УДК 662.61: 532.584: 662.66

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПОЛУЧЕННОГО КАВИТАЦИОННО–ВИХРЕВЫМ МЕТОДОМ

Халатов А.А.[1], Костенко Н.В.[1], Хлебников О.Е.[1], Кузьмин А.В.[1], Шихабутинова О.В.[1], Бородуля В.А.[2], Коробко Е.В.[2]

[1]Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина
[2]Институт тепло-и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Работа выполнена в рамках совместной программы между Правительством Украины и Правительством Республики Беларусь при финансовой поддержке Министерства образования и науки Украины № Ф29/315–2009.

АННОТАЦИЯ

Приведено описание кавитационно–вихревого метода получения водоугольного топлива и установки для его осуществления, представлены данные по реологическим свойствам полученной суспензии. Показано, что полученное водоугольное топливо стабильно и имеет необходимые реологические свойства для использования в системах топливоподачи и горелочных устройствах энергетических котлов и котловых установок.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях экономии энергоресурсов для теплоэнергетики Украины очень важен переход от сжигания в топочных устройствах импортируемого топлива к дешевому и альтернативному.

В связи с этим использование собственных энергоносителей, основным из которых является энергетический и высокозольный уголь, требует повышения эффективности и экологической чистоты их сжигания. Это может быть решено за счет применения водоугольного топлива (ВУТ). В условиях ухудшения экологической ситуации ВУТ имеет бесспорные конкурентные преимущества – экологичность, невысокую стоимость получения и является надежной альтернативой импорта газа и мазута [1].

Водоугольное топливо является дисперсной системой «вода–уголь–химические добавки» и содержит 60…70% измельченного угля размерами до 250 мкм, 30…40% воды и 1% поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые вводятся для повышения стабильности топлива. ВУТ получают из угля различных марок и зольности: антрацита, каменного и бурого угля, а также высокозольных отходов обогащения, воды любого качества [2].

Использование ВУТ позволяет значительно расширить области применения угля.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка кавитационно–вихревого метода получения водоугольного топлива, создание установки получения ВУТ и исследование реологических свойств полученной суспензии для использования в теплоэнергетических объектах как альтернативного вида топлива.

На основе фундаментальных исследований в области вихревых потоков и анализа современного состояния технологий и оборудования получения водоугольного топлива установлено, что при получении ВУТ целесообразно использование двухступенчатых аппаратов, где на первой стадии осуществляется «сухое» измельчение угля в вихревом потоке, а на второй – кавитационное смешение и доизмельчение, что позволяет получать частицы угля со средним размером 10 мкм.

В институте технической теплофизики НАНУ создана установка получения ВУТ кавитационно-вихревым методом, схема которой приведена на рис.1.

Здесь: 1 – ротационная воздуходувка; 2 – емкость для угля; 3 – шнековое устройство подачи угля; 4 – электропривод; 5 – частотный преобразователь; 6 – вихревая камера диспергирования; 7 – устройство сепарации; 8 – устройство отвода пылегазовой смеси; 9 –

устройство очистки воздуха от пыли; 10 – емкость готового продукта; 11 – фильтр для очистки

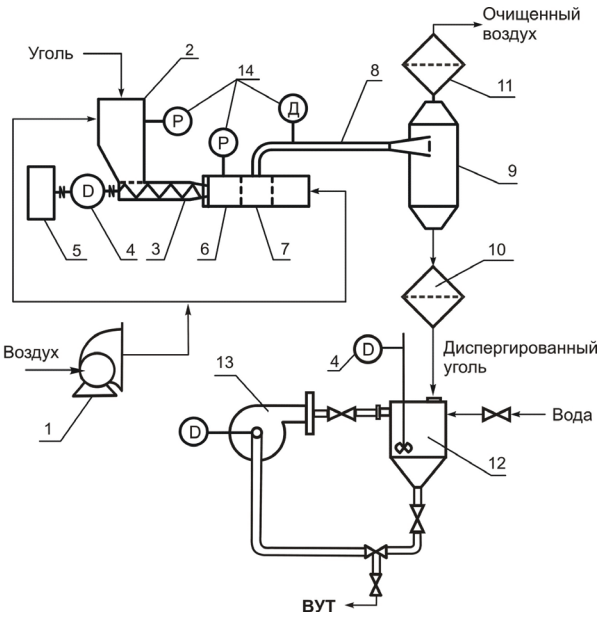

Рис.1. Схема экспериментальной установки получения водоугольного топлива.

воздуха; 12 – мешалка; 13 – кавитационный диспергатор; 14 – контрольно–измерительные приборы.

Вихревое диспергирование проходит с интенсивными тепло–массообменными и совмещенными быстродействующими процессами диспергирования, сепарирования, сушки, фракционирования и смешивания. При диспергировании исходного сырья в вихревой камере использованы преимущества вихревых технологий – получение дисперсных систем с его деминерализацией. Минеральные частицы, имеющие большую, чем органическая составляющая угля плотность и твердость, после диспергирования выносятся центробежной силой из основного вихревого потока. Это позволяет значительно снизить остаточную зольность водоугольного топлива

Полученную в вихревой мельнице дисперсную систему твердого топлива (фракцией менее 30 мкм) смешивают с водой в количестве до 50% в кавитационном диспергаторе.

