

УДК 620.95

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОТЛІВ ІЗ ВЕРХНІМ ГОРІННЯМ

Г. Голуб, *д-р техн. наук, проф.*,

С. Кухарець, *канд. техн. наук, доц.*,

О. Переходько,

В. Хрус,

В. Чуба,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Житомирський національний агроекологічний університет*

Наведено результати експериментальних досліджень впливу параметрів котлів із верхнім горінням на ефективність спалювання рослинної біомаси. За допомогою дослідної установки котла з верхнім горінням встановлено вплив витрати повітря на склад продуктів згоряння на виході з котла та на фактичну теплову потужність

Ключові слова: *котел, спалювання, ефективність, біомаса, паливо, генераторний газ, повітря*

Суть проблеми. В Україні виробляються теплогенератори з повітряним теплоносієм для спалювання біомаси, які можна агрегатувати з сушарками та використовувати для опалення теплиць й виробничих приміщень, водонагрівальні котли для обігріву виробничих приміщень та соціально-культурних об'єктів, котли-теплогенератори для спалювання відходів деревообробки [1, 2, 3].

Проте під час спалюванні рослинної біомаси виникають деякі труднощі, пов'язані з неоднорідністю біомаси, як палива; відносно високою вологістю, малим питомим енерговмістом, низькою температурою плавлення золи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зоні горіння рослинної біомаси необхідно створити сприятливі умови для повного згоряння соломи, без плавлення золи та із підтримання рівномірного процесу виділення тепла [4, 5, 6, 7].

Таких умов можна досягти застосувавши котли, що мають дві робочі області: перша – утворення генераторного газу та друга – горіння генераторного газу [8, 9, 10]. В таких котлах є можливість регулювання процесом тепловиділення за рахунок зміни об'ємів повітря, що надходить в робочі області котла.

Мета дослідження – за допомогою дослідної установки котла з верхнім горінням встановити вплив витрати повітря $V_{\text{газ}}$ на склад продуктів згоряння на виході із котла та на фактичну теплову потужність $P_{\text{кд}}$.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення досліджень щодо впливу параметрів котлів з верхнім горінням на енергетичну ефективність спалювання, було використано нами розроблений котел КГВ 20 (рис. 1), оснащений електронною системою керування на базі мікропроцесорного пристрою ATOS. Для подачі повітря в топку котла було використано систему подачі повітря на базі вентилятора WPA 06, оснащену асинхронним двигуном потужністю 83 Вт. Для оцінки теплової потужності котла, його було оснащено системою подачі повітря в нагрівальну порожнину на базі вентилятора OBR 200M 2K, що оснащений електродвигуном потужністю 600 Вт.

Топка котла завантажувалась біомасою різного фракційного складу. Під час проведення досліджень змінювалась подача повітря в топку котла від 0,0015 до 0,04 м³/с.



*1 – котел КГВ 20; 2 – система подачі повітря в топку котла;
3 – система подачі повітря в нагрівальну порожнину котла;
4 – електронна система керування.*

Рисунок 1 - Дослідна установка для встановлення енергетичної ефективності котлів із верхнім горінням

Витрати повітря котлом та його температуру вимірювали за допомогою анемометра-термометра СЕМ ДТ 620. Склад димових газів визначали за допомогою газоаналізатора ОКСІ 5М.

Викид СО оцінювали згідно з методикою вимірювання вмісту забруднюючих речовин у димових газах котлів [11] за питомим вмістом СО у викидах котла та за специфічним показником емісії:

$$k_{CO} = \frac{c_{CO} v_{O_2}}{Q_n^{CO}} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \leq 7,9 \frac{\%}{\text{Дж}}; \quad (1)$$

де k_{CO} – показник емісії CO , $\%/\text{Дж}$; c_{CO} – виміряна масова концентрація CO в сухих димових газах, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, $\text{г}/\text{м}^3$; v_{O_2} – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, $\text{м}^3/\text{кг}$; Q_n^{CO} – нижча робоча теплота згоряння CO , $\text{МДж}/\text{кг}$; q_4 – втрати тепла через недопал палива, %.

