УДК 538.525:621.926

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОДНО-УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ (ЭРВУС)

Ризун А.Р., Голень Ю.В.

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

АННОТАЦИЯ

Рассматривается электроразрядный процесс как источник высокой концентрации энергии для дезинтеграции компонентов и изготовления водно-угольной суспензии. Установлены параметры электроразряда для получения требуемого гранулометрического состава компонентов водно-угольной суспензии и показана зависимость гранулометрического состава от удельных затрат энергии.

Разработан технологический процесс электроразрядной дезинтеграции компонентов водно-угольной суспензии, установлены режимы процесса, разработано оборудование, проведено его опытно-промышленное испытание, полученная суспензия прошла проверку на сернистость, зольность и калорийность в условиях теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

ВВЕДЕНИЕ

Проблема совершенствования топливно-энергетического баланса приобретает особую актуальность. В настоящее время в мировом масштабе израсходовано примерно [1]:

- 87 % мирового запаса нефти;
- 73 % мирового запаса газа;
- 2 % мирового запаса угля.

Таким образом, возврат к “эре угля” неизбежен. Вместе с тем такой переход на основе старых технологий использования угля невозможен по ряду причин – технологических, экологических, экономических и др.

Среди новых угольных технологий больший интерес представляет технология водно-угольной смеси, возникшая во второй половине прошлого столетия, из-за необходимости гидротранспорта угля. Пробы сжигания обводненной угольной массы привело к появлению термина – водно-угольная суспензия (ВУС). Усовершенствование этой технологии, улучшение реологических характеристик, седиментационной устойчивости, разработка присадок, пластификаторов и стабилизаторов привело к появлению термина водно-угольное топливо (ВУТ).

Наиболее интенсивно разработками ВУТ занимаются в ЮАР, Китае, Японии. Оживленно проходят процессы разработки в США, России, Италии, Швеции.

В Украине имеются центры достаточно высоких достижений в области разработки ВУТ. Однако отсутствие координированных усилий на совместное решение этой проблемы является причиной отставания Украины от других стран. Актуальность в разработке альтернативного топлива для Украины, несомненно, велика, поскольку связана с использованием огромных запасов местного сырья взамен дорогостоящих импортных энергоресурсов – нефти и газа.

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОДНО-УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ

Цель работы – обобщить исследования в области технологического процесса изготовления водно-угольной суспензии электроразрядом и выдать рекомендации на его использование.

В Институте импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины разработан технологический процесс дезинтеграции компонентов и изготовления водно-угольной суспензии

© Ризун А.Р., Голень Ю.В.

электроразрядом. Разработка защищена патентами Украины [2, 3, 4, 5], публикациями [6, 7, 8, 9]. Установлено, что импульсные нагрузки сжатия и растяжения обеспечивают раскрытие сросшихся частиц минералов и углей. Под действием высококонцентрированной энергии канала разряда происходит дезинтеграция угля с частичным выжиганием серы, находящейся в нем, а также локальное разложение молекулы воды с образованием атомарных ионизированных ионов водорода и кислорода. Водородный показатель pH изменяется в пределах от 10,0 до 4,0, переходя границы щелочной и кислой среды, способствуя действиям электроразряда в разрыве крупных молекулярных углеводородных цепочек на более легкие, а также реакции водорода с серой и образование сероводорода. Установлено, что 1 кДж введенной энергии в суспензию обеспечивает выделение газообразных веществ в пределах $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^3, в том числе водорода более 80 % [10].

Все перечисленные процессы осуществляются в одном объеме – в разрядной камере – при изготовлении водно-угольной суспензии.

Динамика электроразрядной дезинтеграции угля такова, что разрушение частиц исходного материала происходит по менее прочным границам раздела органических зерен за счет их растяжения и сжатия импульсными нагрузками прямых и отраженных волн, генерируемых электроразрядом.

Весь процесс разрушения можно разделить на три стадии (рисунок 1):

I стадия – образование сжимающими нагрузками трещин по границам раздела зерен и развитие их до критического состояния;

II стадия – сжимающими и растягивающими нагрузками измельчение угля до размеров 250 мкм и менее;

III стадия – измельчение и округление зерен до размеров менее 50 мкм.

