



ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 621.18

ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ПОТУЖНІСТЮ 100 кВт ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ СОЛОМИ

*Боднар Лілія Анатоліївна к.т.н., доцент**Робак Михайло Григорович студент**Головко Анна Олександрівна студентка**Вінницький національний технічний університет***Bodnar L.****Robak M.****Golovko A.***Vinnitsia National Technical University*

Анотація: в роботі розроблено конструкцію водогрійного котла потужністю 100 кВт для спалювання соломи, досліджено вплив інтенсификаторів теплообміну на температуру відхідних газів, проаналізовані показники роботи котла на частковому навантаженні, досліджено вплив зниження навантаження котла на температуру стінки та можливість конденсації водяної пари та оксидів сірки в теплообміннику.

Ключові слова: водогрійний котел, солома, спалювання, інтенсифікація теплообміну, температура точки роси.

Вступ

Україна має значний потенціал розвитку біоенергетики. Це обумовлено особливостями клімату, потенціалом аграрного сектору. Як зазначено в "Енергетичній стратегії України до 2030 року" [1] частка відновлювальної енергетики в енергетичному секторі до 2030 року повинна становити 20 %. Використання біомаси, біопалива до 2030 року може сягнути 13,1 млн. т. нафтового еквіваленту. Найбільший енергетичний потенціал в Україні мають такі види біомаси як сільськогосподарські культури, дрова та відходи деревини, торф, рідкі види палива з біомаси, тверді побутові відходи, біогаз.

Реалізація наявного потенціалу ускладнюється нерозвиненістю інфраструктури та сировинної бази, необхідних для забезпечення безперервних поставок сировини, низьким рівнем розвитку галузей-постачальників устаткування, а також малим обсягом генерації кожного окремого об'єкта.

Як показано в роботі [2] в Україні досить мало вітчизняних виробників котлів для спалювання соломи, а закордонні виробники на ринку опалювального обладнання представлені в основному польськими і чеськими виробниками. В сучасній вітчизняній технічній літературі немає публікацій присвячених розробці водогрійних котлів малої потужності для спалювання соломи. Тому тематика статті є **актуальною**.

Мета роботи – розробка водогрійного котла потужністю 100 кВт для спалювання соломи, числові дослідження показників роботи котла з інтенсификаторами теплообміну та на частковому навантаженні.

На рисунку 1 показаний розроблений водогрійний котел [3]. У таблиці 1 наведені технічні характеристики водогрійного котла. На базі даної конструкції ведеться розробка котла потужністю 500 кВт.

Таблиця 1

Технічні характеристики котла

Технічні характеристики	Значення
Потужність номінальна, кВт	100
Розміри котла:	
Висота, мм	1830
Ширина, мм	1237
Довжина, мм	1100
Об'єм топки котла, м ³	0,76
Завантаження палива, кг/час	29,2
Необхідна висота димової труби, м	15
Температурний графік води, °С	90/70
Проектний ККД котла, %	85
Маса котла без води, кг	805



Опис принципу дії котла наведено в патенті на корисну модель [3].

Для дослідження характеристик розробленого котла в MSExcel реалізована математична модель, розроблена авторами [4]. Виконано розрахунок котла при спалюванні соломи на різних навантаженнях та досліджено вплив інтенсификаторів теплообміну у вигляді скрученої стрічки на температуру відхідних газів.

