



Methods of Quality Control of Energy Efficient Characteristics of Biofuels and its Combustion

Roman SERHIENKO, Serhii IVANOV, Arthur ZAPOROZHETS

Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
e-mails: serhiienko@nas.gov.ua, teplomer@ukr.net, a.o.zaporozhets@nas.gov.ua

Abstract

Presents methods and technical means that ensure rational consumption of energy resources in the process of drying of plant raw materials, calorimetric analysis of the calorific value of finished fuel briquettes and pellets from agricultural waste, as well as a universal computerized system for controlling fuel combustion parameters in boilers of small and medium capacity based on monitoring the composition of waste gases.

Keywords: calorimetric system, fuel calorific value, evaporation heat, heat capacity, combustion control.

Методы контроля качества энергоэффективных характеристик биотоплива и его сжигания

Роман СЕРГИЕНКО, Сергей ИВАНОВ, Артур ЗАПОРОЖЕЦ

1. Введение

Экспортная ориентация Украины на продукцию аграрного сектора и пищевой промышленности привлекает внимание из-за своего потенциала в области развития биоэнергетики путем переработки отходов производства на биотопливо. Динамика роста использования возобновляемых источников энергии (в частности биомассы) и приемлемый срок окупаемости связанных с биотопливом проектов обусловили рост использования в качестве топлива пеллет и брикетов из отходов сельскохозяйственного, деревообрабатывающего и лесопильного производства (опилок, стружки, соломы, шелухи и т.п.). Использование биомассы для производства энергии является важной составляющей энергетической стратегии Европейского Союза до 2050 г. [1]. В то же время качество биотоплива очень важно отслеживать на всех этапах его использования: от получения, до сжигания.

В основе технологии производства топливных пеллет и брикет лежит процесс прессования под температурой высушенных и измельченных отходов. Такие виды топлива считаются экологически безопасными, а их относительно низкая стоимость обуславливает широкое использование не только в системах индивидуального отопления, но и на промышленных теплогенерирующих предприятиях. Производство конкурентоспособного топлива требует применения энергоэффективных технологий его производства, контроля качества готовой продукции согласно действующим международным стандартам, а также контроля эффективности сжигания такого топлива в зависимости от его состава и характеристик, параметров котла и режима сжигания, а также влияния внешних факторов. Каждый из названных объектов контроля требует разработки методологической основы и аппаратного обеспечения, позволяющего повысить эффективность производства и сжигания биотоплива, а также контролировать на всех этапах качество самого топлива.

2. Цель исследования

Целью работы является разработка методологической основы для экспериментального исследования теплоэнергетических характеристик биотоплив, обеспечения контроля их качества и регулирования параметров сжигания в котлоагрегатах малой и средней мощности.

3. Результаты исследований

Технология изготовления топливных брикетов или пеллет состоит из трёх основных стадий: измельчение сырья, просушивание и формирование готового продукта. Качество брикетов и пеллет в значительной степени зависит от влажности исходной смеси и ее происхождения, поэтому одним из перспективных путей снижения себестоимости топлива является эффективное использование энергоресурсов на процесс сушки начального сырья. Растительное сырьё является неоднородным по структуре биологическим материалом, поэтому аналитические методы определения теплоты испарения, теплоемкости и влажности на практике менее эффективны, чем прямые экспериментальные исследования.

Для экспериментального исследования удельной теплоты испарения и теплоемкости неоднородных влажных материалов создана измерительная система [2], которая позволяет реализовывать два различных метода исследования с использованием одного прибора (рис.1).

