

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ТЮКІВ СОЛОМИ

Вінницький національний технічний університет¹
ПП «Зерносвіт»²

В роботі проведено експериментальні дослідження показників роботи теплогенератора для спалювання тюків соломи потужністю 1500 кВт. Проведено порівняння розрахункових і експериментальних даних по температурі димових газів на виході з теплообмінника котла з врахуванням коефіцієнта забруднення поверхні $\psi=1$, $\psi=0,9$, $\psi=0,8$. Результати розрахунку показали, що розходження між розрахунковими і експериментальними значеннями температур газів на виході з котла при $\psi=1$ становлять 8...16 %, при $\psi=0,9$ розходження становлять 4...13,8 %, при $\psi=0,8$ – 2,1...16,6 %. Запропоновано особливості розрахунку теплогенераторів на соломі.

Ключові слова: водогрійний котел, солома, температура відхідних газів, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт надлишку повітря.

Вступ

Потенціал біомаси, доступний для виробництва енергії в Україні становить від 25 до 35 млн т.у.п. в рік. Основні його складові – солома, відходи сільського господарства, енергетичні культури, деревина та її відходи [1]. Одним із завдань Енергетичної стратегії України до 2035 року є ліквідація критичної залежності України від поставок енергоресурсів з монопольних джерел, підвищення рівня енергетичної безпеки шляхом диверсифікації маршрутів та джерел енергозабезпечення національної економіки, а також збільшення використання біомаси для виробництва енергії до 13,1 млн. т. н.е. [2]. Стратегією планується зростання частки відновлювальної енергетики до рівня 20% у валовому кінцевому енергоспоживанні Як зазначено в роботі іноземних авторів [3] спалювання біомаси окрім економічного ефекту, призводить до забруднення навколишнього середовища. Тому для підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки такого обладнання, потрібні надійні методи його проектування. В сучасній технічній літературі, в тому числі в Нормативному методі теплового розрахунку котлоагрегатів немає методів розрахунку котлів на альтернативних видах палива, зокрема соломі. Аналіз чисельної літературної інформації та Internet джерел показав, що експериментальні дослідження енергетичних та екологічних показників котлів для спалювання соломи практично не проводяться. Такі дослідження проводяться за кордоном, але практичних рекомендацій по проектуванню котлів на соломі в іноземних публікаціях немає.

Метою даної роботи є аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень показників роботи повітряного теплогенератора для спалювання тюків соломи.

Основна частина

В роботі [4] нами наведено результати досліджень показників роботи теплогенератора потужністю 1500 кВт на соломі. Котел для спалювання тюків соломи потужністю 1500 кВт розташований на території зернокомплексу на одному з підприємств Вінниччини. Теплогенератор призначений для нагрівання повітря, що надходить в сушарку зернокомплексу. В даній роботі [4] нами описано конструкцію теплогенератора, методику проведення експерименту, описано принцип роботи повітряного теплогенератора, дано рекомендації по розрахунку теплообміну в топці.

Авторами проведено дві серії експерименту. Першу серію експерименту проведено при запуску котла з холодного стану. Другу серію при безперервній тривалій роботі котла. Результати другої серії експерименту наведено в роботі [4].

Протягом експерименту вимірювались такі параметри: температура повітря на виході з теплообмінника котла; температура води на виході з сорочки охолодження топки; температура

газів на виході з котла. Перші два параметри вимірювались автоматично і виводились на дисплей пульта управління. Температура димових газів на виході з теплообмінника під час експерименту вимірювали за допомогою ртутного термометра з ціною поділки 5 °С. Температуру газів на виході з топки в першій серії експерименту виміряно не було. Для визначення витрати повітря на горіння, у коробі, по якому надходило повітря за допомогою термоанемометра виміряно швидкість та температуру. Швидкість повітря в коробі становила 14,8 м/с. Виміряно також поперечний переріз коробу. Теплообмінник котла виконано з труб внутрішнім діаметром 78 мм з площею поверхні нагріву 136 м². В топці котла є два ряди отворів для подачі повітря на горіння. Площа поверхні стін топки 23,3 м². Витрата повітря на котел становила 36000 м³/год.