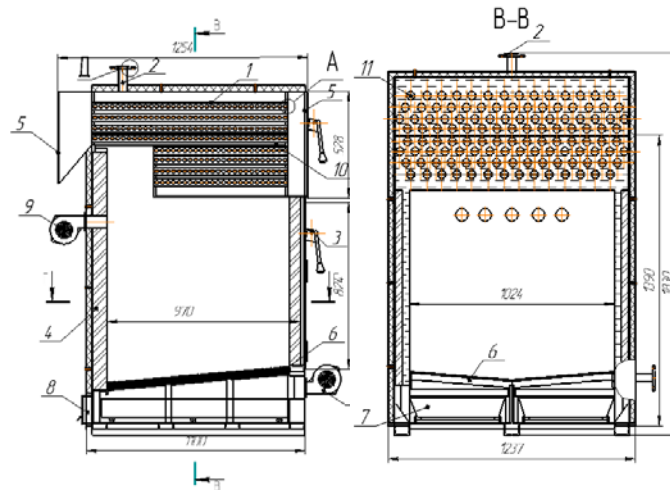


Рис. 1. Водогрійний котел: 1 – газотрубний теплообмінник; 2 – фланець; 3 – дверцята; 4 – обмурівка; 5 – люк для чищення труб; 6 – колосникова решітка; 7 – накопичувач золи; 8 – люк для видалення золи; 9 – вентилятор; 10 – пластина; 11 – інтенсифікатор

Залежності для розрахунку інтенсифікованого теплообміну взято з [5]. Результати розрахунків показані на рисунку 2.

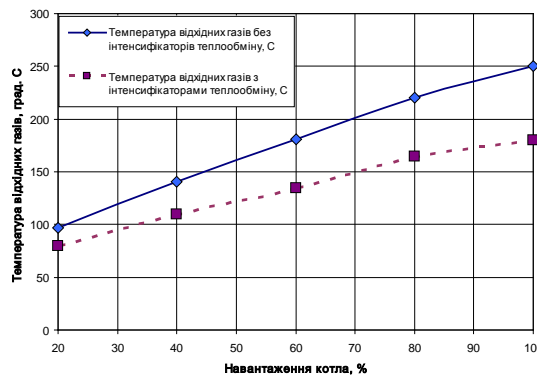


Рис. 2. Дослідження впливу інтенсифікації теплообміну на температуру відхідних газів при різних навантаженнях котла

Як показали результати досліджень, за допомогою інтенсифікаторів теплообміну у вигляді скрученої стрічки можна досягти зниження температури відхідних газів на 20 – 70 °С.

Досить часто виробники в рекламних матеріалах вказують, що їхні котли працюють на декількох видах палива. Нами проведені числові дослідження показників роботи котла на таких видах палив як солома, деревина, вугілля.

Склад палива, взятий для розрахунків, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Робочий склад палив								
Паливо	W^p , %	C^p , %	N^p , %	H^p , %	S^p , %	O^p , %	A^p , %	$Q_{в.р.}$, МДж/кг
Солома	10	40,43	0,52	5,86	0,11	39,48	3,6	15,23
Вугілля	10	49	1,1	3,3	2,8	5	28,8	19,48
Деревина	25	44,65	0,3	4	0,05	25	1	15,94

На рисунку 3 показано зміну температури газів на виході з топки та на виході з



теплообмінника при різних навантаженнях котла.

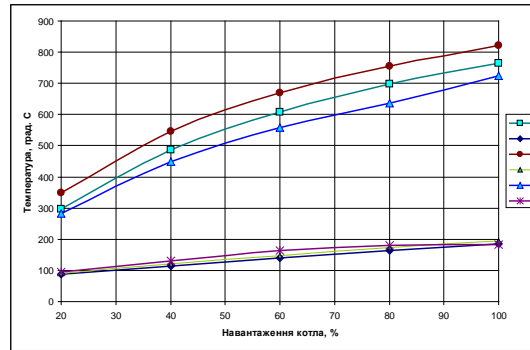


Рис. 3. Залежність температури димових газів на виході з топки та теплообмінника від навантаження котла: 1, 3, 5 – температура димових газів на виході з топки при спалюванні соломи, відходів деревини, вугілля, відповідно; 2, 4, 6 – температура димових газів на виході з теплообмінника при спалюванні соломи, відходів деревини, вугілля, відповідно

Нами досліджено вплив навантаження котла на температуру стінки газотрубного теплообмінника та температуру точки роси при спалюванні в котлі соломи, деревини, вугілля. Для надійної роботи котла температура стінки теплообмінника повинна бути вища за температуру точки роси. Оскільки до робочого складу палив в незначній кількості входить сірка, це може спричинити корозію поверхні теплообміну. Всі розрахунки проведені для котла з інтенсифікацією теплообміну.

