

УДК 621.311.502

А. Р. СЕМЕНЕЙ, аспирант

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ПРОМЫШЛЕННОГО ВНЕДРЕНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ ПИРОЛИЗНОГО ТИПА

*Представлены результаты комплексной диагностики водогрейного агрегата на основе теплогенератора пиролизного 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.*

*Представлені результати комплексної діагностики водогрійного агрегату на основі теплогенератора пиролизного типу потужністю 900 кВт, з використанням в якості палива деревні відходи. Встановлено, що енерготехнологічні та екологічні характеристики агрегату відповідають сучасним вимогам, а використання агрегату в комунальній сфері дозволяє суттєво знизити тариф за гаряче водо- і теплостачання.*

### Введение

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

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

### Основная часть

Предприятием «Глобал технолоджи» разработана и запатентована [3] «Установка для пиролизной переработки углеродосодержащего сырья», предназначенная для энергетической конверсии биологических отходов любой природы, а также легких пластиков, 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 [47] были рассмотрены как перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа, так и результаты экспериментально-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 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.

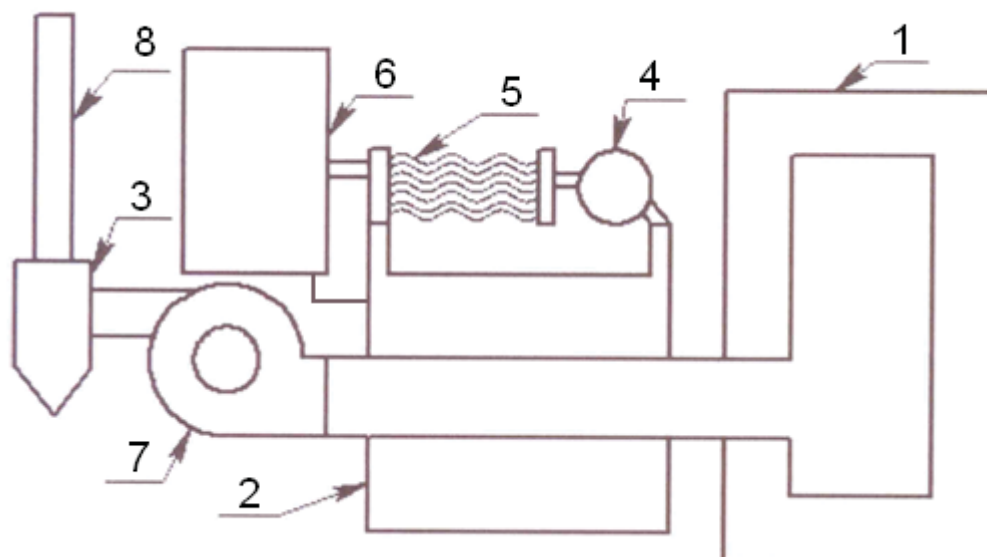


Рис. 1. Схема установки:

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 МР200; относительная погрешность  $\pm 3\%$ );
- температуру теплоносителя и продуктов горения (с помощью термопреобразователя сопротивления и платинового ТСП1199; погрешность измерения  $\pm 0,3\text{ }^\circ\text{C}$ );
- расход топлива (по дискретным загрузкам, весы KCS300s «Mettler Toledo», погрешность измерения 0,1 кг);
- состав продуктов сгорания определялся газоанализатором TESTO-435; погрешность:  $\text{O}_2 - \pm 0,2\%$ ;  $\text{CO}, \text{NO}_x - \pm 5\%$ ).

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.

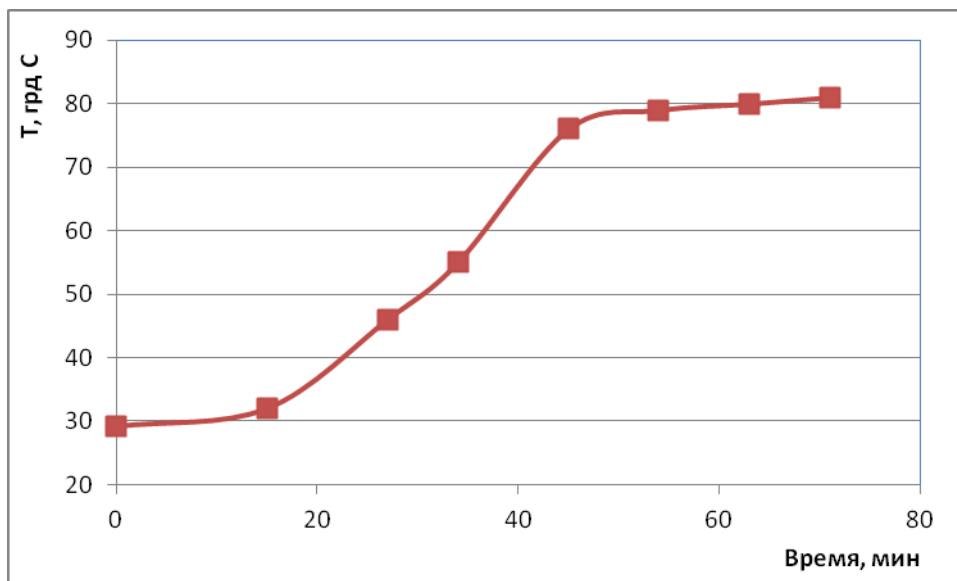


Рис. 3. Темп нагрева воды в теплоутилизаторе (с холодного состояния ТПТ)

Параллельно с испытаниями промышленного характера представилось 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  $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$  [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.

