

В. А. Дубровский, Ю. В. Исаков, М. Ю. Потылицын, И. И. Потапов, В. Н. Широков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КАВИТАЦИОННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ\*

*Рассмотрена эффективность получения кавитационного водоугольного топлива с использованием электрогидравлических эффектов. Проанализированы результаты проведенных исследований по получению кавитационного водоугольного топлива.*

*Ключевые слова:* кавитационное водоугольное топливо, электрогидравлический эффект, исследование.

В ближайшей перспективе прогнозируется повышение роли угля в топливно-энергетическом балансе страны, что обусловлено его крупными запасами. Однако экологические ограничения (особенно после ратификации Киотского протокола) требуют разработки и внедрения новых экологически чистых угольных технологий, обеспечивающих наиболее полное использование топлива при максимально сниженной вредной нагрузке на окружающую среду.

Особенно остро экологические проблемы стоят в угольных регионах России, где вокруг угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов. Гидроотвалы и отстойники периодически чистятся механогидравлическим способом, и повторно добытые угольные шламы сбрасываются либо в отработанные выработки шахт, либо в ближайшие овраги и водоемы. В отдельных случаях производится обезвоживание отходов флотации и их складирование на свободных площадях.

Применение суспензионного угольного топлива является реальной возможностью замены не только «грязного» угля и малоэффективных методов его сжигания в слоевых топках, но и дефицитных жидких и газообразных видов топлива.

Перевод шламов в транспортабельное и технологически удобное суспензионное водоугольное топливо (ВУТ) позволит добиться существенного экономического эффекта и резко улучшить экологическую обстановку. При этом получаемое топливо и технологии его использования должны отвечать жестким требованиям современного рынка, связанным с обеспечением высокой экономической конкурентоспособности и минимизацией возможного опасного экологического воздействия на окружающую среду.

Учитывая, что в себестоимости вырабатываемой тепловой энергии стоимость топливной составляющей занимает от 40 до 70 %, снижение стоимости топлива или его удельного расхода является важным фактором получения экономического эффекта.

Существующие механические методы, используемые в шаровых мельницах, кавитаторах и др., характеризуются повышенными энергетическими затратами и износом рабочих узлов машин.

Разрушающее воздействие на угольное сырье может создаваться и с помощью последовательности контролируемых маломощных взрывов в жидкой среде, при которых происходит измельчение, перемешивание сырья и активация воды. Применение высоковольтных разрядов достаточно хорошо изучено и используется в технологиях дробления минеральных веществ в конденсированных средах [1], обогащения угольного сырья и т. д. Однако законченных исследований об эффективности измельчения сырья для приготовления ВУТ методом проведения высоковольтных электрогидравлических взрывов практически нет. Предполагается, что при высоковольтных разрядах в конденсированных средах (жидкости) формируется широкий спектр электрогидравлических эффектов (ЭГЭ), которые могут быть использованы для измельчения угольного сырья. Специально сформированные в воде импульсные разряды могут образовывать зоны сверхвысокого гидравлического давления и способны совершать механическую работу по разрушению угля.

Установка по дроблению угольного сырья с использованием ЭГЭ (рис. 1) состоит из источника высоковольтных силовых импульсов с подключенным к рабочему разряднику выходом и активной зоны измельчения. Потенциальный электрод рабочего разрядника размещен в активной зоне и создает высоковольтный разряд вблизи решетки сепаратора, которая является вторым электродом и разделяет фракции угля после формирования серии ударов. Силовая высоковольтная установка включает в себя повышающий трансформатор Тр, высоковольтный выпрямитель V, накопитель энергии – импульсный конденсатор С, формирующий промежуток – ФП-разрядник.

