

УДК 621.18

Л. А. Боднар, к. т. н., доц.; Д. В. Степанов, к. т. н., доц.; А. Н. Довгаль

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 40 КВТ

Проанализированы результаты экспериментальных исследований экологических показателей водогрейного газогенераторного котла на древесине. Сравнены экологические показатели работы котла с действующими стандартами. Приведены рекомендации по совершенствованию конструкции котла.

Ключевые слова: газогенераторный котел, экологические показатели, оксид азота, оксид углерода.

Введение. Постановка задачи

Ежегодное подорожание энергетических ресурсов приводит к необходимости использования возобновляемых источников энергии. Одним из наиболее перспективных видов восстанавливаемых источников энергии для Украины является биомасса: отходы сельского хозяйства, деревообрабатывающей промышленности, древесина. По данным [1], суммарные потенциальные ресурсы отходов древесины, включая кору в лесном хозяйстве и деревообрабатывающих отраслях промышленности, составляют 3743 тыс. м³, что эквивалентно 984 тыс. т. у. т. / год.

Сжигание биомассы, по данным [2], является крупнейшим источником загрязнения атмосферного воздуха. Для эффективного сжигания низкосортных видов топлива существует ряд мероприятий [3].

Наиболее перспективным способом получения тепловой энергии из древесины и ее отходов является термохимическая газификация топлива с последующим дожиганием образованного газа. Котлы, использующие этот принцип, называются газогенераторными. Это относительно новый тип котлов на рынке отопительного оборудования. Такой способ сжигания позволяет существенно повысить тепловую эффективность и управляемость оборудования, а также достичь высокого уровня экологической чистоты.

В отечественной литературе почти не встречаются публикации об исследованиях экологических и энергетических характеристик таких котлов, поэтому тематика статьи **актуальна**.

Целью данной работы является анализ экологических показателей газогенераторного водогрейного котла мощностью 40 кВт для дальнейшего внедрения такого оборудования для теплообеспечения зданий.

Конструктивные особенности котла

Газогенераторный водогрейный котел спроектирован инженером Довгалем А. Н. Наладочные испытания котла проведены в цехе предприятия-производителя.

Топка котла выполнена двухкамерной из стали и керамики. Между камерой загрузки и камерой дожигания расположено сопло для газификации. В сопле находятся отверстия для подачи вторичного воздуха, который подогревают в камере загрузки. Камера дожигания окружена водяной рубашкой и утеплена изнутри керамическим материалом. Продукты сгорания удаляют с помощью вытяжного вентилятора. С помощью вентилятора происходит также регулирование количества поданного воздуха в котел. Котел оснащен автоматическими средствами контроля показателей. Конвективная часть котла состоит из 30 труб диамет-

ром 58/51 и длиной 0,57 м. Нагрузка котла 40 кВт. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

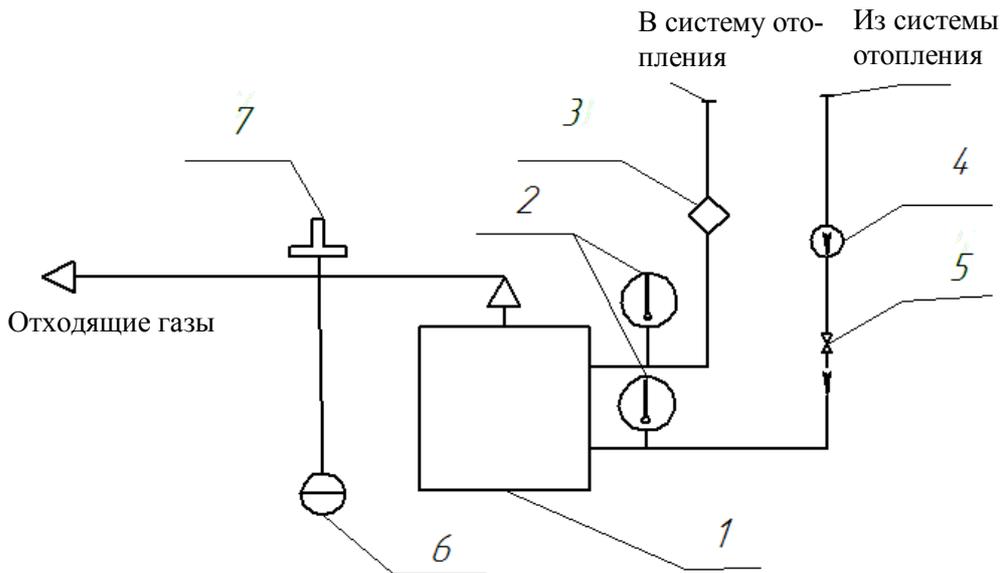


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – котел; 2 – термометры; 3 – тепловой счетчик; 4 – насос системы отопления; 5 – кран; 6 – газоанализатор; 7 – пробоотборник продуктов сгорания

