УДК 621.18

РАЗРАБОТКА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А., Лысюк И.И., Горобець К.В.

Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина

АННОТАЦИЯ

В данной статье обоснована необходимость широкого использования нетрадиционных энергоресурсов для теплоснабжения. Представлены конструкции котлов малой мощности, которые могут сжигать природный газ, биогаз и древесину. Проведен анализ информации по определению температуры точки росы смол при сжигании древесины. Разработана математическая модель водогрейного котла малой мощности, которая позволяет учесть интенсификацию теплообмена в жаротрубном пучке, режим конденсации смол и водяного пара. Проведены числовые исследования и определены основные показатели работы котла на разных топливах.

ВСТУПЛЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На сегодняшний день Украина обеспечена собственным топливом только на 50 % [1], а цены на импортное топливо постоянно растут. Увеличение энергопотребления в условиях уменьшения запасов топлива может привести к энергетическому кризису. На період до 2020 року предусмотрено значительное расширение использования возобновляемых источников энергии, среди которых самый весомый вклад должно обеспечить использование биомассы в качестве топлива. Перечень этих источников неисчерпаем: дрова и отходы древесины, солома и стебли с/х культур, твердые бытовые отходы, биогаз. Биогаз, получаемый в процессе анаэробного сбраживания гноя и других пригодных для этого органических отходов, является не только возобновляемым источником энергии, но и экологически чистым методом переработки и утилизации этих отходов и превращения их в органическое удобрение. Во время горения биомассы не образуется больше углекислого газа, чем было поглощено растением при жизни, то есть использование биомассы для производства энергии не увеличивает концентрацию углекислого газа в атмосфере Эти факторы свидетельствуют о том, что и биогаз и биомасса является альтернативой традиционным углеводородным энергоносителям, позволяющей уменьшить количество вредных выбросов в окружающую среду. По нашему мнению, одним из перспективных путей использования биогаза и древесины является сжигание в водогрейных котлах с целью получения тепловой энергии. Как показано в работах [2-4] теплогенерирующее оборудования на твердом топливе приобрело широкое распространение в малой теплоэнергетике, особенно для автономного отопления. За исключением работы [5] нами не выявлена информация об исследовании показателей работы котлов малой мощности на биогазе. В отечественной литературе отсутствует также информация о серийном производстве котлов на биогазе. Поэтому целью данной работы является разработка водогрейных котлов малой мощности, которые могут работать на традиционных и альтернативных топливах, что позволит достичь высокой надежности, энергетической и экологической эффективности производства тепловой энергии.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основе систематизации литературной информации по котлам на твердом топливе [2], нормативов [6], собственных разработок [7] и работ Довгаля А. Н. предложены две конструкции водогрейного котла на комбинированных энергоносителях (см. рис.1).

Главным преимуществом таких котлов является то, что они могут работать на разных видах топлива, и при отсутствии одного топлива котел будет работать на другом.

К рассмотрению были приняты конструкции котлов, позволяющие сжигать древесину, природный газ и биогаз.

Конвективные части котлов оборудованы интенсификаторами теплообмена в виде скрученной пластины. Сжигание древесины проводится двухступенчатым способом с предыдущей газификацией. Сначала в загрузочной камере при росте температуры и дефиците кислорода образуется горючий древесный газ, на следующем этапе, в камере дожигания этот газ сгорает при избытке воздуха.

© Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А., Лысюк И.И., Горобець К.В.

Во время проведения расчетов была использована предложенная нами математическая модель, в основном построена на зависимостях Нормативного метода теплового расчета котлоагрегатов [8], с дополнениями, касающимися расчета интенсифицированного теплообмена [9] и некоторыми упрощениями. Ее особенностью является учет таких конструктивных и режимных характеристик котлов малой мощности:

- наличие керамических вставок в топке котла, показанного на рис.1а, учитывается коэффициентом загрязнения, принятым в [8] для случая стен закрытых шамотным кирпичом $\xi = 0,1$;
- ламинарный режим движения дымовых газов;
- для расчета интенсивности теплообмена в жаротрубном пучке с интенсификаторами в виде скрученных пластин использованы зависимости, приведенные в [9].

Числовые эксперименты проведены для обоих котлов при таких начальных данных:

- тепловая мощность котла 32 кВт;
- температура котловой воды 80/60°С;
- элементарный состав древесины, %: Ср = 30,6, Нр = 3,66, Nр = 0,36, Ор = 25,38, Wр = 40%;
- элементарный состав природного газа, %: СН4р = 98,5, С2Н6р = 0,2, С3Н8р = 0,1, Nр = 1, СО2р = 0,2;
- элементарный состав биогаза, %: СН4р = 62, Н2Sр = 0,8, Nр = 0,2, СО2р = 37;
- коэффициент избытка воздуха при сжигании древесины α =1,5, биогаза и природного газа – α = 1,4;
- диаметр труб в пучке для котла на рис.1а – d = 56/50 мм, а на рис.1б – d = 48/42мм;
- в качестве интенсификатора теплообмену в жаротрубном пучке установлены скрученные пластины толщиной 1,5 мм с относительным шагом гиба s/d = 4,2.