При работе установки происходит заряд накопителя и после срабатывания формирующего разрядника энергия подается на электрод рабочего разрядника для формирования высоковольтного разряда в жидкости. Создаваемые ударные воздействия в жидкости измельчают угольное сырье, приводя к образованию водоугольной

\* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект «Разработка и внедрение энергоэффективной эколого-ресурсосберегающей технологии подготовки и сжигания углей Канско-Ачинского бассейна на энергетических предприятиях для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края»).

суспензии. Получаемые мелкие фракции проникают через решетку сепаратора, а крупные фракции подвергаются последующим ударным воздействиям.

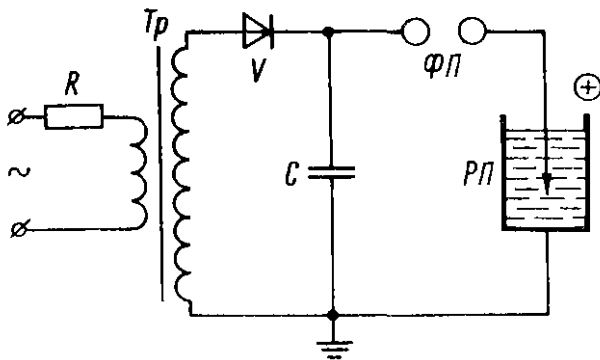


Рис. 1. Функциональная схема дробления угольного сырья с использованием ЭГЭ: R – зарядное сопротивление; Tr – повышающий трансформатор; V – высоковольтный выпрямитель; C – накопитель энергии; ФП – формирующий промежуток (формирующий разрядник); РП – рабочий промежуток в жидкости

Конструкции типовых электрогидравлических дробилок отличаются размещением рабочих электродов (рис. 2), но принцип работы у них одинаков. Угольное сырье загружается из входного бункера 1 и совместно с подводимой технической водой 2 подается в активную зону для измельчения. Высоковольтные электроды 3 размещены в замкнутом объеме и создают разряды в жидкости с возникновением ударных воздействий. После измельчения сырья суспензия через решетки сепарации 5 поступает на выход 4 для дальнейшего использования.

Исследование эффективности процесса получения водоугольной смеси было проведено на макетном образце [2], представленном на рис. 3.

Проверка возможностей ЭГЭ-дробления осуществлялась на небольших объемах угольного сырья с использованием высоковольтного силового импульсного генератора универсального назначения. Генератор формировал серию одиночных силовых высоковольтных импульсов  $U$  амплитудой 12...18 кВ и энергией 3...5 кДж. В качестве накопителей использовались импульсные конденсаторы типа ИК-12-25 общей емкостью  $C$ , равной 24...48 мкФ. В рабочую активную зону дробления силовые импульсы подавались посредством коаксиального кабеля РК50-17-17 длиной более 10 м, который обеспечивал необходимую электрическую прочность и пространственное размещение составных частей установки. Активная зона дробления угля представлена цилиндрическим объемом 50 дм<sup>3</sup>, заполненным водой. Рабочий разрядник в виде разделанного конца коаксиального кабеля имел зазор 24...25 мм. После формирования серии от 10 до 40 разрядов проводилась классификация фракций путем рассеивания образовавшегося продукта. Анализ результатов позволил оценить эффективность метода измельчения угольного сырья, возможности его промышленной реализации и определить основные технические требования к опытному образцу установки. Характерис-

тика контрольных образцов, параметры ударных воздействий и их результаты приведены в таблице.