Рис.1 Постадийная электроразрядная дезинтеграция угля

Распределение частиц по фактору формы - показателю округленности частиц (отношение наименьшего к наибольшему размеру частицы) после электроразрядной обработки при микроскопическом анализе готового продукта показано на рисунке 2. Из графика видно, что преобладающее количество частиц имеет форму, близкую к сферической.

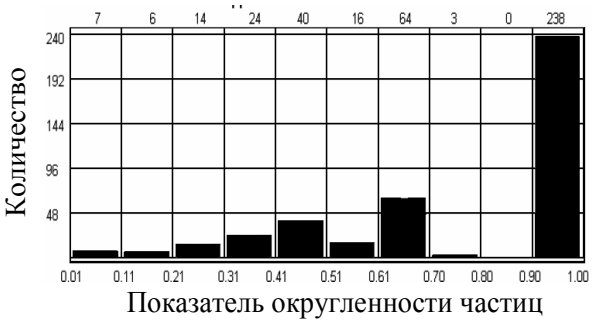

Рис.2 Распределение частиц угля после обработки по фактору формы

Основными энергетическими параметрами электроразряда являются напряжение разрядного контура и емкость конденсаторных батарей, определяющих запасенную энергию генератора:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \qquad (1)$$

где W – запасенная энергия, Дж;
C – емкость, Ф;
U – напряжение, В.

Объем зоны измельчения Vd определяется через радиус эффективного действия электроразряда, зависящего от прочности обрабатываемого материала:

$$V_d = \pi l \cdot R^2 \qquad (2)$$

где: V_d – объем зоны измельчения, м^3;
l – длина разрядного промежутка, м;
R – радиус эффективного действия разряда, м.

Экспериментально установлена зависимость радиуса R от параметров электроразряда и прочности обрабатываемого материала:

$$R = \frac{1{,}82(2 \cdot W)^{1/3}}{(f_k)^{1/3}}, \qquad (3)$$

где f_k – прочность материала по шкале Протодьякова.

Объединив формулы (1) - (3), получим:

$$V_d = \pi \cdot l \left[\frac{1{,}83(2 \cdot W)^{1/3}}{(f_k)^{1/3}} \right]^2. \qquad (4)$$

Расчетные данные показали, что для оптимальных параметров обработки с энергией в импульсе 1,25 кДж производительность электроразрядного дезинтегратора для углей крепостью от 0,6 до 1,2 ед. находится в пределах от 0,6 до 1,0 м^3/час.

Проверка электроразрядного процесса изготовления водно-угольной суспензии из углей – бурого марки Б и каменного марки АШ проводилась на экспериментальном стенде, схема которого представлена на рисунке 3.

Экспериментальный стенд состоит из: 1 – разрядная камера; 2 – электродная система; 3 – суспензия; Тр - трансформатор; В - выпрямитель; С – емкость разрядного контура; Р – разрядник; ГИТ – генератор импульсных токов; ВУС – водно-угольная суспензия.

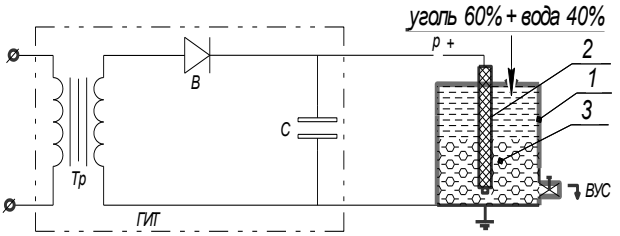

Рис.3 Схема экспериментального стенда

В таблице 1 представлены результаты электроразрядной тонкой дезинтеграции бурого и каменного углей марок Б и АШ.

Для каждого из трех значений запасенной энергии, предполагая равенство удельных затрат энергии, регламентируемое числом электроразрядов, проводилось по три эксперимента. В разрядную камеру поступает одновременно вода и уголь в соотношении 40 % к 60 % соответственно.

Исходя из анализа полученных результатов, наиболее целесообразным для дезинтеграции углей является режим обработки с запасенной энергией 1,25 кДж, количеством импульсов 400, удельными затратами энергии 26,4 кВт·ч/т.

Следует заметить, что удельные затраты энергии зависят от исходных размеров и марки угля, его прочности, влажности, объема загрузки и уточняются в процессе отработки.

Полученная суспензия исследовалась по качественным характеристикам – зольности, полноте и калорийности сгорания.

Известно, что концентраторами многих зольных микроэлементов в исходном угле являются высокодисперсные частицы, ассоциированные с органическими веществами и неотделяемыми от них при разделении по плотности даже в лабораторных условиях [11].

