

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ПИРОЛИЗНОГО ТИПА  
В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Получение энергии из биомассы (древесина, древесные и сельскохозяйственные отходы) является динамично развивающейся отраслью во многих странах мира. Этому способствует возобновляемый характер биомассы, как топлива, надежность системы энергосистемы на ее основе и установления естественного природного баланса по выбросам CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Известно, что термохимическая конверсия (пиролиз) биомассы является не только универсальной, но и эффективной технологией с точки зрения энергозатрат на обеспечение протекания самого процесса пиролиза.

Несмотря на перспективность внедрения теплогенераторов пиролизного типа (ТПТ) [1–4] и использования этих устройств в различных технологиях, создание их в основном базируется на некоторых частных эмпирических данных без учета теплофизических особенностей биотоплива и взаимовлияние режимно-геометрических характеристик ТПТ. Очевидно, что такое состояние знаний в этой области не позволяет обобщенно, на основе современных способов оптимизации, повысить эффективность генерирования теплоты.

В тех случаях (возможно, наиболее перспективных) [3] когда теплогенератор является одним из блоков автономных мини теплоэлектростанций, необходимость в оптимизации ТПТ становится особо актуальной.

В связи с этим общей задачей исследования (часть результатов которого представлена в настоящей статье) является разработка на основе математического моделирования методики инженерного расчета ТПТ соответствующего параметрического ряда по теплопроизводительности с адаптацией к конкретному виду биотоплива.

Очевидно, что достоверность такой методики определяется ее адекватностью результатам эксперимента. В связи с этим в настоящей статье представлено описание ТПТ [5], экспериментального стенда и методики проведения эксперимента, а также приведены некоторые результаты натурных испытаний аппарата.

На рисунке 1 представлен общий вид ТПТ. Основными блоками ТПТ являются камера газогенерации (КГ) 7, пиролизная плита (ПП) 11 и камера сгорания 13.

Через загрузочно-разгрузочный люк 10 в КГ подается соответствующая порция биомассы, после розжига которой люк 10 закрывают. Через каналы 4 подают наружный воздух, предварительно подогретый при поступлении его через патрубки 9 в полость 8 между обшивкой 6 и цилиндрической частью обмуровки КГ 5.

Пиролизный газ образовавшийся в результате термического разложения биомассы, через каналы 12 в пиролизной плите поступает в камеру сгорания (КС) 13, размещенной в обмуровке 3.

Для управления процессом сжигания пиролизного газа предусмотрен канал 2 для регулируемой подачи воздуха.

Образовавшиеся в КС продукты сгорания пиролизного газа через газоход 1 поступают к теплопотребителю.

Стремление к минимизации капитальных затрат на создание ТПТ, а также различный характер консистенции биомассы определили дискретный характер загрузки топлива. Это исключило необходимость использования дорогостоящего устройства непрерывного действия, включающего в ряде случаев и необходимость предварительного измельчения биомассы.

Это, в основном, и определило нестационарный характер процессов генерирования теплоты в ТПТ.

Основным показателем энергетической эффективности аппарата в связи с нестационарным режимом работы теплогенератора принимается интегральный коэффициент полезного действия  $\eta(\tau)$  в виде

$$\eta(\tau) = \frac{Q_0(\tau)}{Q_1(\tau)} = \frac{\int_0^{\tau_{\max}} M_{\text{пс}}(\tau) [C_{\text{рпс}} t_2](\tau) d\tau}{Q_{\text{н}}^p \int_0^{\tau_{\max}} M_{\text{БМ}}(\tau) d\tau + \int_0^{\tau_{\max}} M_{\text{нв}}(\tau) \cdot C_{\text{рнв}} \cdot t_{\text{нв}} d\tau}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – время;  $Q_0$  – теплопроизводительность ТПТ;  $Q_1$  – теоретическое количество теплоты, выделяемой при сжигании биомассы;  $Q_n^p$  – рабочая низшая теплотворная способность биомассы;  $M_{пс}$  – массовый расход продуктов сгорания;  $M_{нв}$  – массовый расход наружного воздуха;  $M_{БМ}$  – массовый расход биотоплива;  $C_{рпс}$  и  $C_{рнв}$  – изобарные теплоемкости продуктов сгорания и наружного воздуха;  $t_{нв}$  – температура наружного воздуха;  $t_2$  – температура газов на выходе их ТПТ.

