

УДК 621.311.502

ДИАГНОСТИКА ВОДОГРЕЙНОГО АГРЕГАТА ПИРОЛИЗНОГО ТИПА

Братута Э.Г., д.т.н.,

Семеней А.Р., аспирант.*

*Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт»*

Тел.(057)707-63-59

Аннотация – в работе представлены результаты комплексной диагностики водогрейного агрегата на основе теплогенераторопиролизного типа мощностью 900 кВт, использующего в качестве топлива древесные отходы. Установлено, что энерготехнологические и экологические характеристики агрегата соответствуют современным требованиям, а использование агрегата в коммунальной сфере позволяет существенно снизить тариф за горячее водо- и теплоснабжение.

Ключевые слова – водогрейный агрегат, пиролиз, водоснабжение.

Постановка проблемы. В последние годы формирование топливно-энергетического баланса Украины, который соответствовал бы собственным энергезапасам страны, приобрел особую значимость по ряду достаточно известных и широко обсуждаемых причин.

Анализ последних исследований. Наряду с другими видами топлива ресурс возобновляемых источников энергии Украины составляет порядка 78,2 млн. т у.т в год, при этом на долю биоэнергетики приходится около 27%, [1, 2].

Формулирование цели статьи. Для Украины с ее развитым сельским хозяйством значительный объем органических отходов и биомассы различного происхождения может стать существенным источником энергоресурсов. Одним из направлений энергетического использования биомассы является производство топливного газа, полученного путем пиролиза.

Основная часть. Предприятием «Глобалтехнолоджи» разработана и запатентована [3] «Установка для пиролизной переработки углеродосодержащего сырья», предназначенная для энергетической конверсии биологических отходов любой природы, а также легких пла-

* Научный руководитель – д.т.н. Братута Э.Г.

© д.т.н. Братута Э.Г., аспирант Семеней А.Р.

стиков, отходов нефтешламов, целлюлозных производств, автомобильных покрышек и т.д.

Непосредственному использованию теплогенератора пиролизного типа (ТПТ) в теплотехнологических промышленных схемах различного назначения предшествовали официальные экспертизы на предмет целесообразности применения установки (как альтернативы существующим теплогенераторам), а также экспертизы в части экологической и пожарной безопасности. Имеющиеся официальные заключения Национального центра поведения с опасными отходами Министерства охраны окружающей природной среды Украины (Министерство экологии и природных ресурсов Украины) свидетельствуют, что агрегат полностью соответствует нормам экологической и санитарной безопасности и может быть использован для термической утилизации органических отходов любой природы. Положительное заключение имеется и от Государственного департамента пожарной безопасности.

В наших предыдущих работах [4-7] были рассмотрены как перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа, так и результаты экспериментального и теоретического исследования процессов в ТПТ.

Конструкция ТПТ, принцип его работы и основные технические характеристики достаточно подробно представлены в нашей работе [4]. В рамках этой статьи освещаются результаты промышленных испытаний теплогенератора в составе некоторых теплотехнологических схем.

На рис. 1 и 2 показаны соответственно схема и фотография водогрейного теплоутилизатора на базе ТПТ, установленного в фермерском хозяйстве с. Джулинка Винницкой области. В качестве топлива были использованы дрова смешанных пород дерева, солома, отходы резины.