Огляд літературних джерел показав, що інформації по визначенню температури точки роси при спалюванні біопалива немає. Тому нами взята методика розрахунків для твердих видів палив [6]. Температуру точки роси продуктів згорання твердих палив можна визначити за емпіричною залежністю (1) [6]. В мінеральному складі твердих палив містяться лужні сполуки, які в значній кількості нейтралізують утворені оксиди сірки SO_3 , тому кінцевий вміст SO_3 у відхідних газах і температура точки роси залежать від зольності палива A^p . В цьому випадку визначають спочатку температуру точки роси

$$t_p = t_{\text{конд}} + 202(S^n)^{0,33} / 1,23^{a_{\text{ш}} \cdot A^n} \quad (1)$$

де S^n , A^n – приведені до 1 МДж теплоти значення сірки і золи в робочій масі палива, %:

$$S^n = S^p / Q_n^p; \quad A^n = A^p / Q_n^p;$$

$t_{\text{конд}}$ – температура конденсації водяних парів, °С, визначається по парціальному тиску $P_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot P$, МПа. Як показали розрахунки, температура конденсації водяних парів для соломи заданого складу становить 52 °С, відходів деревини – 50,6 °С, вугілля – 41,5 °С.

Результати досліджень наведені на рисунку 4.

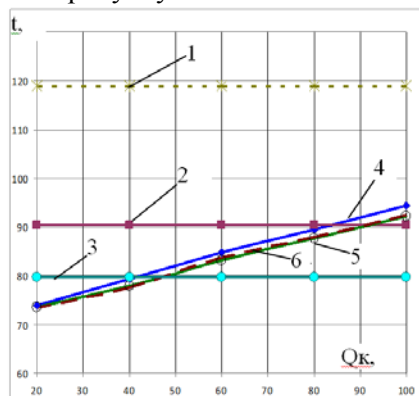


Рис. 4. Вплив навантаження котла на температуру стінки газотрубного теплообмінника на часткових навантаженнях: 1 - температура точки роси при спалюванні вугілля; 2 - температура точки роси при спалюванні соломи 3 - температура точки роси при спалюванні деревини; 4 - температура стінки теплообмінника при спалюванні соломи; 5 - температура стінки теплообмінника при спалюванні вугілля; 6 - температура стінки теплообмінника при спалюванні деревини



Як показали розрахунки, при навантаженні 80 – 100% середня температура стінки газотрубного теплообмінника вище температури точки роси, що виключає конденсацію оксидів сірки в теплообміннику. Спалювання вугілля в такому котлі небажане, оскільки на всьому діапазоні зміни навантаження температура точки роси вище температури стінки теплообмінника. Для деревини діапазон надійної роботи становить 50 – 100% від номінального навантаження (100 кВт). Це пояснюється тим, що в складі деревини вміст сірки і золи найменший. В соломі за даними [7] сірка присутня в кількості до 0,2%. Для всіх розрахунків середня температура стінки вища за температуру конденсації водяних парів, що виключає їх конденсацію в котлі.

Висновки

У зв'язку зі значною залежністю України від імпортованих енергетичних ресурсів використання соломи для виробництва теплової енергії є досить перспективним. В роботі розроблена конструкція водогрійного котла для спалювання соломи потужністю 100 кВт. На базі цієї конструкції ведеться розробка котла потужністю 500 кВт. Виконано розрахунок котла на різних навантаженнях. Досліджено вплив інтенсифікаторів теплообміну на температуру відхідних газів з котла. Показано, що за допомогою інтенсифікаторів можна знизити температуру відхідних газів на 20 – 70 °С. Досліджено також вплив навантаження котла на температуру точки роси і температуру стінки газотрубного теплообмінника при спалюванні в котлі соломи, вугілля, деревини. Показано, що при навантаженні 80 – 100% температура стінки вище температури точки роси, що виключає конденсацію оксидів сірки в теплообміннику. Спалювання вугілля в такому котлі небажано, оскільки на всьому діапазоні зміни навантаження температура точки роси вища за температуру стінки теплообмінника.