Результаты исследований

Пробы продуктов сгорания отбирались в дымовой трубе на выходе из котла с помощью газоанализатора ОКСИ5М-5. В процессе эксперимента измеряли: температуру отходящих газов; содержание кислорода в отходящих газах; содержание CO, NO, NO₂, NO_x в дымовых газах; температурный режим воды; вес загруженного топлива. В котле сжигали древесину с содержанием влаги не менее 30%. Температурный режим воды – 70/50 °С. КПД котла находился в пределах 82,5 – 84%. Расход топлива – в пределах 18,8 – 19,5 кг / ч.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Температура отходящих газов, °С		197,7	190,3	193	187	196,7	192,9
Содержание кислорода в дымовых газах, %		8,1	8,2	9,3	9,6	10,5	9,1
Температурный режим воды $t_{пр}/t_{обр}$, °С		70/50	70/50	70/50	70/50	70/50	70/50
Содержание CO в дымовых газах, мг/м ³	1	3751,66	4368,75	3128,34	1947,5	3710	3381,2
	2	6115,21	7164,75	5599,73	3583,4	7420	5951
	3	4389,44	5111,44	5111,44	2570,7	5268,2	4490,2
	4	3199	3754,5	2940,6	1879	3886,6	3124
Содержание NO в дымовых газах, мг/м ³	1	247,9	262,64	235,84	244,78	252,82	248,8
	2	404,08	430,73	422,15	450,4	505,64	437,89

Продолжение таблицы 1

	3	290,04	307,29	307,29	323,11	359	317,35
Содержание NO ₂ в дымовых газах, мг/м ³	1	8,88	17,08	15,03	11,62	16,4	13,8
Содержание NO ₂ в дымовых газах, мг/м ³	2	14,47	28,01	26,9	21,38	32,8	24,29
	3	10,39	19,98	19,98	15,34	23,29	17,8
Содержание NO _x в дымовых газах, мг/м ³	1	388,13	418,88	375,83	386,08	403,17	394,42
	2	632,65	686,96	672,74	710,39	806,34	694,18
	3	454,11	490,09	490,09	509,63	572,5	503,28

Примечание. 1 – результаты, полученные в результате эксперимента; 2 – экспериментальные данные, приведенные к $\alpha = 1$; 3 – экспериментальные данные, приведенные к содержанию кислорода в продуктах сгорания 6%; 4 – экспериментальные данные, приведенные авторами статьи к содержанию кислорода в продуктах сгорания 10%.

Анализ полученных результатов

Как отмечено в работе [2], сжиганию топлива присуща сложность процессов и их зависимость от многих факторов, которые трудно поддаются технологическому контролю. Вследствие этого показатели эмиссии могут отличаться в зависимости от типа биомассы, ее состояния перед сжиганием, способа сжигания, тепловой мощности энергоустановки, аэродинамики и смесеобразования в топке, характера теплообмена в топке, реализации первичных и вторичных мероприятий по снижению эмиссии вредных веществ. В установках малой мощности реализуются простые технологии с минимальным уровнем автоматизации процесса горения.

В газогенераторных котлах реализуется принцип двухстадийного сжигания, что способствует уменьшению эмиссии вредных веществ. Для котлов на твердом топливе отечественным стандартом нормируются только выбросы CO [4]. Так, при сжигании антрацита допустимое содержание CO составляет 10000 мг/м³, при сжигании каменного и бурого угля с выходом летучих соединений от 17% до 50% соответственно 46000 мг/м³. Для котлов, работающих на древесине, отечественные стандарты, насколько нам известно, отсутствуют. В стандартах европейских стран нормирование вредных веществ проводится в зависимости от класса котла, типа загрузки топлива (ручное, автоматическое), мощности котла [2, 5]. Кроме того, в разных стандартах нормируются не все вредные вещества. Так, в EN 303-5 [5] для котлов на древесине нормируются только выбросы CO, органически связанного углерода, пыли. Для промышленных котлов в Австрии [2] нормируются выбросы CO, NO_x, летучих органических соединений, твердых частиц. Для котлов малой мощности на биомассе в Дании [2] нормируются только выбросы CO, для котлов от 1 МВт – CO, NO_x, твердых частиц.

В соответствии с нормативами [6, 7] для корректного сопоставления опытных данных, полученных при измерении концентраций вредных веществ в дымовых газах котлов их пересчитывают для следующих условий: содержание кислорода в продуктах сгорания 6%, $\alpha = 1,4$, температура 0 °С, давление 101,3 кПа.