Дійсну теплову потужність котла визначали за формулою [12]:

$$P_k^d = c_{\text{пов}} v_{\text{пов}} (t_{\text{ex}} - t_{\text{вх}}); \quad (2)$$

де P_k^d – дійсна теплова потужність котла, Вт; $c_{\text{пов}}$ – теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг К})$; $v_{\text{пов}}$ – питомий об'єм повітря, що нагрівається, $\text{м}^3/\text{с}$; $t_{\text{вх}}$ – температура повітря на вході в нагрівну порожнину котла, $^{\circ}\text{К}$; t_{ex} – температура повітря на виході з нагрівної порожнини котла, $^{\circ}\text{К}$.

Дані дослідження дозволили встановити вплив подачі повітря на вміст CO в димових газах та на дійсну теплову потужність котла.

Залежність питомого вмісту CO у димових газах досліджуваного котла від подачі повітря в топку котла наведено на рис. 2.

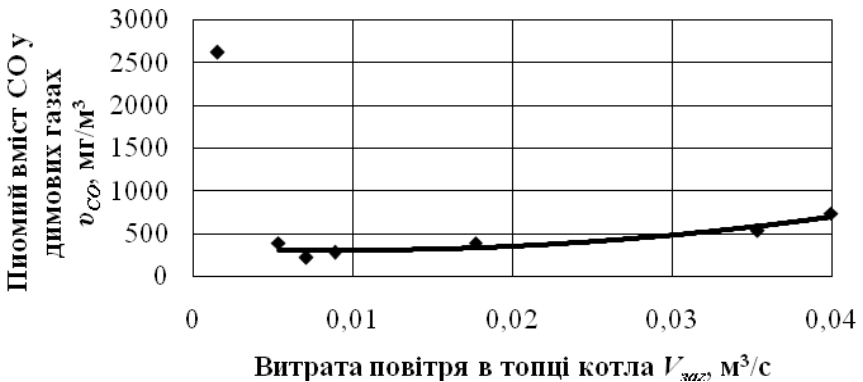


Рисунок 2 – Дослідна залежність питомого вмісту CO v_{CO} у димових газах від загальної подачі повітря $V_{\text{заг}}$ в робочі області котла

Із аналізу отриманих даних випливає, що питомий вміст CO у димових газах набуває мінімальних значень при усталеному режимі роботи котла, а в пусковому режимі питомі викиди мають значення на порядок вищі, хоча загальні викиди CO в атмосферу лежать в межах норми ($k_{CO} \leq 7,9 \frac{\%}{\text{Дж}}$, рис. 3), позаяк витрата димових газів в пусковому режимі незначна.

В усталеному режимі питомий вміст CO у димових газах досліджуваного котла може бути описаний (з рівнем довірчої імовірності – $R^2=0,87$) залежністю:

$$v_{CO}=426139V_{заг}^2-8032,8V_{заг}+339,64; \quad (3)$$

Мінімальних значень питомий вміст CO $v_{CO}=216$ мг/м³ набуває при загальній подачі повітря в топку котла $V_{заг}=0,0071$ м³/с, що на 4 % нижче, ніж встановлено теоретично.



Рисунок 3 - Залежність показника емісії COk_{CO} у димових газах від загальної $V_{заг}$ подачі повітря в робочі області котла

Встановлено залежність дійсної теплової потужності котла з верхнім горінням від витрат повітря в топці котла (рис. 4).



Рисунок 4 - Залежність теплової потужності котла $P_{кд}$ від загальної $V_{заг}$ подачі повітря в робочі області котла

В усталеному режимі роботи залежність теплової потужності котла із верхнім горінням КГВ-20 від подачі повітря пропонованим розподільником в

робочі області котла може бути описано (з рівнем довірчої імовірності – $R^2=0,74$), як:

$$P_{\text{кд}} = -98,685V_{\text{заг}}^2 - 34,772V_{\text{заг}} + 16,243; \quad (4)$$

Аналіз рівняння (4) та графіка (рис. 4) дозволяє зробити висновок, що максимальну теплову потужність $P_{\text{кд}}=16,6 \text{ кВт}$ котел КГВ 20 із верхнім горінням розвиває при подачі повітря в топку на рівні $V_{\text{заг}}=0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$, а ККД при цьому становить $\eta_{\text{к}}=82,8 \%$.