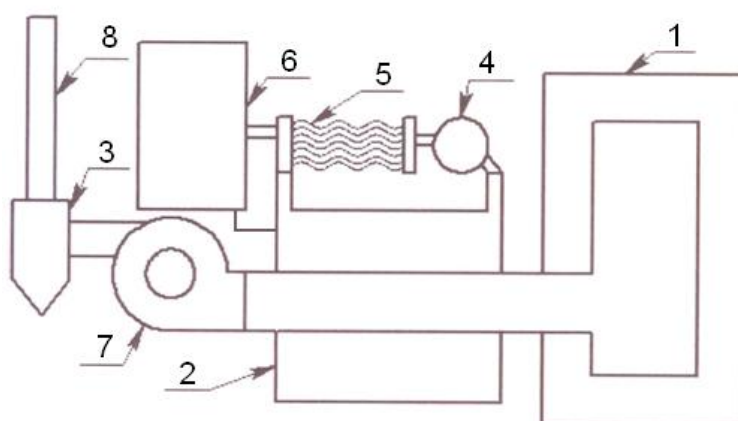


Рис. 1. Схема установки: 1 – ТПТ; 2 – водогрейный теплоутилизатор; 3 – циклон для улавливания твердых продуктов горения; 4 – циркуляционный насос; 5 – блок охлаждения теплоносителя; 6 – емкость для теплоносителя; 7 – дымосос; 8 – дымовая труба.



Рис. 2. Водогрейный теплоутилизатор.

Установка была оснащена измерительной аппаратурой, позволяющей определять:

- расход генерируемой теплоты по калориметрическим замерам в потоке нагреваемой воды (с помощью тепломера марки Supercal-531; относительная погрешность $\pm 4\%$);
- расход продуктов сгорания (по расходомеру с интегрирующей термопарой марки MP200; относительная погрешность $\pm 3\%$);
- температуру теплоносителя и продуктов горения (с помощью термопреобразователя сопротивления и платинового ТСП1199; погрешность измерения $\pm 0,3$ °С);
- расход топлива (по дискретным загрузкам, весы KCS300s «MettlerToledo», погрешность измерения 0,1 кг);
- состав продуктов сгорания определялся газоанализатором TESTO-435; погрешность: O_2 - $\pm 0,2\%$; CO , NO_x - $\pm 5\%$).

Испытания проводились в летнее время. ТПТ запускался на сухих дровах с влажностью порядка 20%. При массе нагреваемой в системе воды 15 тонн, динамика ее нагрева иллюстрируется рис. 3, свидетельствующим о приемлемой оперативности выхода установки на режим.

Параллельно с испытаниями промышленного характера представлялось возможным провести калориметрические измерения, подтверждающие энергетическую эффективность водогрейного агрегата на базе ТПТ.

В качестве топлива использовалась древесина (сосна) с влажностью менее 30% , для которой рабочая низшая теплотворная способность Q_n^p [8] составляла от 11,9 до 12,4 мДж/кг. В соответствии с протоколом испытаний за один час 15 тонн воды были нагреты от 29,2 до 79°С и при этом (по данным весовых измерений) израсходовано 310 кг топлива.

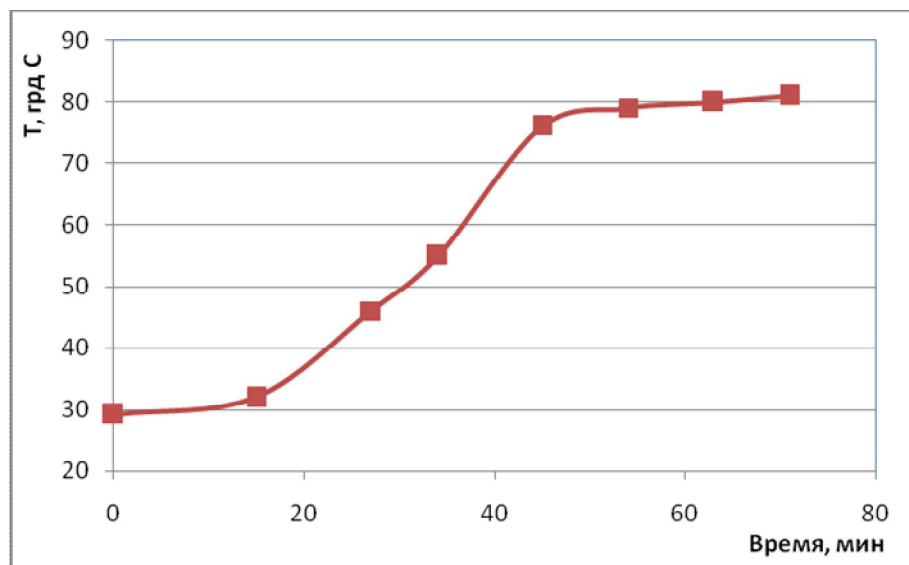


Рис. 3. Темп нагрєва води в теплоутилізаторе (с холодного состояния ТПТ).