Конструктивные размеры жаротрубного пучка определялись по результатам расчета котла на древесине, поскольку температура отходящих газов на этом топливе ограничена возможностью конденсации смол из дымовых газов. Нам не известны украинские нормативы концентрации вредных выбросов для газогенераторных котлов малой мощности. Кроме того, в литературе не найдены сведения о допустимой концентрации смол в дымовых газах таких котлов. Наблюдения за работой газогенераторного котла показали, что при сжигании древесины в котле может откладываться определенное количество смол (в дымовой трубе, в теплообменнике). Известно [10], что в установках газификации твердого топлива, в зависимости от конструкции, концентрация смол в газе может быть разной: 10…100 г/м^3 - для прямого процесса, для обратного процесса – 50…500 мг/м^3 (движение газов вниз через разжаренный плотный слой коксового остатка). Согласно данным [11], при газификации (нисходящее движение газов) стружек древесины (ρ=166 кг/м^3, W^p=11%) выделяется газ с концентрацией смол приблизительно 6 г/м^3, при газификации дров (ρ=256 кг/м^3, W^p=6%) – 3,24 г/м^3, кочанов и стеблей кукурузы (W^p=11%) – 7,24 г/м^3.

На сайте Голландской компании ECN [12, 13] размещена система классификации смол. Она базируется на растворимости смолы в воде и температуры ее конденсации. По данным иностранных исследований [13] смолы по физическим свойствам разделяются на пять классов. В зависимости от класса смолы и ее концентрации в продуктах сгорания, температура точки росы смолы будет разной. Ориентируясь на возможные концентрации смолы в продуктах сгорания [10, 11] и на описание смол [13] нами выделены возможные диапазоны температуры точки росы смолы в котле. В диапазоне от 1000 до 10000 мг/ нм^3, температура точки росы смолы будет составлять 100…135^{0}С. Такая конденсация происходит в объеме дымовых газов. Конструкции газификаторов в котлах, представленных на рис.1, имеют нисходящее движение генераторного газа, поэтому, можно допустить, что температура точки росы смол не будет превышать вышеприведенного диапазона.

Таким образом, температура уходящих газов при сжигании древесины для обеих конструкций котлов на рис.1 принята равной 160°С.

Результаты расчетов показаны на рис.2.

Адиабатная температура для сжигания древесины при условиях вышеприведенных коэффициентов избытка воздуха составляет 1254^{0}С, биогаза - 1490^{0}С, природного газа - 1576^{0}С.

Как можно увидеть на рис.2 самый высокий ККД котла можно получить при сжигании природного газа, поскольку при низких коэффициентах избытка воздуха достигаются самые низкие температуры уходящих газов.

Температуры уходящих газов на природном газе и биогазе находятся в пределах 125…146^{0}С, что отвечает нормативам для котлов на природном газе [6] и позволяет достигать высокой эффективности и надежности работы.

Принципиально разное соотношение температур на выходе из топки котлов на разных топливах объясняется, по нашему мнению, разным качеством охлаждения стенки топки.

ВЫВОДЫ

В условиях нехватки исчерпаемых энергоресурсов необходимо частично или полностью переходить на использование нетрадиционных топлив. В литературных и других источниках информации нами не выявлена информация о разработке и ис-

следовании работы котлов на традиционных и альтернативных энергоносителях.

Используя имеющуюся нормативную базу и собственные разработки, разработаны две конструкции водогрейных котлов малой мощности, которые могут работать как на традиционных, так и на альтернативных топливах.

Проведены числовые исследования работы таких котлов на древесине, биогазе и природном газе с использованием разработанной математической модели. Анализ температуры точки росы смол при сжигании древесины позволил выявить рациональную температуру уходящих газов при сжигании древесины и конструктивные характеристики котла.

Для обеих конструкций температура уходящих газов при сжигании природного газа и биогаза при той же мощности котла оказалась меньшей, чем при сжигании древесины и, соответственно, выше КПД котла. С другой стороны полученные температуры уходящих газов удовлетворяют нормативным значениям.

Использование водогрейных котлов малой мощности на традиционных и альтернативных топливах позволит достичь высокой экономической и энергетической эффективности с обеспечением надежности во время эксплуатации.