Оскільки для процесу сушіння зерна потрібна стабільна температура повітря на рівні 120...130 °С, необхідне безперервне спалювання соломи. Це забезпечується конструкцією котла, що складається з двох топок та спільного теплообмінника. В кожну топку завантажуються два тюка масою по 300 кг кожен. Запалюється паливо в одній топці, досягається необхідна температура повітря на виході з теплообмінника. Після того, як по мірі вигорання соломи, температура теплоносія починає знижуватись, запалюється паливо в другій топці.

На рисунку 1 показано зміну температури повітря на виході з теплообмінника при запуску котла з холодного стану. Заміри проведено через 10 хвилин після початку експерименту. Через 30 хв повітря прогрілось до 120 °С. Після різкого зниження температури до 93 °С, було запалено солому в другій топці. Експеримент розпочато о 15 год 8 хв, о 17 год солома в обох топках вигоріла.



Рисунок 1 – Зміна температур повітря на протязі експерименту при запуску котла з холодного стану

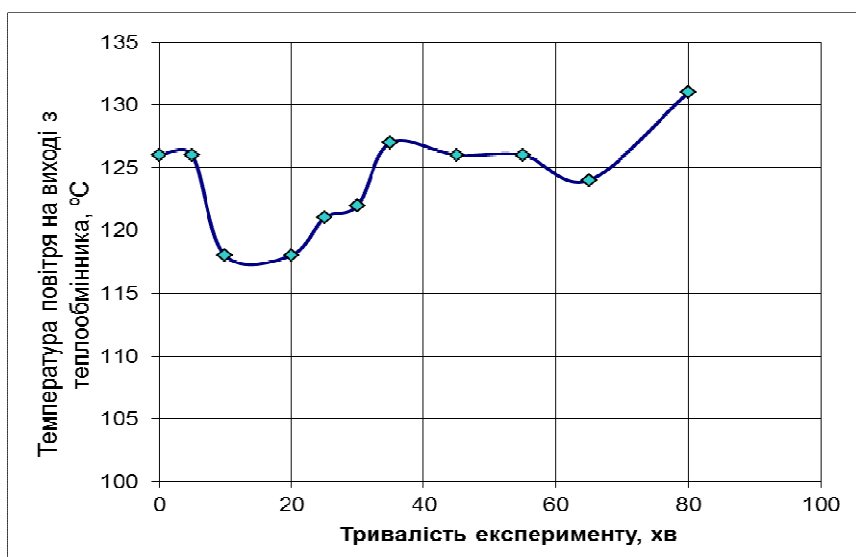


Рисунок 2 – Зміна температур повітря на протязі експерименту в умовах сталого безперервного горіння

На рисунку 2 наведено температурний рівень повітря на виході з теплообмінника котла при тривалій безперервній роботі котла і при періодичному завантаженні тюків соломи (результати другої серії експерименту [4]). За таких умов забезпечуються відносно сталі показники нагріваного повітря.

Для теплового розрахунку теплогенератора створено математичну модель, яку реалізовано в Microsoft Excel. Під час побудови математичної моделі, використано рекомендації, розроблені авторами в [5].

Складністю розрахунку теплогенераторів призначених для спалювання тюків соломи є те, що вони працюють в нестаціонарному режимі. Під час теплового розрахунку теплогенератора нами прийнято спрощення, що паливо вигорає рівномірно, тобто за однакові проміжки часу горить одна й та сама кількість соломи. Оскільки димові гази з обох топків надходять в різній кількості (залежно від кількості палива, що там горить) і з різною температурою в спільний теплообмінник, але, при цьому забезпечується необхідний температурний рівень нагріваного повітря (рис. 2), то в розрахунках прийнято, що солома горить безперервно в одній топці. На рисунку 3 наведено порівняння експериментальних та розрахункових значень температур димових газів на виході з котла.

