

УДК 620.95

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОТЛІВ ІЗ ВЕРХНІМ ГОРІННЯМ

Г. А. Голуб, доктор технічних наук, професор

С. М. Кухарець, кандидат технічних наук, доцент

О. Я. Переходько, інженер

В. М. Хрус, аспірант

В. В. Чуба, асистент

*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 із верхнім горінням встановлено вплив витрати повітря на склад продуктів згоряння на виході із котла та на фактичну теплову потужність*

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

**Постановка 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 при спалюванні рослинної біомаси виникають деякі труднощі, пов'язані із 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: першу - утворення генераторного газу та другу - 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.

**Формулювання цілей статті.** За допомогою дослідної установки котла із верхнім горінням впливу встановити витрати повітря  $V_{зас}$  на склад продуктів згоряння на виході із котла та на фактичну теплову потужність  $P_{кд}$ .

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для проведення досліджень, щодо впливу параметрів котлів із верхнім горінням на енергетичну ефективність спалювання, було використано нами розроблений котел КГВ 20 (рис. 1), оснащений електронною системою керування на базі мікропроцесорного пристрою АТОС. 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. При проведенні досліджень змінювалась подача повітря в топку котла від 0,0015 до 0,04 м<sup>3</sup>/с.



Рис. 1. Дослідна установка для встановлення енергетичної ефективності котлів із верхнім горінням:

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

Витрата повітря котлом та його температура визначалась за допомогою анемометр-термометра СЕМ ДТ 620. Склад димових газів визначався за допомогою газоаналізатора ОКСІ 5М.

Викид СО оцінювався згідно методики вмісту забруднюючих речовин у димових газах котлів [11] за питомим вмістом СО у викидах котла та за специфічним показником емісії:

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

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

Дійсна теплова потужність котла визначалась згідно [12] за формулою:

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

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

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

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

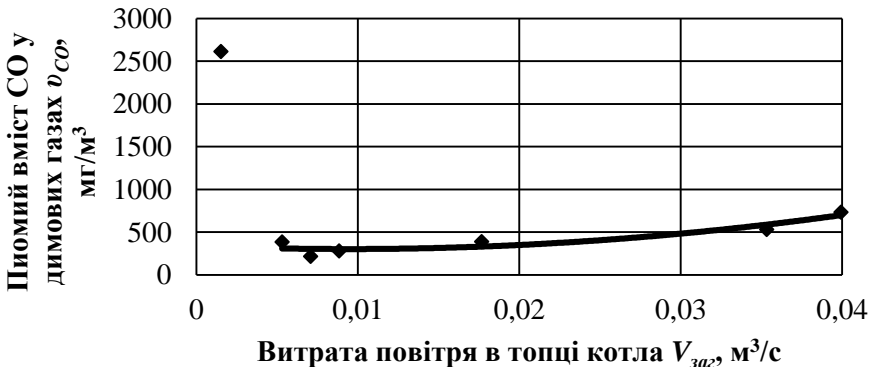


Рис. 2. Дослідна залежність питомого вмісту СО  $v_{CO}$  у димових газах від загальної подачі повітря  $V_{заг}$  в робочі області котла

Із аналізу отриманих даних, випливає, що питомий вміст СО 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 ( $k_{CO} \leq 7,9 \frac{г}{гДж}$ ,

рис. 3), так як 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  $v_{CO}=216 \text{ мг/м}^3$  набуває при загальній подачі повітря в топку котла  $V_{заг}=0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$ , що на 4 % нижче ніж встановлено теоретично.