Все эти факторы позволяют более широко использовать нетрадиционные источники энергии, уменьшить использование исчерпаемых ресурсов и сократить вредные выбросы в окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоренженко Ю.В. Досвід роботи ТЕО будівництва автономної котельні на відходах деревини підприємства в м. Києві / Ю.В. Хоренженко, В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк // Энергетика та електрифікація. – 2008. – № 5(297). – С. 53 – 59.
2. Степанов Д.В. Тенденції розвитку теплогенерувального обладнання на твердому паливі / Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №3. – С. –.46 – 49.
3. Каталог інноваційних пропозицій в галузі енергозбереження.–Львів: ЛвЦНТЕІ. –2008. – 108 с.
4. Справочник потребителя биотоплива / Под. ред. Виллу Вареса. – Таллинн: Таллиннский технический университет. – 2005. – 183 с. – ISBN 9985-59-586-6.
5. Куріс Ю.В. Підвищення теплотехнічних і екологічних показників спалювання біогазу в теплогенеруючому обладнанні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.06 “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”/ Ю.В.Куріс. – Київ, 2007. – 19 с.
6. Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови: ДСТУ 2326–93. – [Чинний від 1995-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 17 с. – (Державний стандарт України).
7. Пат. 32334 України, МПК[7] F22B33/00, C10J3/00. Енерготехнологічна установка з газогенератором / Ткаченко С.Й., Степанов Д.В., Боднар Л.А., Пішеніна Н.В.; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. – № 200800387; заявл. 11.01.2008.; опубл.12.05.2008, Бюл. № 9.
8. Тепловой расчет котлоагрегатов (нормативный метод). – СПб: НПО ЦКТИ,1998.–256с.
9. Боднар Л.А. Ефективні методи інтенсифікації теплообміну в круглих каналах / Л.А.Боднар, Д.В.Степанов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009 р – № 3 – С.80 – 84.
10. Попов А.В. Управляемый процесс газификации биомассы / А.В.Попов, А.Ф.Рыжков // Промышленная энергетика.–2008– № 1– С. 27 – 31.
11. Biomass gasification. Режим доступу http: // nariphalnan.virtualave.net/gasbook.pdf.
12. www.ecn.nl
13. www.thersites.nl

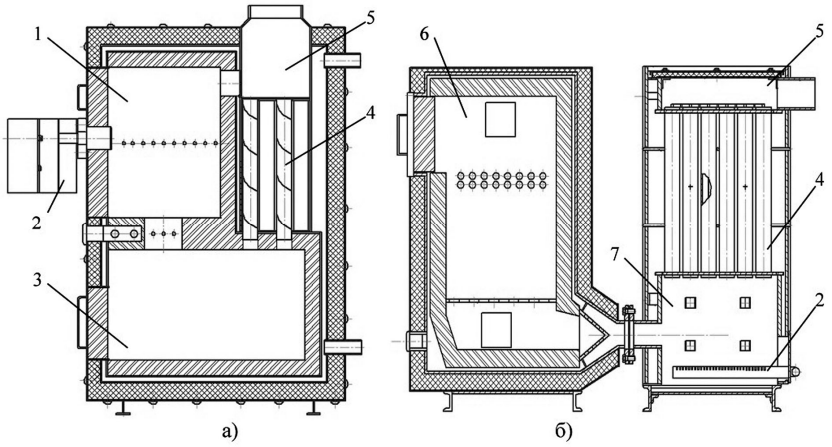

Рис.1. Конструкции водогрейных котлов на традиционных и альтернативных топливах: 1 – камера загрузки; 2 – горелка для газового топлива; 3 – камера дожигания; 4 – жаротрубный пучок с интенсификаторами; 5 – дымоход; 6 – газогенератор; 7 – топка

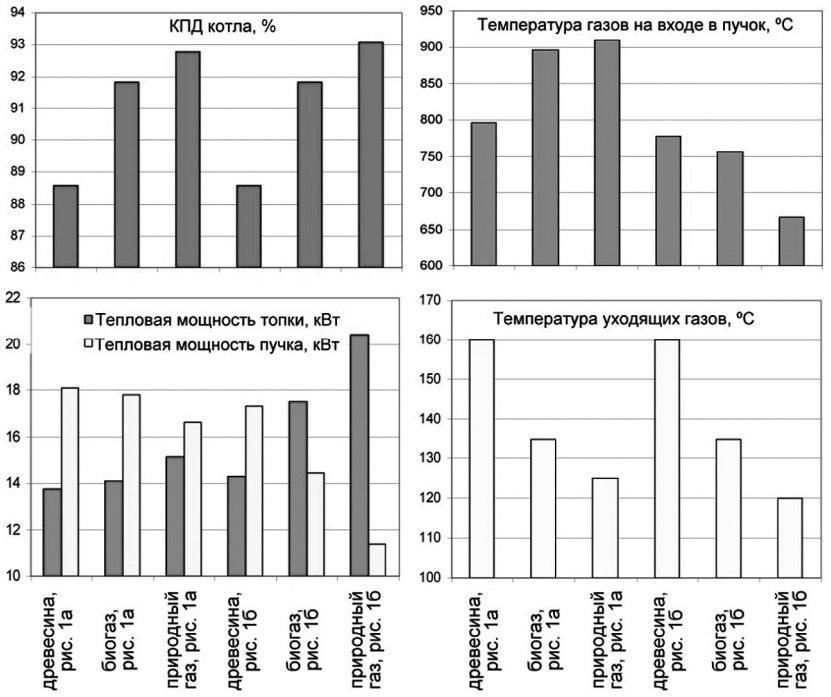

Рис.2. Результаты числовых экспериментов работы котлов, показанных на рис.1, при сжигании древесины, биогаза и природного газа