Для підвищення ефективності роботи котла за рахунок зменшення часу його роботи в перехідних режимах пропонується використання автоматичної системи керування подачею повітря в топку котла, що складається із мікропроцесорного пристрою ATOS та датчиків температури, встановлених в нагрівній порожнині котла та в патрубку для видалення продуктів згорання.

Висновки.

1. Для досліджуваного котла КГВ 20 з теоретичною тепловою потужністю $P_{\text{к}}=20 \text{ кВт}$ питомий вміст СО $v_{\text{СО}}=216 \text{ мг}/\text{м}^3$ набуває мінімальних значень при загальній подачі повітря в топку котла $V_{\text{заг}}=0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$, що на 4 % нижче, ніж встановлено теоретично, при цьому котел розвиває максимальну дійсну теплову потужність $P_{\text{кд}}=16,6 \text{ кВт}$ із ККД $\eta_{\text{к}}=82,8 \%$.

2. Запропоновано котли для спалювання рослинної біомаси з використанням удосконаленої конструкції розсіювача повітря, що дозволяє збільшити площу горіння палива із збереженням стабільної подачі повітря в зону утворення генераторного газу, а також забезпечити ефективне спалювання горючих газів за рахунок подачі додаткового повітря в камеру згорання котла, та дає можливість на 19% підвищити віддачу тепла в порівнянні із прямим спалюванням соломи.

Література

1. Енергоавтономність виробництва на основі біологічних видів палива / Молодик М.В., Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Рубан Б.О., Вірьовка М.І. // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 11. – С. 39-44.
2. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетука, Т.А. Железна, Б.Ю. Матвеев, М.М. Жовнір // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, №2. – С. 85-93.
3. Новітні технології біоенергоконверсії: монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетука, І.П. Григорюк [та ін.]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
4. Гелетука Г.Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Г.Г. Гелетука, Т.А. Железная // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3-11.
5. Evald A., Larsen M.G. Experiences from 61 Straw-Fired District Heating Plants in Den-mark // Ibid. - Vol. 1. - P. 211-216.
6. Mosbech H., Jakobsen K. Possibilities and Limitations for Biomass as a Means of CO2 Reduction in the Danish Heat and Power Production // Ibid. – Vol. 3. – P. 1748-1753.

7. Дубровин В. Сельхозпроизводство как источник энергии / В. Дубровин, М. Мельничук, В. Мироненко // *Зерно*. – 2006. – № 2. – С. 76–81.
8. Переходько О.Я., Голуб Г.А.; Дубровин В.А.; Димитрев О.Н., Кухарець С.М. Котел водогрійний для спалювання рослинної біомаси: Патент на винахід №96243. Україна. МПК F24H 1/10, F23B 60/00. – Заявка № а201310034; заяв. 12.08.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. №8. – 6с.
9. Голуб Г. А. Ефективність використання котлів із верхнім горінням для спалювання соломи / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. Я. Переходько // *Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. – 2014. – Вип. 11 (26). – С. 28–32.
10. Кухарець С. М. Обґрунтування основних параметрів котлів із верхнім горінням / С. М. Кухарець // *Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. – 2014. – Вип. 196, Ч. 2. – С. 238–250.
11. Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від котлів комунального сектору потужністю менше 50 мВт. Методика визначення. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2005. – 18 с.
12. *Теплотехніка: підручник*. (за ред. Б.Х. Драганова). – 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.

Аннотація

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния параметров котлов с верхним горением на эффективность сжигания растительной биомассы. С помощью исследовательской установки котла с верхним горением установлено влияние расхода воздуха на состав продуктов сгорания на выходе из котла и на фактическую тепловую мощность.

Summary

The results of experimental studies of the boilers parameters with upper combustion effect on efficiency of burning biomass. With pilot plant boiler with upper combustion air flow influence on the composition of the combustion products leaving the boiler and the actual heat output is defined.