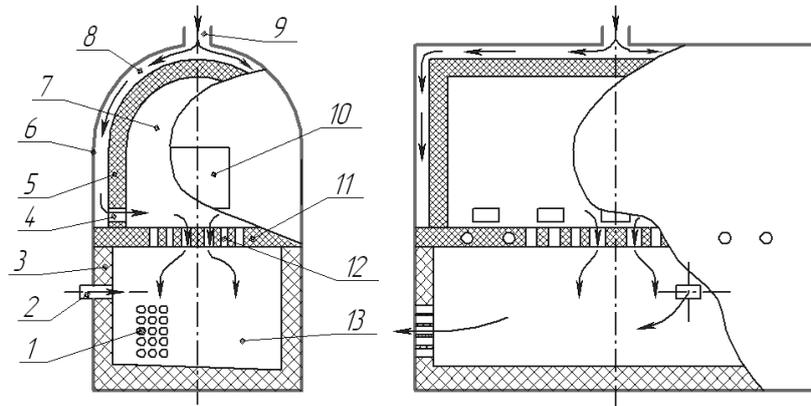


Рисунок 1 – Теплогенератор пиролизного типа

При такой трактовке эффективности ТПТ представляется возможным получить искомую оценку на любой стадии работы аппарата: от розжига биомассы в некий начальный момент времени  $\tau_0$  (когда весовое устройство начало фиксировать убыль массы топлива) до момента времени  $\tau_{\max}$ , когда на выходе из камеры сжигания пиролизного газа фиксируется момент снижения температуры продуктов сгорания.

Общая величина потерь теплоты в аппарате, кВтч, определяется как

$$Q_{\text{пот}}(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau_{\max}} \frac{Q_1(\tau)[1-\eta(\tau)]}{3600} d\tau. \quad (2)$$

Величина  $Q_{\text{пот}}(\tau)$  включает три основные составляющие. Потеря теплоты на прогрев обмуровки теплогенератора

$$Q_{\text{об}}(\tau) = \frac{M_{\text{об}}}{3600} \int_{\tau_0}^{\tau_{\max}} C_{\text{об}}(\tau)[t_{\text{об}}(\tau) - t_{\text{об}}(\tau_0)] d\tau, \quad (3)$$

где  $M_{\text{об}}$  и  $C_{\text{об}}$  – масса и средняя теплоемкость материала обмуровки;  $t_{\text{об}}(\tau)$  и  $t_{\text{об}}(\tau_0)$  – температуры обмуровки в моменты времени  $\tau$  и  $\tau_0$  соответственно.

Потеря теплоты наружными поверхностями камеры газогенерации и камеры сгорания

$$Q_{\text{нп}}(\tau) = \frac{F}{3600} \int_{\tau_0}^{\tau_{\max}} \alpha(\tau)[t_{\text{п}}(\tau) - t_{\text{нв}}](\tau) d\tau, \quad (4)$$

где  $F$  – общая поверхность камер;  $\alpha$  – средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности обмуровки к окружающему воздуху;  $t_{\text{п}}$  – средняя температура поверхности.

С большей степенью точности величину  $Q_{\text{нп}}$  можно определить с помощью оптического тепломера.

Потеря теплоты от неполноты сжигания биотоплива и пиролизного газа находится как

$$Q_{\text{ис}}(\tau) = Q_{\text{пот}}(\tau) - [Q_{\text{об}}(\tau) + Q_{\text{нп}}(\tau)]. \quad (4)$$

Зависимости (1)–(5) позволяют проанализировать теплотехническую эффективность аппарата в

зависимости от его режимно-геометрических характеристик и физических свойств биотоплива.