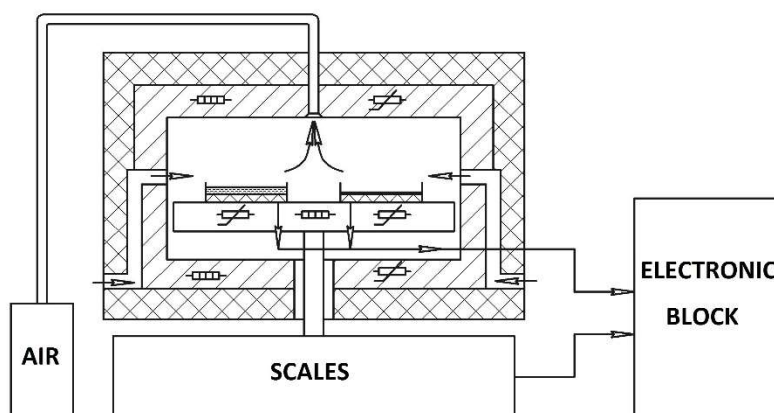


Рис.1. Схематическое изображение системы для измерения удельной теплоты испарения и теплоемкости

Система реализована в виде соединенных между собой теплового и электронного блоков, каждый из которых реализует отдельные функциональные задачи. Тепловой блок предназначен для размещения исследуемого образца и реализации температурных условий проведения опыта. Электронный блок («Electronic block»), кроме преобразования полученных от теплового блока данных о параметрах исследуемого образца в цифровую форму, служит для задания и поддержания температурных условий проведения эксперимента.

Теплота испарения определяется как отношение количества теплоты, потраченного на испарение влаги из образца к изменению массы образца за тот же отрезок времени:

$$r_i = \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} \Delta Q(\tau) d\tau / (m(\tau_i) - m(\tau_{i+1})) \quad (1)$$

где: τ_i и τ_{i+1} , – текущие моменты времени сушки; $\Delta Q(\tau)$ – дифференциальный тепловой поток; $m(\tau_i)$ и $m(\tau_{i+1})$ – масса образца в моменты времени τ_i и τ_{i+1} .

Погрешность определения теплоты испарения в температурном диапазоне от 30°C до 95°C составляет 2,5%.

Для определения теплоемкости используется стандартизированный метод пошагового сканирования, согласно которому исследуемый температурный диапазон разбивается на несколько одинаковых интервалов [3]. Каждый интервал включает нагревание рабочей камеры с образцом до заданной температуры и последующее восстановление стационарных изотермических условий в рабочей камере. Длительность интервалов подбирается так, чтобы обеспечить в рабочей камере прибора достаточное время для восстановления стационарных условий. В основе метода лежит измерение количества теплоты, которое затрачивается на нагревание образца известной массы с температуры интервала i до температуры следующего интервала $i+1$. Значение теплоёмкости для каждого интервала определяется по формуле:

$$\tilde{n} = 1/m \cdot \left[\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta Q(\tau) d\tau / \Delta T \right] \quad (2)$$

где: m – масса образца; ΔQ – дифференциальный тепловой поток за время от τ_1 до τ_2 (длительность интервала); ΔT – разница температур между интервалами.

Погрешность определения теплоемкости с использованием системы в температурном диапазоне от 30°C до 105°C не превышает 2,5%.

Главным же показателем качества данных видов топлива является калорийность (теплотворная способность), для определения которой применяют метод бомбовой калориметрии. Калориметры теплового потока содержат в себе калориметрическую чувствительную оболочку, встроенную в термостатированный блок, и расположенную в ней ячейку с реакционной сосудом (калориметрической бомбой). Прибор имеет вентилятор, который обдувает внешнюю поверхность калориметрического блока для охлаждения, а электрический нагреватель, размещенный на поверхности калориметрического блока, служит исполнительным элементом системы терморегулирования, которая по сигналу преобразователя температуры регулирует электрическую мощность нагревателя так, чтобы поддерживать постоянной температуру калориметрического блока. В калориметрической бомбе размещают образец исследуемого материала и заполняют ее кислородом, устанавливают бомбу в ячейку, а после стабилизации температуры в калориметре поджигают образец. Возникающая в процессе сгорания образца теплота проходит через калориметрическую чувствительную оболочку, в результате чего оболочка генерирует сигнал, пропорциональный тепловому потоку, который поступает на измерительно-вычислительную систему, осуществляя измерения и интегрирования сигнала. Интегральное значение сигнала с момента поджога образца до момента повторной стабилизации температуры в калориметре пропорционально количеству теплоты, выделившейся в реакционной емкости. Особенностью калориметра является наличие вспомогательной ячейки, параметры которой значительно отличаются от габаритов и теплофизических характеристик основной ячейки. Сравнение сигналов основной и вспомогательной ячейки достигается путем подбора параметров имитатора бомбы вспомогательной ячейки и усиления сигнала сенсора теплового потока вспомогательной ячейки [4, 5, 6].