В процессе кавитационной обработки смеси в зазоре между ротором и статором кавитационного диспергатора возникает гидродинамическая кавитация, которая характеризуется зарождением мелких (до 25 мкм) пузырьков в потоке жидкости с последующим их разрушением путем радиального смыкания сферической оболочки. Таким образом, кумулятивная энергия высокой плотности концентрируется в точке, что позволяет получать насыщенное кислородом стойкое в течение длительного времени (до месяца) водоугольное топливо [3].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате экспериментальных исследований на созданной установке получены водоугольные суспензии на основе антрацитового штыба (АШ) с влажностью 4,8% и зольностью 27,3%, технической воды в количестве от 30% до 50% и с кавитационной обработкой полученной суспензии в течение 5…30 мин. Получена тонкодисперсная стойкая коллоидная гидросмесь водоугольного топлива с однородной структурой, рис.2.

Важнейшими характеристиками ВУТ с точки зрения его хранения, транспортировки и сжигания являются его реологические свойства – динамическая вязкость и стабильность. Их особенность проявляется в неустойчивом характере динамической вязкости ВУТ, зависящей от напряжения сдвига и скорости движения суспензии. Движение ВУТ является неньютоновским и определяется составом его дисперсной фазы и дисперсной среды.

Измерение реологических свойств полученной водоугольной суспензии проводилось с использованием реометра «Physica MCR 301» при непрерывной деформации (нарастании и убывании) в диапазоне скоростей сдвига 0,001…3800 с-1 и температур от 20 до 50°С.

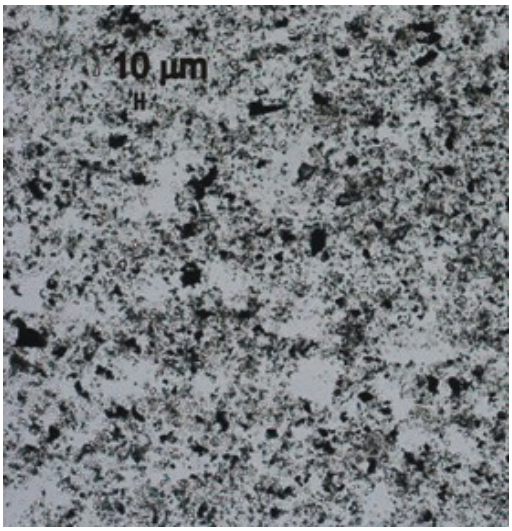

Рис.2. Водоугольное топливо из технической воды и угля (АШ 60%) с кавитационной обработкой в течение 5 мин. при увеличении в 320 раз.

В результате исследований определены зависимости напряжения сдвига τ от скорости сдвига γ полученных суспензий, наполнителем которых были уголь и торф, в диапазоне температур от 20 до 50°С. Эти зависимости представлены на рис.3.

Полученные данные свидетельствует о том, что полученная водоугольная суспензия обладает нелинейными вязко–пластичными свойствами. В диапазоне скоростей сдвига 0,001…1,5 $с^{-1}$ течение

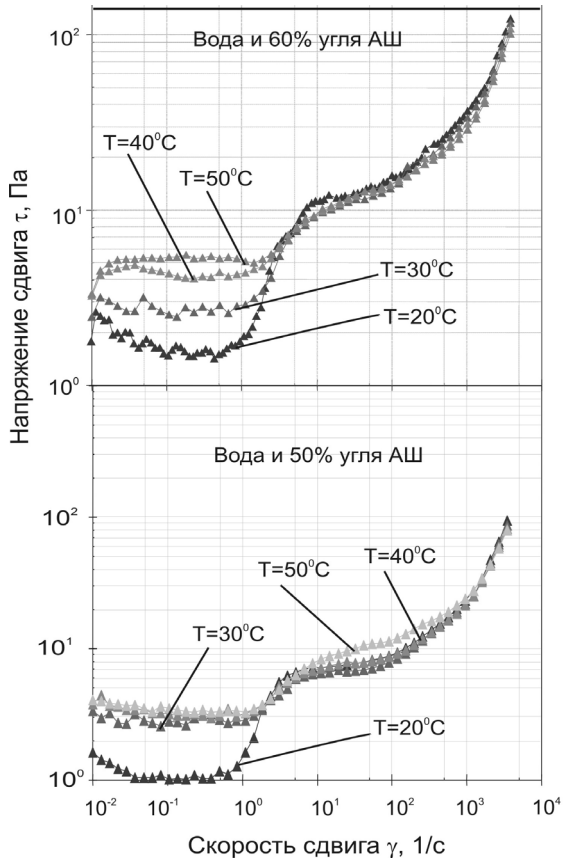

Рис.3. Зависимости напряжения сдвига τ от скорости сдвига γ в диапазоне температур 20…50°С.