В соответствии с уравнениями (1)–(5) в эксперименте необходимо измерение расходных характеристик  $M_{нв}$ ,  $M_{БМ}$ ,  $M_{ПС}$ , а также температур  $t_{yx,г}$ ,  $t_{н.в.}$  и  $t_2$ . Помимо этого измеряются барометрическое давление и относительная влажность наружного воздуха.

Общая схема установки и размещение датчиков для измерения основных характеристик ТПТ показана на рисунке 2.

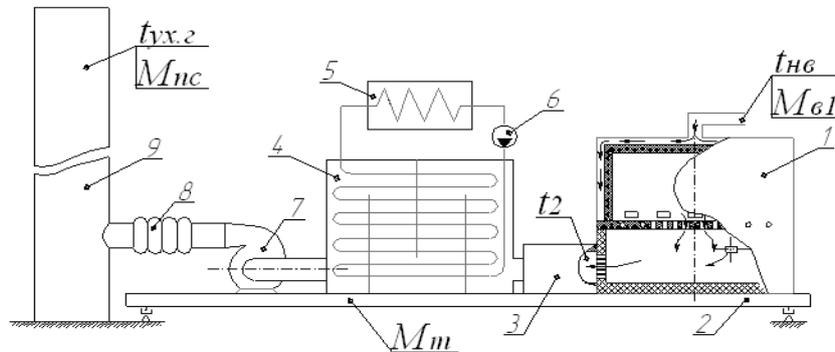


Рисунок 2 – Общая схема установки и размещение датчиков

1 – пиролизный теплогенератор; 2 – весовая платформа для измерения расхода топлива  $M_T$  в процессе горения; 3 – искрогаситель; 4 – теплообменник; 5 – теплотребитель; 6 – насос; 7 – дымосос; 8 – гибкое соединение; 9 – дымовая труба

Вся установка, включая блоки 1, 3, 4 и 6 размещена на платформе 2 электронных весов, позволяющих вести измерение расхода топливной биомассы в процессе ее термического разложения. Максимальная абсолютная погрешность в определении величины  $M_{БМ}$  не превосходила 0,5 кг.

Объемный расход дымовых газов, а также расход наружного воздуха  $M_{нв}$  определялись с помощью электронного прибора КИМО МР-200 с погрешностью не более 0,5 %. Температуры  $t_{нв}$ ,  $t_2$  и  $t_0$  определялись с помощью термопреобразователей. Анализ состава дымовых газов осуществлялся газоанализатором ОКСИ 5М, приемное устройство которого установлено в вытяжной трубе 9.

В качестве примера работы диагностического измерительного комплекса ТПТ на рисунках 3–6 показаны результаты соответствующих первичных измерений.

Эти данные получены при использовании в качестве биотоплива соснового горбыля с теплотворной способностью  $Q_n^p = 10.1 \cdot 10^6$  Дж/кг при влажности 25 %.

Не останавливаясь на некоторых подробностях обработки опытных данных и условиях проведения опытов, можно сделать следующие основные выводы:

Из рисунка 5 следует, что при стабилизации прогрева обмуровки основных блоков ТПТ температура продуктов сгорания составляет 1200–1300 °С, что обеспечивает необходимый термодинамический потенциал для их использования в соответствующих энергетических циклах с применением газо- и паротурбинных двигателей.

Созданная промышленная установка, а также ее диагностический комплекс позволяют в широком диапазоне изменения основных определяющих факторов (включая и природу биотоплива) проводить комплексные исследования, направленные на повышение энергоэкологической эффективности ТПТ.