Исследование теплотворной способности проб биотоплива происходило в процессе их сжигания под давлением 2,8 МПа в атмосфере кислорода в калориметрической бомбе БКУ-2, расположенной в тепловом блоке современного безводного квазидифференциального калориметра для измерения теплоты сгорания (ТС) топлива КТС-4. Обобщенные результаты измерений и расчетов свойств продуктов переработки отходов сельскохозяйственной продукции в виде брикетов и пеллет приведены в таблице 1.

Таблица 1. Калориметрический анализ топливных брикетов и пеллет

Вид топлива		Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Зольность, %	Низшая ТС, МДж/кг	Высшая ТС, МДж/кг
Сырье	Форма					
Дерево	брикет	1167	3,3	1,19	19,52	18,16
	пеллеты	1188	9,4	0,92	18,32	16,88
Солома злаков	брикет	981	7,0	2,68	17,60	16,15
	пеллеты	920	11,0	3,93	16,21	14,72
Лузга подсолнуха	брикет	886	8,3	2,21	18,58	17,20
	пеллеты	874	9,5	1,29	17,98	16,59

Калориметрический анализ включает определение высшей и низшей теплоты сгорания по методике, регламентированной ДСТУ ISO 1928:2006, зольности ДСТУ-П СЕН/ТС 14775:2012 и влажности ДСТУ EN 14774-2:2012. Для каждого образца определена влажность в состоянии поставки, аналитическая влажность (образец раздроблен и подсушенные в лабораторных условиях в течение не менее 3 суток до воздушно-сухого состояния), зольность и собственно теплота сгорания.

Одной из проблем рынка биотоплива Украины на сегодня является отсутствие требований к его качеству, поэтому большинство производителей ориентируются на западные стандарты, диапазон теплоты сгорания которых 17,5 ... 19,5 МДж/кг. Анализ результатов калориметрических исследований показывает, что по основным показателям качества брикеты и пеллеты украинского производства соответствуют европейским стандартам. При этом теплота сгорания брикетов на 5 ... 10% выше, чем пеллет из того же сырья.