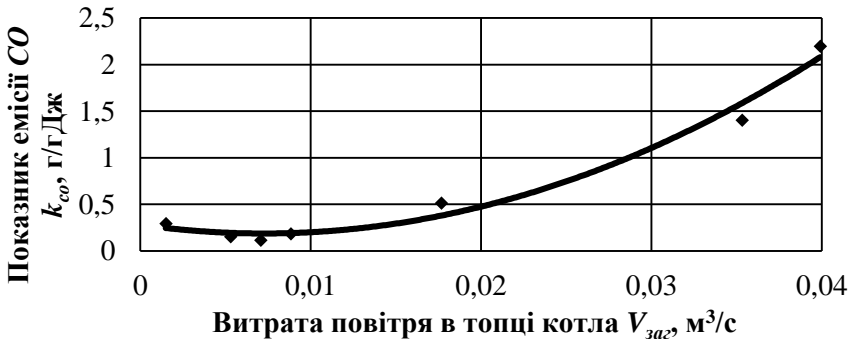


Рис. 3. Залежність показника емісії CO  $k_{CO}$  у димових газах від загальної  $V_{заг}$  подачі повітря в робочі області котла

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

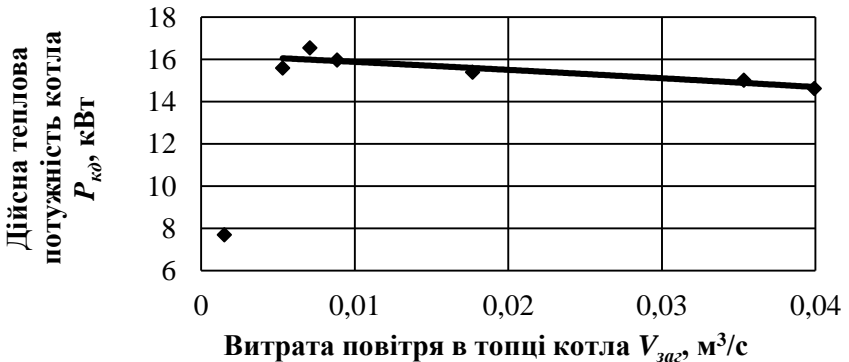


Рис. 4. Залежність теплової потужності котла  $P_{кд}$  від загальної  $V_{заг}$  подачі повітря в робочі області котла

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:

$$P_{к0} = -98,685V_{зас}^2 - 34,772V_{зас} + 16,243; \quad (4)$$

Аналіз рівняння 4. та графіка на рис. 4 дозволяє зробити висновок, що максимальну теплову потужність  $P_{к0}=16,6 \text{ кВт}$  котел КГВ 20 із верхнім горінням розвиває при подачі повітря в топку на рівні  $V_{зас}=0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$ , а ККД при цьому становить  $\eta_k=82,8 \%$ .

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 АТОС та датчиків температури, встановлених в нагрівну порожнину котла, та вмісту СО в димових газах, встановлених в патрубках для видалення продуктів згорання.

**Висновки з даного дослідження.** 1. Для досліджуваного котла КГВ 20 із теоретичною тепловою потужністю  $P_k=20 \text{ кВт}$  питомий вміст СО  $v_{CO}=216 \text{ мг}/\text{м}^3$  набуває мінімальних значень при загальній подачі повітря в топку котла  $V_{зас}=0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$ , що на 4 % нижче ніж встановлено теоретично, при цьому котел розвиває максимальну дійсну теплову потужність  $P_{к0}=16,6 \text{ кВт}$  із ККД  $\eta_k=82,8 \%$ .

2. Пропоновані котли для спалювання рослинної біомаси за рахунок використання 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, дозволяють на 19% підвищити віддачу тепла в порівнянні із прямим спалюванням соломи.

### Бібліографічний список

1. Енергоавтономність виробництва на основі біологічних видів палива / Молодик М.В., Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Рубан Б.О., Вільовка М.І. // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 11. – С. 39-44.
2. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железна, Б.Ю. Матвеев, М.М. Жовнір // Пром. теплотехніка. – 2006. - Т. 28, №2. – С. 85-93.
3. Новітні технології біоенергоконверсії: монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк [та ін.]. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
4. Гелетуша Г.Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железная // Экологические 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 CO<sub>2</sub> 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; Заявлено 12.08.2013; Опубліковано 25.04.2014, Бюл. №8. – 6 с.

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.

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

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.