В стандартах европейских стран концентрации вредных веществ приводят при разных содержаниях кислорода в продуктах сгорания. В частности в EN 303-5 данные приведены при содержании кислорода 10%, поэтому нами проведен перерасчет опытных данных для CO с целью сравнения с данными EN 303-5. Как видно из табл. 1, диапазон выбросов CO в течение эксперимента находится в пределах 1879 – 3886,6 мг/м³, а в EN 303-5 для котлов менее 50 кВт с ручной загрузкой топлива норма выбросов CO колеблется от 5000 до 25000 мг/м³ (в зависимости от класса котла). Таким образом, выбросы CO для газогенераторного котла на

древесине значительно меньше, чем европейские нормы.

По данным [4], котлов мощностью до 300 кВт в Австрии норма выбросов CO составляет 4300 мг/м³ (при $\alpha = 1$) а NO_x = 585 мг/м³. Как видно из таблицы 1, содержание CO для условий эксперимента превышает эту норму на 23 – 42%, а NO_x – на 7,5 – 27%.

Предельные показатели эмиссии загрязняющих веществ для котлов ФРГ [2] мощностью от 15 до 50 кВт и содержания кислорода в дымовых газах 13% для CO составляют 4000 мг/м³. В результате эксперимента в пересчете на содержание кислорода в дымовых газах 13% нами получен такой диапазон данных – 1366,7 – 2730 мг/м³.

Следовательно, сравнение экологических показателей работы газогенераторного водогрейного котла мощностью 40 кВт с иностранными стандартами показало соответствие эмиссий вредных веществ действующим европейским стандартам.

Газогенераторные котлы способствуют уменьшению эмиссии загрязняющих веществ, поэтому являются перспективными для внедрения как в промышленности, так и в коммунальном секторе. По нашему мнению, в стандартах следует учитывать тип сжигаемой древесины, ее влажность, также необходимо нормировать содержание смол в дымовых газах, побуждать производителей котлов внедрять современные технологии для эффективного сжигания низкосортных видов топлива.

Для эффективного сжигания топлива и для дальнейшего уменьшения вредных выбросов в продуктах сгорания необходимо совершенствование конструкции котла. Для уменьшения выбросов CO следует оптимизировать систему подачи воздуха в котел. Для этого нужно подкорректировать количество отверстий для подачи воздуха в камеру загрузки для его равномерной подачи. Иностранные производители газогенераторных котлов устанавливают также в камере дожига вторичные излучатели, способствующие уменьшению выбросов CO. Такой опыт следует использовать для совершенствования конструкции экспериментального образца котла, рассматриваемого в данной статье. Установка интенсификаторов теплообмена в газотрубной части котла будет способствовать уменьшению температуры отходящих газов и повышению КПД котла.

Выводы

1. Авторами исследованы экологические показатели работы экспериментального образца газогенераторного водогрейного котла мощностью 40 кВт при работе его на влажной древесине.
2. Показано, что экологические показатели газогенераторного котла при работе на древесине находятся в пределах европейских норм.
3. Для эффективной работы котла можно усовершенствовать систему подачи воздуха в камеру загрузки и сопло для газификации.
4. Полученные результаты являются шагом к дальнейшим исследованиям котлов на биомассе с целью систематизации данных и созданию обоснованных методов расчета газогенераторных водогрейных котлов малой мощности на твердом топливе и широком внедрении таких котлов для теплообеспечения зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халатов А. А. Сжигание и газификация альтернативных топлив / А. А. Халатов, И. И. Борисов, С. Г. Кобзарь и др. // Промышленная теплотехника. – 2006. – № 4. – С. 53 – 63.
2. Жовмир Н. М. Анализ нормативных требований к эмиссии загрязняющих веществ при сжигании биомассы / Жовмир Н. М. // Промышленная теплотехника. – 2012. – № 1. – С. 77 – 86.
3. Проблеми спалювання низькосортних палив в котлах малої потужності [Електронний ресурс] / Л. А. Боднар, С. Й. Ткаченко, О. В. Дахновська // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/2656/2862>.
4. 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).
5. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллин : Таллинский технический университет, 2014 № 4

верситет, 2005. – 183 с.

6. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4 МВт. Общие технические условия. – [Дата введения 2003-01-01]. – Минск, 2003. – 16 с.

7. Установки котельные. Установки, работающие на газообразном, жидком и твердом топливе. Нормы выбросов загрязняющих веществ: СТБ 1626.1-2006. – [Дата введения 2006-07-01]. – Минск, 2006. – 8 с.

Боднар Лилия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики, тел. 598339, Bodnar06@ukr.net.

Степанов Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, тел. 598339.

Довгаль Анатолий Николаевич – инженер.

Винницкий национальный технический университет.