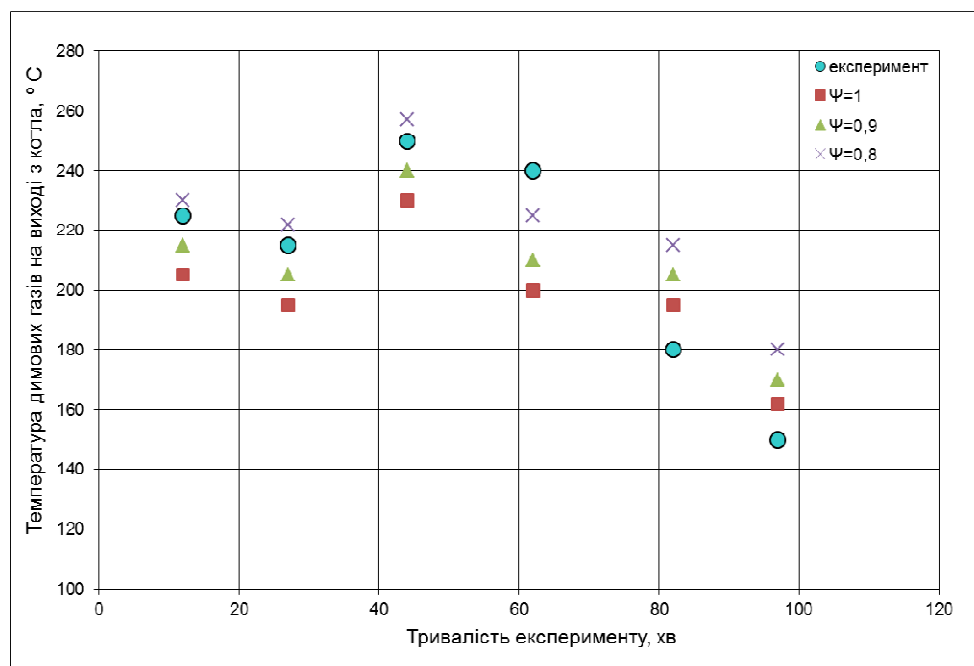


Рисунок 3 – Зміна температури димових газів на виході з теплообмінника котла протягом експерименту

Швидкість димових газів в теплообміннику котла становила 4,47 ...5,85 м/с, критерій Рейнольдса 8800...9480. Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі з боку газів використано формулу Міхєєва М. А. [6]

$$Nu_{dp} = 0,021 \cdot Re_{dp}^{0,8} \cdot Pr_p^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_1$$

Розрахунки проведено для різних значень коефіцієнтів, що враховують зниження тепловіддачі через забруднення поверхні нагріву $\psi=1$, $\psi=0,9$, $\psi=0,8$. Слід зазначити, що при спалюванні соломи теплообмінні поверхні швидко забруднюються легкою золою, що призводить до зниження температури повітря, що надходить на сушарку. Тому в процесі експлуатації котла доводиться часто зупиняти котел для чищення теплообмінника.

Результати розрахунку показали, що розходження між розрахунковими і експериментальними значеннями температур газів на виході з котла при $\psi=1$ становлять 8...16 %, при $\psi=0,9$ розходження становлять 4...13,8%, при $\psi=0,8$ 2,1...16,6%. Найбільші відхилення між експериментальними і розрахунковими значеннями температури спостерігається на останніх хвилинах експерименту, коли паливо в обох топках догорало. Слід зазначити, що режим руху в теплообміннику котла перехідний. Для такого режиму, як зазначено в роботі [5] надійних залежностей для розрахунку критерія Нуссельта немає.

Температура димових газів на виході з топки визначалась розрахунковим шляхом. Експериментальні дослідження [4] показали, що розходження між експериментальними і розрахунковими значеннями температури газів на виході з топки становить -11,9%...17,34%. Похибка у визначенні температури на виході з топки впливає на результати розрахунку теплообмінника. Такі розходження пов'язані з відсутністю даних про елементарний склад соломи пшениці (для розрахунків взято середньостатистичні показники), відсутністю нормативної документації для теплового розрахунку теплогенераторів на альтернативних видах палива. Незважаючи на зазначені особливості, як показали отримані результати, закладені спрощення в математичну модель котла, і запропоновані особливості розрахунку топки [4] цілком правомірні.