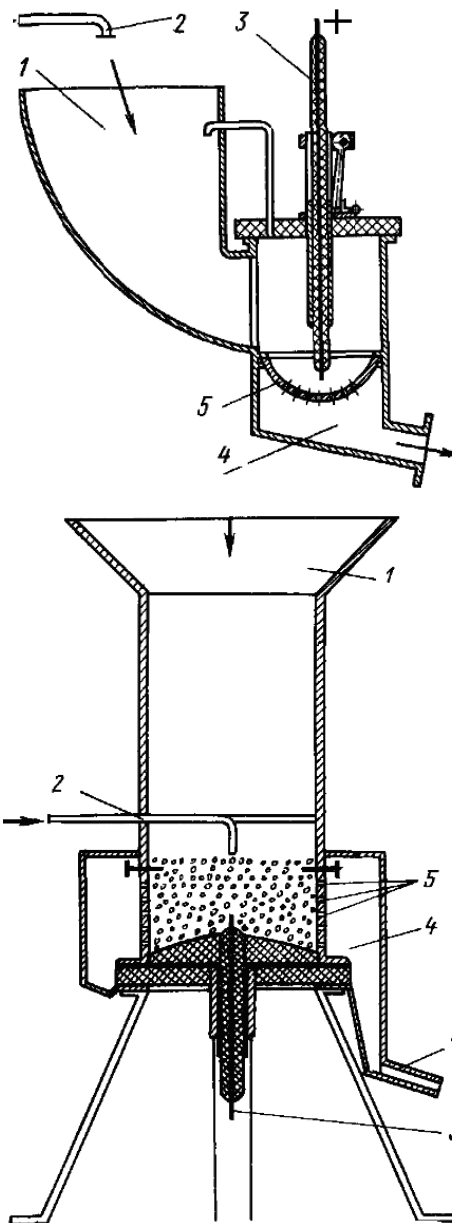


Рис. 2. Основные виды электрогидравлических дробилок (обозначения см. в тексте)

Результаты классификации по размерам свидетельствуют об энергетических затратах при изменении фракционного состава угольного сырья (рис. 4).

Повышение эффективности дробления связано с увеличением амплитуды ударных воздействий гидравлического и гидродинамического происхождения в жидкости при электрических разрядах определенной длительности и максимальных крутыми фронтами высоковольтных силовых импульсов. Анализ возможных схем размещения рабочих разрядников в активной зоне измельчения сырья показывает, что повышенной живучестью к ударным воздействиям обладает вариант с вертикальной установкой электрода.

В ходе проведенных исследований по измельчению угольного сырья малых объемов были выявлены следующие особенности применения ЭГЭ:

– ударные разрушительные воздействия характеризуются выраженным локальным характером. Эффективное измельчение сырья наблюдается в объеме 3...5 дм<sup>3</sup> активной зоны формирования электрического разряда. Эффек-

тивность механизма дробления сырья зависит от режима высоковольтных разрядов. Для крупных фракций угля (от 50 до 150 мм) оптимален режим мягкого разряда ( $U = 20$  кВ,  $C = 1,0$  мкФ), а для мелких фракций – режим жесткого

