматичного регулювання процесу горіння в топці, яке здійснюється за рахунок регульованої подачі палива і повітря. Вхідним регулюючим впливом служить подача повітря в топку, а вихідною регульованою величиною – зміст кисню в димових газах.

Розглянута проблема вирішується тим, що ефективність спалювання забезпечується за рахунок інтелектуальної системи дозування повітря в камеру згорання атмосферного котла на основі аналізу відсоткового складу O₂ в димових газах.

Спосіб ефективного згорання палива в атмосферному котлі здійснюється наступним чином (рис. 2). Технологічна біомаса (паливо) засипається у бункер 2 і за допомогою зворушувача 3 і шнеку 6, які приводяться в дію двигуном 4 і приводом 5, подається у камеру згорання палива 10.

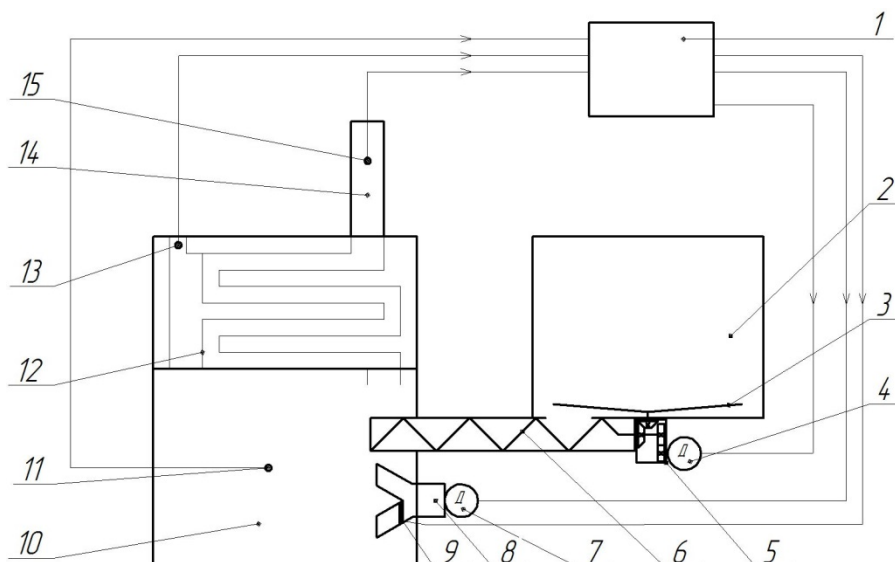


Рис. 2. Спосіб ефективного згорання твердого біопалива палива у теплогенераторах

Всередині камери згорання 10 відбувається ефективне спалювання завантаженої біомаси при подачі повітря, яка забезпечується вентилятором 8, що приводиться в рух регульованим двигуном 7. Контроль необхідної кількості нагнітаючого повітря двоканальним вентилятором 8 здійснюється регулюванням обертів двигуна 7 на основі даних кисневого λ -зонду 15, що знаходиться у димовивідній трубі 14, через систему АСК 1.

Контроль температурного перегріву камери згорання 10 забезпечується роботою електромагнітного клапану 9, який у випадку збільшення допустимої температури котла (вище 1000 °С), що контролюється датчиком температури 11, закриває нижню подачу повітря в камеру згорання 10, а з'єднаний з ним АСК 1 забезпечує зменшення обертів вентилятора 8 у два рази за рахунок регульованого електродвигуна 7.

Ефективне нагрівання теплообмінника 12 контролюється датчиком температури 13 і забезпечується регульованою подачею палива шнеком 6 в камеру згорання 10 за допомогою АСК 1.

Запропонований спосіб ефективного згорання твердого біопалива в атмосферних котлах в порівнянні з аналогами забезпечує зменшення загальної витрати палива та збільшує коефіцієнт корисної роботи твердопаливних атмосферних котлів.

Висновки

Проведені дослідження свідчать, що у процесі конструювання котлів для спалювання твердої біомаси необхідно враховувати її основні фізико-хімічні характеристики. Процес спалювання твердої біомаси також потребує регулювання подачі повітря, відповідно до вологості та фізико-хімічних властивостей сировини, тобто врахування значення коефіцієнта надлишку повітря. Оптимальне значення коефіцієнта надлишку кисню завжди повинен бути $\alpha > 1$ і залежить від технології спалювання і виду палива. Ефективність

процесу горіння палива забезпечує економічність роботи котла і сприяє захисту навколишнього середовища від забруднення.

Список літератури

1. Двойнишников В.А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок : Учебник для техникумов по специальности «Котлостроение» / В.А. Двойнишников, Л.В. Деев, М.А. Изюмов. – М. : Машиностроение, 1999. – 264 с.
2. Дубровін В.О. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
3. Кузнецова А. Використання соломи в Україні – можливості та перспективи. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій / А. Кузнецова. – Київ – [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialogue/2010/AgPP_31_ukr.pdf
4. Справочник потребителя биотоплива [под. ред. Виллу Вареса]: Таллиннский технический университет / Виллу Варес, Юло Касък, Пеэтер Муйсте, Тыну Пиху, Сулев Соосаар. – Таллинн, 2005. – 184 с.

Проанализированы факторы, влияющие на эффективное сжигание твердой биомассы у теплогенераторах. Предложено регулировать подачу топлива и воздуха в определенном соотношении на основе анализа состава дымовых газов.

Биомасса, твердоотопливные котлы, топливная смесь, коэффициент избытка воздуха, λ -зонд.

The factors that influence the efficient combustion of solid biomass heat source. Proposed to regulate the flow of fuel and air in a certain ratio based on the analysis of the flue gases.

Biomass, solid fuel boilers, energy efficient fuel mixture, excess air ratio, λ -probe.