суспензии из воды и угля разной концентрации близко к пластичному, т.е. значения напряжения сдвига τ практически не зависят от скорости сдвига γ.

Значения предельного напряжения сдвига τ_0, полученные экстраполяцией кривой течения методом возрастающей деформации на ось напряжения сдвига, имеют такую же зависимость от температуры только в этом диапазоне скоростей сдвига и возрастают с увеличением температуры:

20°С – τ_0 = 1,7 Па;
30°С – τ_0 = 2,6 Па;
40°С – τ_0 = 4,5 Па;
50°С – τ_0 = 5,3 Па.

Из графиков видно, что абсолютные значения вязкости ВУТ при скорости сдвига больше 10 $с^{-1}$ имеют близкие между собой значения и практически не зависят от температуры. Причем, при концентрации угля в воде 50% эта зависимость носит скачкообразный характер: при изменении температуры на 10° (от 20°С до 30°С) напряжение сдвига возрастает в 5 раз и далее не зависит от температуры. При концентрации угля в воде 60% влияние температуры носит более плавный характер.

Определены значения эффективной вязкости $\eta_{эф}$ полученной водоугольной суспензии от скорости сдвига γ при 20°С, рис.4.

Как видно из рисунка, значения эффективной вязкости полученного ВУТ с концентрацией 60% при скоростях сдвига 70…90 $с^{-1}$ не превышают 0,18 Па•с. Поскольку полученная топливная суспензия не содержит добавки ПАВ, то такие невысокие значения $\eta_{эф}$ открывают широкие возможности использования суспензии в технологическом оборудовании.

Обработка полученных экспериментальных данных с помощью различных реологических моделей (Гершеля-Балкли, Бингама, Оствальда-де-

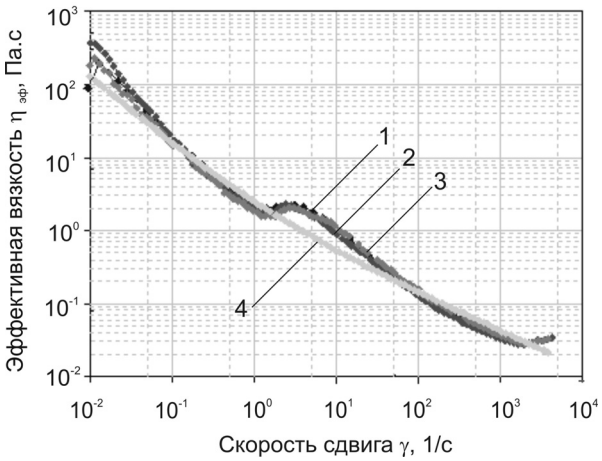

Рис.4. Зависимости эффективной вязкости $\eta_{эф}$ ВУТ от скорости сдвига γ:
1 – вода и 50% АШ;
2 – вода и 55% АШ;
3 – вода и 60% АШ;
4 – аппроксимация моделью Гершеля-Балкли.

Вейля, Кэссона и др.) показала, что с наибольшей величиной достоверности (91%) описывает экспериментальные данные модель Гершеля-Балкли (рис. 4, кривая 4).

Однако, проводить подобную обработку, по-видимому, нецелесообразно, т.к. в этом случае теряется истинный характер зависимостей τ и $\eta_{эф}$ от γ, имеющий ярко выраженную область повышенной вязкости в диапазоне скоростей сдвига 2…10 $с^{-1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение кавитационно–вихревого метода позволило получить стабильную водоугольную суспензию без ПАВ с концентрацией угля до 60% и необходимыми реологическими свойствами.

Предложенный способ получения ВУТ вихревым и кавитационным методами характеризуется:

- высокой активацией и деминерализацией топлива, что значительно повышает энергетический потенциал водоугольного топлива и его экологическую чистоту;
- относительно низкой себестоимостью за счет использования новейших эффективных технологических аппаратов (вихревой мельницы и кавитационного диспергатора);
- отсутствием диспергирующих добавок и дорогостоящих поверхностно-активных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халатов А.А., Костенко Н.В., Шіхабутінова О.В. Водовугільне паливо в енергетиці України. Сучасний стан і проблеми розвитку // Вісник Академії митної служби України. Серія «Технічні науки». – 2009. – № 2(42). – С. 33–43.
2. Халатов А.А., Костенко Н.В., Шіхабутінова О.В. Водовугільне паливо в теплоенергетиці і житлово-комунальному господарстві // Теплова енергетика – нові виклики часу – Львів: НВФ «Українські технології», під редакцією П. Омеляновського, Й. Мисака. – 2009. С. 147–158.
3. Ткаченко А.Н., Федоткин И.М., Тарасов В.А. Кавитационные техника и технологии. – Київ, «Техніка», 2001. – 450 с.