В процессе электроразрядной дезинтеграции угля марки АШ установлено снижение содержания серы в водно-угольной суспензии относительно исходного угля в 1,5 раза при первом режиме обработки, в 2 раза - при втором режиме и в 2,5 раза - при третьем. Лабораторные анализы водно-угольной суспензии показывают, что содержание серы в суспензии после электроразрядной обработки снизилось до 1,2 % при ее содержании в исходном продукте 3 %. По результатам экспериментов определен наиболее эффективный режим обработки с удельными затратами энергии 26,4 кВт•ч/т.

Высокие температура плазмы и давление канала разряда приводят к деструктивным изменениям жидкой фазы (воды):

$$\left.\begin{array}{c} 2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 \\ H_2O \rightarrow H^2 + OH \\ OH + OH \rightarrow H_2O_2 \\ OH + H_2O_2 \rightarrow HO_2 + H_2O \\ HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O + O_3 \end{array}\right\}$$

Также к реакциям, обеспечивающим снижение содержания серы в суспензии:

$$S + H_2 \rightarrow H_2S$$
$$2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2H_2O + 2SO_2 \cdot$$
$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

По результатам проведенных исследований разработан пилотный образец установки для получения ЭРВУС, блок - схема которого представлена на рис. 4. Основные составляющие: ГИТ – генератор импульсных токов; 1 – разрядная камера; 2 – насос; 3 – гидроциклон; 4 – сборник шламов; 5 – сборник суспензий; А – уголь; Б – вода.

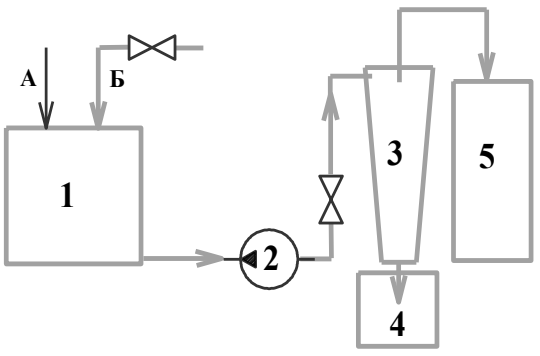

Рис.4 Схема промышленной установки

Таблица 1. Результаты экспериментов

W, кДж	Режи мы обработки	*N*, кол-во импульсов	Фракционный состав, %							
			Бурый уголь				Уголь марки АШ			
			< 50 мкм	от 50 до 100 мкм	от 100 до 200 мкм	> 200 мкм	< 50 мкм	от 50 до 100 мкм	от 100 до 200 мкм	> 200 мкм
0,625	I	240,0	10,0	27,0	40,0	23,0	8,0	15,0	35,0	42,0
	II	400,0	12,0	25,0	43,0	20,0	10,0	15,0	39,0	36,0
	III	800,0	15,0	15,0	51,0	19,0	13,0	20,0	35,0	32,0
1,25	I	120,0	10,0	37,0	43,0	10,0	15,0	31,0	48,0	6,0
	II	200,0	12,0	34,0	50,0	4,0	20,0	30,0	45,0	5,0
	III	400,0	15,0	31,0	45,0	3,0	25,0	34,0	38,0	3,0
2,5	I	60,0	5,0	37,0	48,0	10,0	20,0	36,0	39,0	8,0
	II	100,0	7,0	35,0	52,0	6,0	22,0	37,0	35,0	6,0
	III	200,0	9,0	32,0	55,0	4,0	25,0	33,0	34,0	5,0

На рисунке 5 представлен опытный образец промышленной установки, на котором проводилась доработка технологического процесса.

Рис.5 Внешний вид установки

Проведены совместно с ООО «ЭТАН-НХН» испытания по сжиганию ВУТ на одном из котлов ТЭЦ в г. Желтые Воды.

Состав и характеристика полученной ЭРВУС:

- твердая фаза (уголь), %..... 60 - 65;
- жидкая фаза (техническая вода), %.35 - 40;
- фракционный состав от 0 до 200 мкм, %..... 96;
- температура воспламенения, о С……. 600;
- температура горения, ºС……..…….. 12;
- полнота сгорания, %..... 98;
- содержание серы, % менее…… 1;
- ориентировочная стоимость 1 Гкал, грн.. 50,0.