Висновки

В роботі проведено експериментальні дослідження показників роботи котла для спалювання туків соломи проектною потужністю 1500 кВт. Проведено порівняння розрахункових і експериментальних даних по температурі димових газів на виході з теплообмінника котла з врахуванням коефіцієнта забруднення поверхні $\psi=1$, $\psi=0,9$, $\psi=0,8$. Результати розрахунку показали, що розходження між розрахунковими і експериментальними значеннями температур газів на виході з котла при $\psi=1$ становлять 8...16 %, при $\psi=0,9$ розходження становлять 4...13,8%, при $\psi=0,8$ – 2,1...16,6%. Найбільші відхилення між експериментальними і розрахунковими значеннями температури спостерігається на останніх хвилинах експерименту, коли паливо в обох топках догорало. Такі розбіжності пов'язані з недостатністю початкових даних для розрахунку (складу палива), а також нормативної документації для теплового розрахунку теплогенераторів на альтернативних видах палива.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Железная Т. А. Комплексный анализ технологий производства энергии из твердой биомассы в Украине / Т. А. Железная, О. И. Дроздова // Теплоэнергетика. – 2014. – №4. – с. 16-20.
2. Енергетична стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf
3. Hardy T. Negative effects of biomass combustion and co-combustion in boilers/ T. Hardy, A. Musialik-Piotrowska. J. Ciolek// Environment protection engineering. – 2012. – №1. – с. 25-33.
4. Боднар Л. А. Експериментальні дослідження показників роботи теплогенератора потужністю 1500 кВт на соломі // Л. А. Боднар, Д. В. Степанов, Р. В. Сливко/ Наукові праці Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс] – 2017. – №1. – <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/497/494>.
5. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 151
6. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. Изд. 2-е, М. : Энергия, 1977. – 344 с.

Боднар Лілія Анатоліївна – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

Сливко Роман Володимирович – інженер ПП «Зерносвіт»

L. A. Bodnar¹

R.V. Slivko²

STUDY OF INDICATORS OF THERMAL GENERATOR WORK FOR BURNING STRAW BALES

Vinnitsia National Technical University¹
PE Zemosvit²

In the work, experimental studies of the performance indicators of a heat generator for the combustion of straw bales with a power of 1500 kW were carried out. A comparison of calculated and experimental data on the temperature of flue gases at the output of the boiler heat exchanger, taking into account the surface contamination coefficient $\psi=1$, $\psi=0,9$, $\psi=0,8$. The results of the calculation showed that the differences between the calculated and experimental values of the gas temperatures at the exit from the boiler at $\psi=1$ are 8 ... 16%, with $\psi=0,9$, the differences are 4 ... 13,8%, with $\psi=0,8$ – 2,1 ... 16,6%. The features of calculating heat generators on straw are proposed.

Key words: hot water boiler, straw, exhaust gas temperature, efficiency, air excess ratio.

Bodnar Lilia – Ph.D, associate professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University.

Slyvko Roman – engineer PE Zernosvit.

Л. А. Боднар¹

Р. В. Сливко²

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТЮКОВ СОЛОМЫ

Винницкий национальный технический университет¹
ЧП «Зерносвіт»²

В работе проведены экспериментальные исследования показателей работы теплогенератора для сжигания тюков соломы мощностью 1500 кВт. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по температуре дымовых газов на выходе из теплообменника котла с учетом коэффициента загрязнения поверхности $\psi = 1$, $\psi = 0,9$, $\psi = 0,8$. Результаты расчета показали, что различия между расчетными и экспериментальными значениями температур газов на выходе из котла при $\psi = 1$ составляют 8 ... 16%, при $\psi = 0,9$ различия составляют 4 ... 13,8%, при $\psi = 0,8$ – 2,1 ... 16,6%. Предложено особенности расчета теплогенераторов на соломе.

Ключевые слова: водогрейный котел, солома, температура отходящих газе, коэффициент полезного действия, коэффициент избытка воздуха.

Боднар Лилия Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики Винницкого национального технического университета.

Сливко Роман Владимирович – инженер ЧП «Зерносвіт».