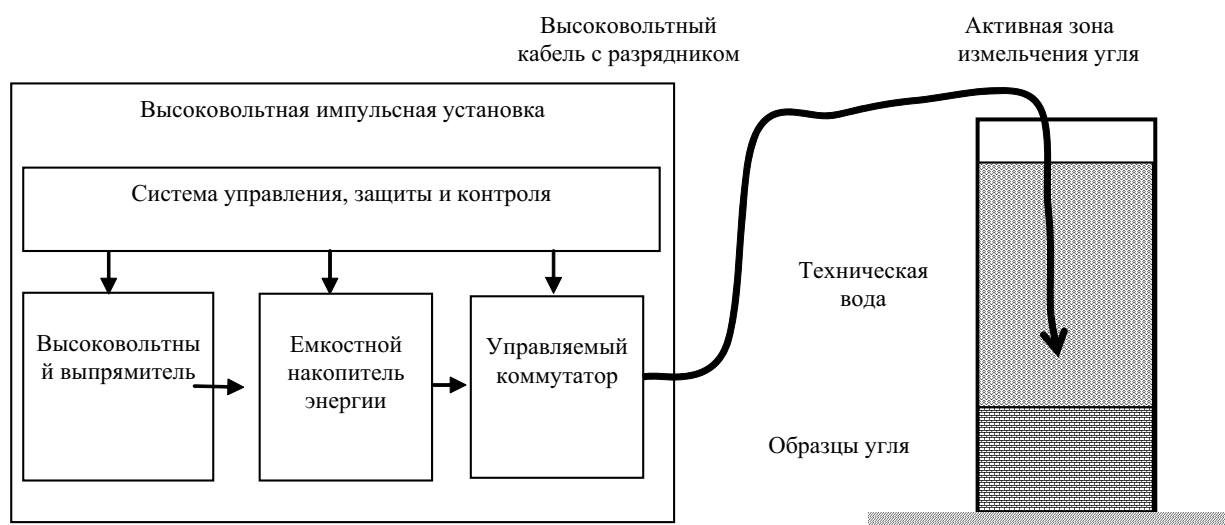


Рис. 3. Макет дробилки для получения водоугольной суспензии

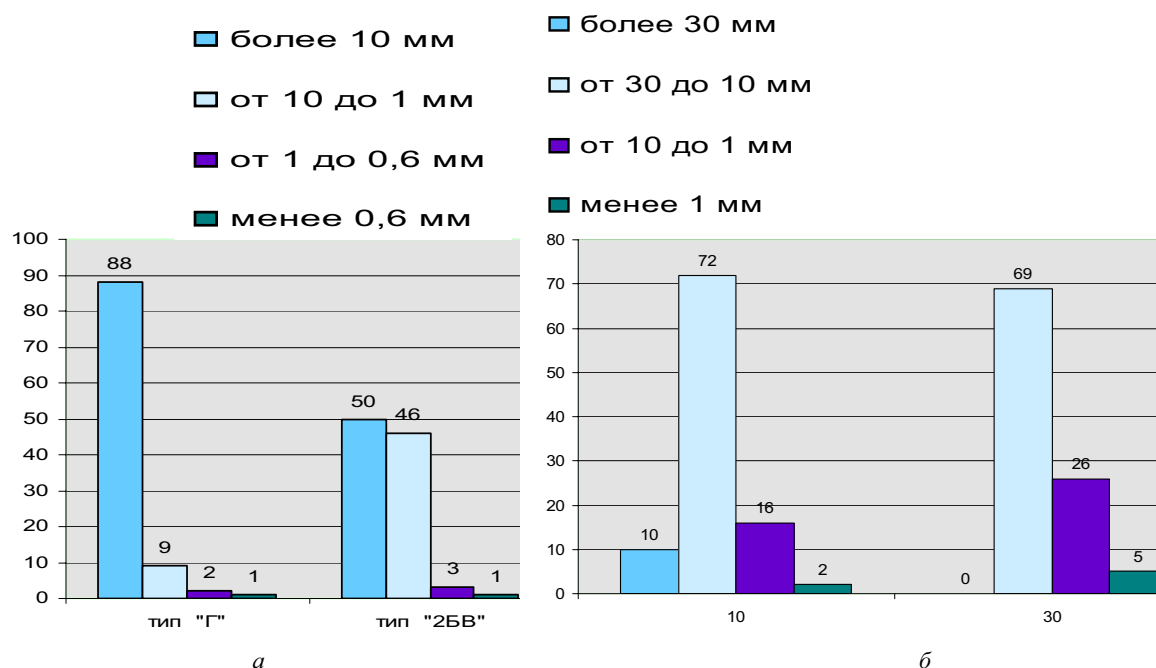


Рис. 4. Процентный состав водоугольной суспензии после последовательностей ударных воздействий для угольного сырья различных типов: а – сравнение угля типов Г и 2БВ при серии из 20 разрядов; б – сравнение угля типа 2БВ при серии из 10 и 30 разрядов