Полученная ВУС не взрывоопасна, может транспортироваться по трубопроводу.

Для сравнения представлена средняя стоимость выработки 1 Гкал тепла в котельных различными видами энергоносителей [12]:

- мазут ……..……232,31 грн.;
- газ ……..……124,59 грн.;
- уголь ……84,05 грн.;
- ВУТ …….....48, 17 грн.

ВЫВОДЫ

- Для приготовления электроразрядным способом водно-угольной суспензии можно использовать любую марку каменного угля, в том числе шламы, пыль или бурый уголь.

- ЭРВУС значительно дешевле других видов топлива (угля, газа, мазута).

- Использование ЭРВУС позволит значительно снизить затраты на энергоносители и решить проблему энергетической независимости Украины.

- Для успешного освоения технологии безотходного сжигания угля необходима координация всех наработок и создание единого научно-технического центра для курирования этого направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайденберг В.Е. Производство и использование водоугольного топлива / В.Е. Зайденберг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко, И.Х. Нехороших. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 176 с.
2. Пат. № 52859 Украина, МПК (2009) C10L1/32, B02C 19/090. Способ получения водно-угольной суспензии на основе штыба каменного угля / Ризун А.Р., Голень Ю.В., Морев Г.Н., Денисюк Т.Д., Жекул Л.А.; заявитель и патентообладатель Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины. - № u200815232; заявл. 29.12.08; опубл. 10.06.09, Бюл. № 11/2009.
3. Пат. № 41518 Украина, МПК (2009) C10L1/32, B02C 19/090. Способ получения водно-угольной суспензии / Ризун А.Р., Голень Ю.В., Морев Г.Н., Денисюк Т.Д., Жекул Л.А. Кононов В.Ю., Сиворижская Н.И.; заявитель и патентообладатель Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины. - № u201003621; заявл. 29.03.10; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17/2010..
4. Пат. № 89129 Украина, МПК (2009) C10L1/32, B02C 19/090. Установка для электроразрядной дезинтеграции компонентов водно-угольного топлива / Ризун А.Р., Голень Ю.В., Морев Г.Н., Денисюк Т.Д., Глазунов П.И., Ховренко О.В.; заявитель и патентообладатель Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины. - № a200807881; заявл. 10.06.08; опубл. 10.12.09, Бюл. № 23/2009.
5. Пат. № 91627 Украина, МПК (2009) C10L1/32, B02C 19/090. Установка для электроразрядной дезинтеграции компонентов водно-угольной суспензии / Ризун А.Р., Голень Ю.В., Морев Г.Н., Денисюк Т.Д., Жекул Л.А.; заявитель и патентообладатель Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины. - № u200815231; заявл. 29.12.08; опубл. 10.07.10, Бюл. № 15/2010.
6. Ризун А.Р. Электроразрядная дезинтеграция бурого угля для изготовления водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Тезисы докладов VIII Международной научной конференции “Импульсные процессы в механике сплошных сред”. – Николаев: Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, 2009. – С. 130 – 131.
7. Ризун А.Р. Электроразрядное измельчение бурого угля как компонента водно-угольного топлива / А. Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Электронная обработка материалов. – 2009. – №3. – С. 96–99.
8. Ризун А.Р. Разработка и внедрение электроразрядного процесса дезинтеграции компонентов для водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Наука та інновації. – 2009. – №15 – С. 42 – 46.
9. Ризун А.Р. Электроразрядная дезинтеграция и десульфурация угля при изготовлении водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Т.Д. Денисюк, В.Ю. Кононов, А.Н. Рачков // Электронная обработка материалов. – 2011. – №1. – С. 113 – 115.
10. Овчинников Ю.В. Физические процессы и механофизические эффекты в дезинтеграторах и кавитаторах при производстве ИКЖТ / Ю.В. Овчинников, С.В. Луценко, Е.А. Евтушенко // Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: сборник науч. трудов НГТУ. – Вып. 9. – Новосибирск: Наука, 2005. – 310 с.
11. Высоцкий С.П. Десульфурация и обогащение углей перед их сжиганием на ТЭС / С.П. Высоцкий, Ю.С. Мастика // Энергетика и электрификация. 1993. №3. С. 53-56.
12. Techinservice. Водноугольное топливо (ВУТ). Экономическая эффективность / www.tiser/ru/index.php.

© Ризун А.Р., Голень Ю.В.