В стационарном режиме эксплуатации температура горячей воды, подаваемой потребителю, составила 90-92°C при температуре входа в теплоутилизатор 58-60 °С. По данным измерений расход горячей воды был на уровне от 23,6 до 25,2 м³/час. Эти измерения позволили определить коэффициент полезного действия теплоутилизатора как

$$\eta = \frac{M_g \cdot C_{pг} \cdot \Delta t_g}{Q_n^p \cdot M_m},$$

где M_g и M_m – расход горячей воды и топлива, кг/час; $C_{pг}$ – изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

При средних значениях Q_n^p , Δt_g и M_g величина η лежала в пределах от 0,88 до 0,91, а тепловая мощность утилизатора составляла от 880 до 920 кВт.

Такой результат следует признать удовлетворительным по следующим соображениям.

В качестве инструмента для обеспечения энергосбережения при эксплуатации водогрейных котлов соответствующим департаментом Евросоюза были разработаны так называемые «директивы о КПД» (Директивы 92/42 EWG DES RATES). Эти директивы устанавливают допустимый минимальный уровень КПД для стандартных, низкотемпературных и конденсатных котлов. Под конденсатным котлом понимают агрегат, в котором используется теплота конденсации водяного пара продуктов сгорания. В соответствии с этой директивой установлен регламентируемый диапазон изменения КПД для указанных котлов в функции тепловой загрузки котла, показанный в таблице 1.

Таблица 1 – КПД водогрейных котлов

Тип котла	Нагрузка 30%	Нагрузка 100%
	Диапазон КПД	Диапазон КПД
Конденсатный	0,975 – 0,995	0,915 – 0,935
Стандартный	0,885 – 0,915	0,895 – 0,915
Низкотемпературный	0,820 – 0,88	0,855 – 0,865

Как следует из результатов испытаний водогрейного агрегата на базе ТПТ, его экономичность хорошо согласовывается с требованиями Директивы Евросоюза.

Результаты анализа продуктов сгорания позволили определить уровень вредных выбросов за агрегатом в сопоставлении с этими показателями для широко используемых современных водогрейных котлов серийного производства.

В качестве объекта для сравнения по уровню вредных выбросов был выбран водогрейный котел «ДАР-0,5/1», разработанный ГКБ «Южное» с учетом современных экологических требований и применения передовых технологий в области котлостроения. Котел изготовлен специализированным предприятием ООО «Унипромэнерго-сервис» и по своей производительности и теплотехнологическому назначению близок к водогрейному агрегату на основе ТПТ.

Кроме этого в табл. 2 на основе работы [9] представлены обобщенные результаты выполненного в Австрии исследования по оценке уровней выбросов различных установок мощностью от 0,5 до 10 МВт, работающих на биомассе и использующих в качестве топлива отходы древесно-стружечных панелей, древесные щепу и кору.

Таблица 2 – Экологические характеристики агрегатов

Удельные выбросы, мг/нм ³	Теплоутилизатор на базе ТПТ	Водогрейный котел «ДАР-05/1»	По данным [9]
CO ₂	135-140	не более 150	120-190
NO _x	210-230	не более 250	162-337

Представленные в табл. 2 результаты свидетельствуют о вполне приемлемых уровнях вредных выбросов при эксплуатации водогрейного агрегата на базе ТПТ.

В настоящее время компанией «Глобалтехнолоджи», при научно-техническом сопровождении с участием автора статьи, ведется строительство и внедрение ряда водогрейных агрегатов на основе ТПТ мощностью от 1,0 до 3,5 МВт, подобных вышерассмотренному, и работающих в системе автономного отопления и горячего водоснабжения.