#### Данные, полученные при исследовании дробления угольного сырья

| Марка угля (вес) | Внешний вид угля до и после обработки | Характеристики ударов (напряжение и емкость накопителя энергии)                              | Примечание                                                          |
|------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Г (3,0 кг)       |                                       | 5 ударов – 15 кВ/48 мкФ (5,4 кДж, 9,8 Вт·ч);<br>5 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч)  | Средний размер фракций 50 × 20 мм;<br>энергозатраты ~15 кВт · ч · т |
| 2БВ (3,0 кг)     |                                       | 10 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч)<br>10 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч) | Средний размер фракций 30 × 20 мм<br>энергозатраты ~13 кВт · ч · т  |

разряда ( $U = 50$  кВ,  $C = 0,1$  мкФ). По мере измельчения сырья физические свойства суспензии меняются, что требует повышения амплитуды импульсов. Данная особенность определяет необходимость реализации последовательной технологии измельчения с использованием индивидуальных параметров формируемых силовых высоковольтных импульсов;

– существующая элементная база силовых высоковольтных импульсных генераторов характеризуется ограниченным ресурсом по количеству формируемых силовых импульсов. В частности, ограниченным ресурсом обладают высоковольтные накопительные емкости (до  $1 \cdot 10^6$  разрядов) и коммутирующие разрядники (от  $1 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^6$  разрядов). Заявленный ресурс генератора позволяет выполнить дробление примерно 30...50 т угольного сырья, что для крупномасштабного производства ВУТ не достаточно. Так, производительность одной угольной дробилки при использовании универсального высоковольтного генератора типа «Зевс-42» (с потребляемой от электрической сети мощности 4 кВт) составляет 150...200 кг/ч. Расход электрической энергии при реализации измельчения угольного сырья с помощью ЭГЭ прогнозируется от 15 до 20 кВт·ч на 1 т. Повышение производительности и суммарных энергетических характеристик импульсных генераторов возможно путем увеличения числа активных зон (дробилок). Для измельчения соответствующих фракций целесообразно использовать индивидуальные режимы. Рабочий разрядник должен подключаться к отдельному разрядному накопителю и формирующему промежутку. Повышение ресурса комплектующих силовой установки возможно путем применения мало нагруженных режимов и резервирования основных узлов;

– конструкция активной зоны измельчения находится под ударными воздействиями. Основные механические нагрузки испытывают электроды рабочего разрядника и элементы его крепления. Повышение ударной прочности конструкции и обеспечение постоянства разрядного промежутка увеличивает сроки эксплуатации рабочих разрядников. Для электрической изоляции электродов предлагается применять композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с молекулярной массой более  $1,5 \cdot 10^6$  г·моль<sup>-1</sup>, который обладает повышенной жесткостью, ударной прочностью и сопротивлением к абразивному изнашиванию.

Таким образом, определены возможности применения ЭГЭ для измельчения угольного сырья при получении водоугольной суспензии. Предварительные результаты свидетельствуют об эффективности данной технологии при использовании индивидуальных параметров силовых импульсов для каждого рабочего разрядника. В ходе исследований разработаны общетехнические и специальные требования к опытному образцу оборудования.

#### Библиографические ссылки

1. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986.
2. Подготовка технических решений и разработка схем для внедрения водоугольного сжигания топлива без использования размола угля : отчет о НИР (итоговый) / Сиб. федер. ун-т ; рук. Дубровский В. А. Красноярск, 2009.

V. A. Dubrovsky, Yu. V. Isakov, M. Yu. Potilicyn, I. I. Potapov, V. N. Shirokov

### RESEARCH OF EFFICIENCY OF ELECTROHYDRAULIC EFFECTS AT RECEPTION CAVITATION WATER-COAL OF FUEL FOR BOILER INSTALLATIONS OF KRASNOYARSK REGION

*The efficiency of reception cavitation water-coal of fuel with use of electrohydraulic effects is considered. The results of the carried out researches are analysed at reception cavitation water-coal of fuel.*

*Keywords: cavitation water-coal of fuel, electrohydraulic effect, research.*

© Дубровский В. А., Исаков Ю. В., Потылицын М. Ю., Потапов И. И., Широков В. Н., 2010