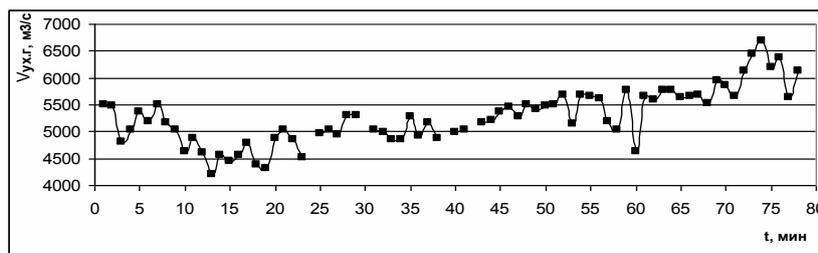


Рисунок 3 – Изменение объемного расхода уходящих газов

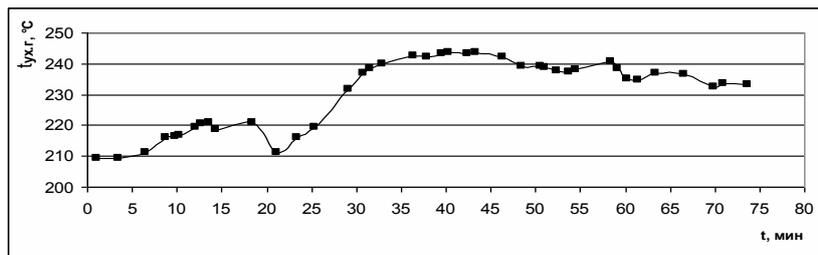


Рисунок 4 – Изменение температуры уходящих газов

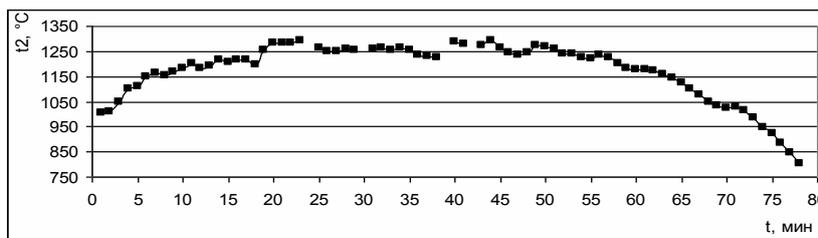


Рисунок 5 – Изменение температуры продуктов сгорания на выходе из ППТ

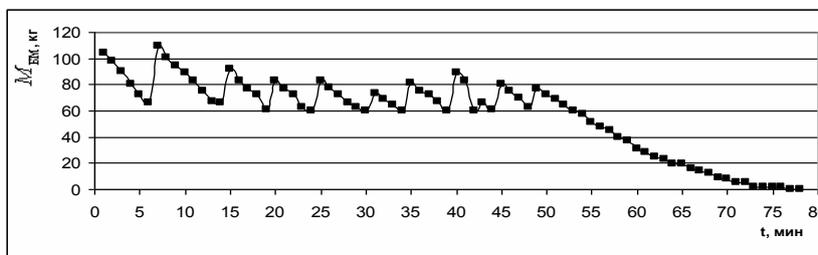


Рисунок 6 – Изменение массы биотоплива

Литература

1. Енергія навколо нас / А.С. Конеченков, М.М. Федосенко, Г.А. Шиловіч [та ін.]. – К.: 1999.– 192 с.
2. Энергетические установки и окружающая среда. Под ред. Маляренко В.А. – Харьков: ХГАГХ, 2002. – 398 с.
3. Чирков В.Г., Вайнштейн Э.Ф. Учет теплофизических свойств при оценке производительности процесса пиролиза растительной биомассы // Труды 4-й Международной научно-технической конференции (12–13 мая 2004 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ) ч. 4, с. 245–251.
4. Братута Э.Г. Перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа / Э.Г. Братута, А.Р. Семеней // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. –2010. – №4/74 . – С. 8–12 .
5. Патент на корисну модель «Установка для піролізної переробки вугленімісної сировини», №42719 від 10.07.2009.

УДК 621.311.502

Семеней О.Р., Братута Е.Г.

**МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ПІРОЛІЗНОГО ТИПУ В НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Дається опис методики проведення експерименту та обробки опитних даних при дослідженні ефективності тепло генератора піролізного типу в нестационарних режимах роботи.

Semenei O.R., Bratuta E.G.

**THE METHOD OF EFFICIENCY INVESTIGATION OF PIROLIZE TYPE STEAM GENERATOR UNDER NON-STATIONARY WORKING REGIMES**

The method of the experiment and experiment data treatment during investigation of pirolize type steam generator under non-stationary working regimes have been presented.