Так, в 2011 г. ООО «Альтернативная теплоэнергия» для Городской больницы №3 г. Краматорска был осуществлен проект модернизации котельной с установкой водогрейного котла пиролизного типа на основе ТПТ мощностью 2,5 МВт. В качестве топлива использовались обрезки деревьев, листья, щепа и прочие органические отходы.

Для оказания услуг по поставке тепловой энергии ООО «Альтернативная теплоэнергия» исполкомом Краматорского городского совета был утвержден тариф в размере 680 грн. (с НДС) за 1 Гкал, что на 200 грн. меньше, чем тариф, по которому энергия отпускалась предыдущим поставщиком – «Краматорсктеплоэнерго».

За период работы котельной с 01.12.2011 по 15.04.2012 объем поставки тепловой энергии потребителям составил 1800 Гкал, что обеспечило экономию бюджетных средств порядка 360 тыс. грн. Измерениями установлено, что за счет размещения водогрейного котла в непосредственной близости от Городской больницы №3 температура теплоносителя (при прочих практически равных условиях) была на 8 – 10°C выше, чем при подачи от котельной «Краматорсктеплоэнерго».

С помощью измерительного комплекса была проведена соответствующая диагностика работы агрегата, результаты которой показали, что энергоэкологические характеристики этого объекта находились в пределах, указанных в табл. 1 и табл. 2.

Помимо этого, ТПТ получил перспективное применение в обеспечении процесса сушки зерна. Так в с. В. Каротуль Переяславского района Киевской области была использована установка для тепловой подготовки сушильного агрегата, показанная на рис. 4.

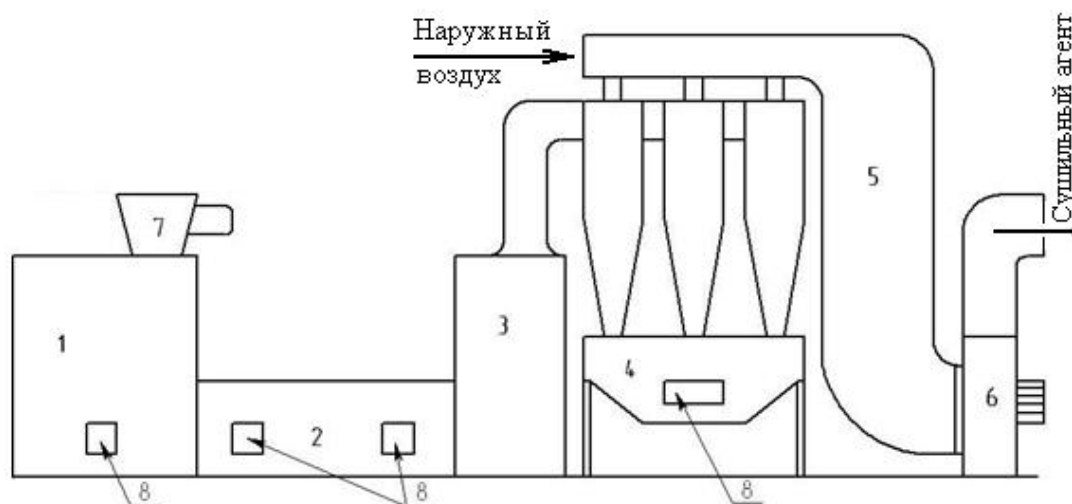


Рис. 4. Схема зерносушилки: 1 – теплогенератор пиролизного типа; 2 – камера дожигания пиропродуктов; 3 – охладитель; 4 – система аспирации сушильного агента; 5 – камера смешения; 6 – рабочий вентилятор; 7 – система автоматической загрузки; 8 – чистки.

Теплогенератор пиролизного типа мощностью 2,5 МВт теплоты обеспечивал подачу $60 \cdot 10^3$ м³/час сушильного агента с температурой на входе в зерносушилку 110 – 160 °С. При сжигании древесных отходов с влажностью менее 40% расход этого топлива составлял, в среднем, 750 кг/час, что позволило обеспечить производительность зерносушилки порядка 8 – 10 т/час. В период проведения испытаний сушке подверглись зерна кукурузы с начальной влажностью 20% и конечной влажностью 14 % при насыпном весе зерна 740 – 800 кг/м³.