В стационарном режиме эксплуатации температура горячей воды, подаваемой потребителю, составила 90–92 °С при температуре входа в теплоутилизатор 58–60 °С. По данным измерений расход горячей воды был на уровне от 23,6 до 25,2 м<sup>3</sup>/час. Эти измерения позволили определить коэффициент полезного действия теплоутилизатора как

$$\eta = \frac{M_{\text{в}} \cdot C_{\text{рв}} \cdot \Delta t_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}^{\text{P}} \cdot M_{\text{т}}},$$

где  $M_{\text{в}}$  и  $M_{\text{т}}$  – расход горячей воды и топлива, кг/час;

$C_{\text{рв}}$  – изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг К).

При средних значениях  $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$ ,  $\Delta t_{\text{в}}$  и  $M_{\text{в}}$  величина  $\eta$  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 табл. 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 «Унипромэнергосервис» 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 <sup>3</sup>	Теплоутилизатор на базе ТПТ	Водогрейный котел «ДАР-05/1»	По данным [9]
CO <sub>2</sub>	135–140	не более 150	120–190
NO <sub>x</sub>	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 «Глобал технолоджи», 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, щепы 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 01.12.11 по 15.04.12 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 °С 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.

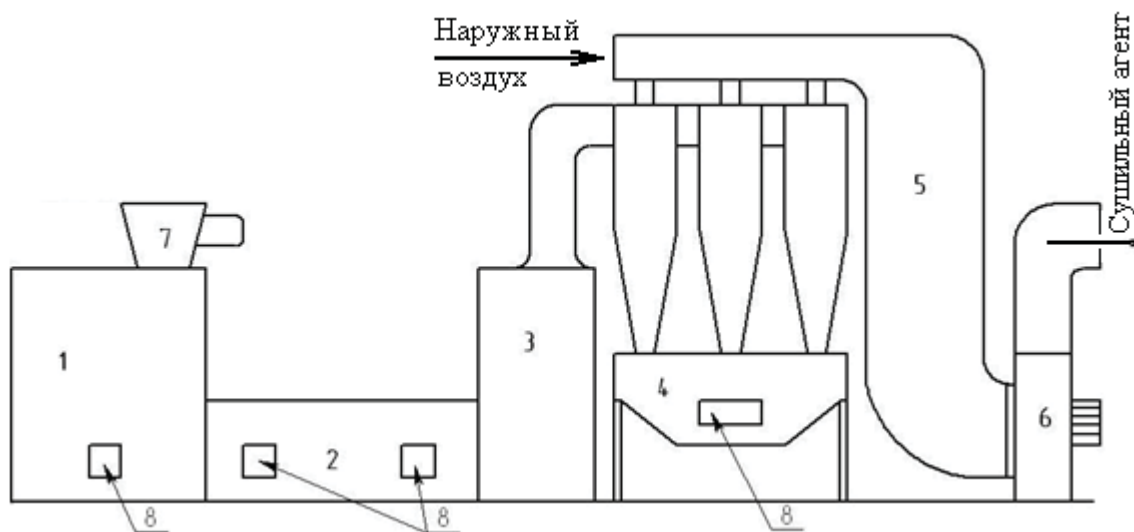


Рис. Схема зерносушилки

- 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  $60 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{час}$  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/м<sup>3</sup>.

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 коммунальной и промышленной сфер 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.

### Список литературы

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 // Экономист. – 2006. – № 8. – С. 37–39.
3. Пат. 42719 Україна. Установка для піролізної переробки вугленівної сировини / Цыганков И. Ю., Люберцев С. В., Семеней А. Р.; опубл. 10.07.09.
4. Братута Э. Г. Перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа / Э. Г. Братута, А. Р. Семеней //
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 //
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, Т. А. Железная // Экологические технологии и 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.

### EFFICIENCY OF USING GAS SMEAR DURING SOIL PERFORATION

A. R. SEMENEI, graduate student

*The extent of soil resistance to the conic working instrument is calculated in this article. Therefore the index of reduction efficiency of this extent due to gas smear effect in accordance with the sharpening angle of the working instrument and the coefficient of external soil friction.*

Поступила в редакцию 15.12 2012 г.