Список літератури

1. 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
2. Боднар Л.А. Технічні та екологічні показники водогрійних котлів потужністю до 1 МВт для спалювання соломи // Л.А. Боднар, О.В. Дахновська, Р.Е. Бойчук // Науково-технічний збірник "Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві". – 2015. – №2 – С. 115 – 120.
3. Пат. 102615 України, МПК7 F24Н1/00. Водогрійний котел / Боднар Л.А., Степанов Д.В., Робак М.Г.; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. – № 201504315; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21.
4. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д.В. Степанов, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 151
5. Боднар Л.А. Ефективні методи інтенсифікації теплообміну в круглих каналах / Л.А. Боднар, Д.В. Степанов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3 – С. 73 – 78.
6. Безгрешнов А.Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах. Учебное пособие для вузов / Безгрешнов А.Н. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
7. Перспективи использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Аналитическая Записка БАУ №7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>

References

1. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny do 2030 roku [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf
2. Bodnar L.A. Tekhnichni ta ekolohichni pokaznyky vodohriynykh kotliv potuzhnisty do 1 MVt dlya spalyvannya solomy / L.A. Bodnar, O.V. Dakhnovs'ka, R.E. Boychuk // Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk "Suchasni tekhnolohiyi materialy i konstruksiyi v budivnytstvi". – 2015. – № 2 – S. 115 – 120.
3. Pat. 102615 Ukrayiny, MPK7 F24H1/00. Vodohriynny kotel / Bodnar L.A., Stepanov D.V., Robak M.H.; zayavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskyu nats. tekhn. universytet. – № 201504315; opubl. 10.11.2015, Byul. №21.
4. Stepanov D.V. Enerhetychna ta ekolohichna efektyvnist vodohriynykh kotliv maloyi potuzhnosti. Monohrafiya / D.V. Stepanov, L.A. Bodnar. – Vinnytsya: VNTU, 2011 – 151
5. Bodnar L.A. Efektyvni metody intensyfykatsiyi teploobminu v kruhlykh kanalakh / L.A. Bodnar, D.V. Stepanov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2009. – №3 – S. 73 – 78.
6. Bez-hreshnov A.N. Raschet parovykh kotlov v prymerakh y zadachakh. Uchebnoe posobyie dlya vuzov / Bez-hreshnov A.N. – M. : Enerhoatomyzdat, 1991. – 240 s.
7. Perspektivy yspolzovannya otkhodov selskoho khozyaystva dlya proyzvodstva enerhyy v Ukrayne. Analytycheskaya Zapyska BAU №7 [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: <http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>

ТЕПЛОГЕНЕРАТОР МОЩНОСТЬЮ 100 кВт ДЛЯ СЖИГАНИЯ СОЛОМЫ

Аннотація: в роботі розроблена конструкція водогрійного котла потужністю 100 кВт для сжигання соломи, досліджено вплив інтенсифікаторів теплообміну на температуру отходящих газів, проаналізовані показателі роботи котла на частичній нагрузке, досліджено вплив зниження нагрузки



котла на температуру стенки и возможность конденсации водяного пара и оксидов серы в теплообменнике .

Ключевые слова: водогрейный котел, солома, сжигание, интенсификация теплообмена, температура точки росы.

BOILER 100 kW FOR BURNING STRAW

Summary: the design of boiler capacity of 100 kW for straw, the influence heat intensifiers in the temperature of exhaust gases, analyzed the performance of the boiler at partial load, the influence of reducing the burden boiler wall temperature and the possibility of condensation of water vapor and sulfur oxides in the heat exchanger.

Keywords: hot water boiler, straw combustion, heat transfer intensification, dew point temperature.