Сравнительные оценки показали, что при прочих равных условиях использование древесных отходов в ТПТ вместо природного газа (используемого в теплогенераторах другого типа), позволило сократить эксплуатационные расходы в восемь раз.

Выводы. Учитывая, что теплогенераторы малой и средней мощности являются одними из основных потребителей природного газа в Украине, следует считать перспективным применение в коммунальной и промышленной сфере теплогенераторов пиролизного типа, использующих в качестве топлива городские, промышленные, сельскохозяйственные и древесные отходы.

В процессе промышленных испытаний водогрейного агрегата ТПТ установлено, что по уровню экономичности и экологической безопасности агрегат полностью соответствует современным требованиям, предъявляемым к теплогенераторам малой и средней теплопроизводительности мощностью от 500 до 2000 кВт.

Установлено, что применение ТПТ для горячего водо- и теплоснабжения в коммунальной сфере позволило более, чем на 30% снизить тариф за отпуск тепла сравнительно с поставкой от котельной, использующей природный газ.

Литература

1. *Шидловський А.К.* Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / *А.К.Шидловський, Б.С. Стогній* // Українські енциклопедичні знання. – Київ, 2004. – 468 с.
2. *Толмачев В.Л.* Роль и перспектива отдельных энергоносителей в энергетике Украины / *В.Л.Толмачев* // *Економист*. – 2006. – №8. – С.37-39.
3. Пат. 42719 Україна. Установка для піролізної переробки вугле-нівмісної сировини / *И.Ю.Цыганков, С.В.Люберцев, А.Р.Семеней*; опубл. 10.07.09.
4. *Братута Э.Г.* Перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа / *Э.Г.Братута, А.Р.Семеней*. – Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – №4. – 2010. С.8-13.
5. *Семеней А.Р.* Методика оценки эффективности теплогенератора пиролизного типа в нестационарном режиме эксплуатации / *А.Р. Семеней, Э.Г. Братута* // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2010. – №4. – С.19-22.

6. Братута Э.Г. Оценка эффективности использования пиролизного теплогенератора в схемах тепло- и электроснабжения / Э.Г.Братута, А.Р. Семеней. – Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – №5. – 2011. С.23-28.

7. Семеней А.Р. Модель термодинамических процессов в теплогенераторе пиролизного типа / А.Р.Семеней, А.И.Тарасов, Э.Г.Братута // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2011. – №3. – С.44-47.

8. Гелетуха Г.Г. Обзор технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 1 / Г.Г.Гелетуха// Экологические технологии энергосбережение. – 2007. – №5. - С.3-12.

9. Применение энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в республике Беларусь. Методические рекомендации по применению передовой практики. Часть А: Сжигание биомассы. – Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2006. – №2.

ДІАГНОСТИКА ВОДОГРІЙНОГО АГРЕГАТУ ПІРОЛІЗНОГО ТИПУ

Братута Е.Г, Семеней А.Р.

Анотація

В роботі представлені результати комплексної діагностики водогрійного агрегату на основі теплогенератора пиролизного типу потужністю 900 кВт, з використанням в якості палива відходів деревини. Встановлено, що енерготехнологічні та екологічні характеристики агрегату відповідають сучасним вимогам, а використання агрегату в комунальній сфері дозволяє суттєво знизити тариф за гаряче водо- і теплопостачання.

RESULTS OF TESTS AND INDUSTRIAL APPLICATION OF PYROLYSIS HEAT GENERATORS

E.Bratuta, A.Semenei

Summary

Results of complex diagnostics of the water-heating unit on the basis of pyrolysis heat generator by capacity of 900 kW which uses wood waste as fuel are presented. It is established, that energy-technological and ecological characteristics of the unit conform to modern requirements, and use of the unit in municipal area allows to lower essentially the tariff for hot water and a heat supply.