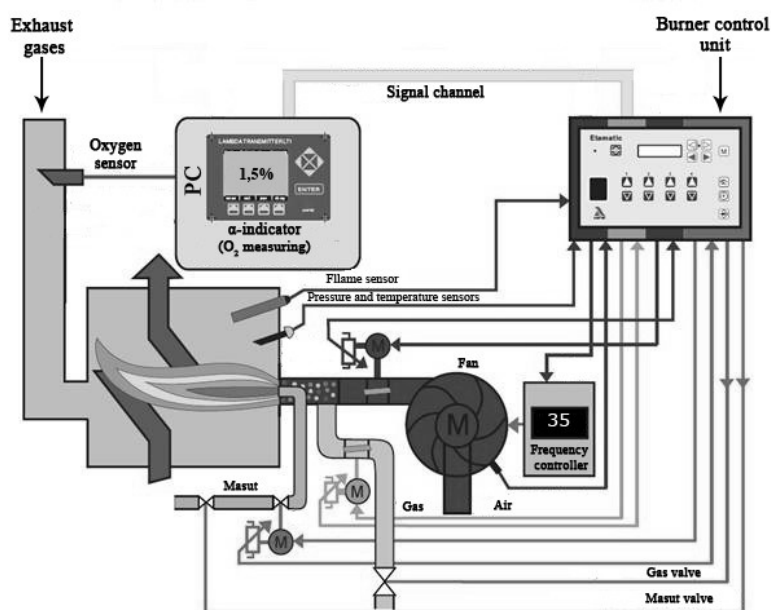


Рис.2. Блок-схема автоматического управления процессом сжигания топлива в котлах

Для повышения эффективности сжигания биотоплива предложена универсальная компьютеризированная система регулирования параметров в котлоагрегатах малой и средней мощности на базе средств контроля состава отходящих газов. В роли информативного параметра эффективности сжигания топлива принят фактор избыточности воздуха в дымовых газах, по показаниям которого происходит автоматическая коррекция соотношения воздушно-топливной смеси, поступающей в зону горения [7, 8]. Схема системы управления и контроля процесса сжигания топлива представлена на рисунке 2.

Коэффициент избытка воздуха определяется как отношение концентрации кислорода в воздухе к разнице этой концентрации и концентрации кислорода в продуктах сгорания. Эта величина является индивидуальной для каждого отдельно взятого вида топлива и определяется путём отдельных исследований. Применение такой системы позволяет поддерживать высокую эффективность работы котла независимо от типа используемого топлива и внешних воздействий – достаточно лишь использовать корректные данные о допустимом количестве кислорода в дымовых газах для того или иного типа сжигаемого топлива. Дополнительным преимуществом системы является накопление информации о составе дымовых газов при работе котла в различных режимах и формирование библиотеки данных с использованием облачных технологий.

4. Выводы

Использование представленного комплексного подхода к контролю качества энергоэффективных характеристик биотоплива дает возможность повысить эффективность его производства, обеспечить контроль качества, а также поддерживать высокую эффективность сжигания такого топлива. В частности:

- предложенная измерительная система позволяет в диапазоне от 30°C до 95°C определять теплоту испарения и теплоемкость растительного сырья для будущего топлива с погрешностью не более 2,5%;
- с использованием квазидифференциального бомбового калориметра повышено быстродействие процесса измерения теплоты сгорания, точность самого измерения составляет 0,1%, при этом массогабаритные параметры прибора уменьшены в 2 раза;
- применение системы регулирования параметров на базе средств контроля состава отходящих газов в котлоагрегатах позволяет увеличить КПД котлоагрегата на 6...20%, приведя при этом экологические показатели к уровню нормативов Европейского Союза.

Литература

1. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions Energy Roadmap 2050 (COM (2011) 0885 final), link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0885>
2. Иванов С.А., Л.И. Воробьев, Л.В. Декуша. Обработка информации при исследовании свойств влажных материалов методом синхронного теплового анализа. Системы обробки інформації: зб. наук. пр., 6(131), 2015, с. 75-78.
3. ДСТУ ISO 11357-4:2010 Пластмаси. Диференціальна сканувальна калориметрія. Частина 4. Визначення питомої теплоємності, Київ, Держспоживстандарт України, 2011, 8с.

4. Корчагина Е.Н., Е.В. Ермакова, В.И. Беляков. Сравнительный анализ технических и метрологических характеристик бомбовых калориметров, применяемых в России. Измерительная техника, № 2, 2011, с. 51–57.
5. Vorobiov L.I., R.V. Serhiienko, Z.A. Burova, O.O. Nazarenko. Thermal processes modeling in quasi-differential calorimeter. Industrial heat engineering, 39(4), 2017, pp. 81-87.
6. Sigal O., Q. Boulanger, L. Vorobiov, N. Pavliuk N., R. Serhiienko. Research of the energy characteristics of municipal solid waste in Cherkassy. Journal of Engineering Sciences, Sumy State University, 5(1), 2018, pp. H16-H22.
7. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. Образования, 2-е изд., испр., М.: Издательский центр «Академия», 2007, 432 с.
8. Артемчук В.О., Т.Р.Білан, І.В.Блінов та ін.. Теоретичні та прикладні основи економічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики (за ред.. А.О.Запорожця), Т.Р.Біоан, Київ, 2017, 312 с.