

ОСОБЕННОСТИ И ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ АНТРАЦИТОВ

Круть А.А.

Минтопэнерго Украины,

Пристальное внимание к технологии водоугольного топлива во многих странах обусловлено не только отсутствием или недостаточностью собственных ресурсов нефти и газа, но и возможностью ослабить экологическую угрозу от наличия многочисленных шламонакопителей путём утилизации отходов углеобогащения с одновременным получением дополнительного источника дешёвых энергоносителей.

В качестве исходного продукта для приготовления ВУТ используются обычно обогащённые и высокозольные угли начальной и средней стадии метаморфизма с выходом летучих от 42 до 21 % [1,2]. Сведения о промышленном или опытном использовании в мировой практике водоугольного топлива, приготовленного на основе тощих углей и антрацитов с малым (4-12 %) выходом летучих веществ практически отсутствуют.

В то же время существует подтверждённое экспериментально мнение одного из основоположников технологии ВУТ профессора Г.Н. Делягина (Россия, Москва) о возможности приготовления ВУТ из углей всех марок. Особенности технологии приготовления и использования ВУТ при этом определяются свойствами и качественными характеристиками исходного угля [3].

При этом теоретически обосновывается обусловленная особенностями процесса горения ВУТ независимость его воспламенения от выхода летучих веществ. Воспламенение начинается с гетерогенных реакций на поверхности высушенных угольных частиц распылённого водоугольного топлива, процесс активации которых приводит к существенному снижению температуры воспламенения по сравнению с пылевидным углём той же марки.

Так, например, температура воспламенения водоугольного топлива, приготовленного из антрацита (выход летучих 3-5 %), составляет 500 ... 550°C, а для сухой антрацитовой пыли — 900-1000°C. Те же цифры для угля марки Г (выход летучих 40-42 %) соответственно составят: 400 ... 450°C и 650 ... 700°C [4].

В противоречие с приведенным положением входят утверждения некоторых отечественных и зарубежных специалистов [5,9], которые считают неэффективным использование в качестве котельного и печного топлива водоугольных суспензий, приготовленных из углей высокой степени углефикации, именно в силу их пониженной реакционности, обусловленной низким выходом (менее 9 %) летучих веществ.

По нашему мнению, это противоречие может быть разрешено только в результате полномасштабных комплексных исследований и сглаживается при совместном сжигании (в западной литературе co-firing) ВУТ с другими высокорекреакционными топливами с целью снижения выбросов окислов азота или в качестве дожигового топлива [6,7].

В первом случае ВУТ подаётся в топку выше зоны радиального нагрева пылеугольного котла, т.е. используется обычная технология ступенчатого сжигания, имеющая целью управление выбросами окислов азота, с той лишь разницей, что вместо традиционно применяемого природного газа в данном случае вводится более дешёвое искусственное жидкое топливо на основе угля.

Во втором случае имеется ввиду комбинированное сжигание ВУТ совместно с другими высококалорийными видами топлива — пылевидным углём, мазутом или газом в мощных энергетических котлах или крупнокусковым твёрдым топливом в котлах промышленного и бытового назначения с топками слоевого сжигания,

При таких технологиях сжигания водоугольного топлива не только значительно снижаются выбросы в атмосферу окислов азота, но и становятся менее жесткими требования предъявляемые к нему по концентрации, гранулометрическому распределению частиц твердой фазы, эффективной вязкости, стабильности и, главное, выходу летучих веществ.

Количество водоугольного топлива по тепловому эквиваленту при этом не превышает 15-40 % от штатного (основного), за счёт которого и достигается стабилизация факела и обеспечивается полнота выгорания органической массы дополнительного топлива, при достаточной продолжительности пребывания его в основной зоне горения.

Таким образом, выход летучих в твёрдой фазе ВУТ не оказывает какого-либо влияния на воспламенение, стабильность факела и выгорание органики в основном и дополнительном (дожиговом) топливе при их совместном сжигании, что свидетельствует о возможности представляющего большой практический интерес приготовлении водоугольного топлива на основе антрацита и эффективности совместного сжигания его с другими топливами.

Низкорекреакционные антрациты отличаются от высокорекреакционных каменных углей не только крайне низким содержанием летучих, но и рядом других показателей и параметров. В частности, антрациты Донецкого угольного бассейна обладают очень высокой плотностью органики топлива, достигающей 1530 кг/м³ в сравнении с энергетическими углями марок «Д» и «Г», в которых плотность органической массы составляет 1160 и 1280 кг/м³ соответственно [8].

Плотность органической массы угля определяется по зависимости:

$$\rho_{so} = \frac{100\rho_s - 2700A^d}{100 - A^d}, \quad (1)$$

где ρ_{so} — плотность органической массы угля, кг/м³;
 ρ_s — определяемая в пикнометре истинная плотность сухого угля, кг/м³;
 2700 — условно принятая величина средней истинной плотности минеральных примесей в угле, кг/м³;
 A^d — зольность угля на сухую массу, %.

Расчетная плотность угольной массы на основании (1) находится из выражения:

$$\rho_s = \frac{\rho_{so}(100 - A^d) + 2700A^d}{100}, \quad (2)$$

т.е. большая плотность органической массы при прочих равных условиях определяет и большую плотность угольной массы.

С другой стороны, в практике гидротранспортирования механических смесей для количественной оценки их параметров используются зависимости, позволяющие на основании известных плотностей твердой и жидкой фаз (в нашем случае дисперсной фазы и диспергирующей среды) вычислить среднюю плотность дисперсной системы, объемное и массовое насыщение ее твердыми частицами.

При этом плотность суспензии находится из выражения:

$$\rho_c = \rho_o + S(\rho_s - \rho_o) \quad (3)$$

где ρ_c — плотность суспензии, кг/м³;
 S — объемная концентрация суспензии, в долях единицы;
 ρ_o — плотность дисперсионной среды, кг/м³.

Объемная и массовая концентрация суспензии определялись по зависимостям:

$$S = \frac{\rho_c - \rho_o}{\rho_s - \rho_o}; \quad C = S \frac{\rho_s}{\rho_c}; \quad (4,5)$$

где C — массовая концентрация суспензии, в долях единицы.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что:

- относительно высокая плотность органической массы антрацитов обуславливает при равном содержании минеральных примесей и более высокую плотность дисперсной фазы по сравнению с каменными углями;
- высокая плотность дисперсной фазы позволяет получить высокую плотность дисперсной системы и обеспечивает достижение высокой массовой концентрации, поскольку в меньшем объеме содержится большая масса;
- степень предельно допустимого насыщения водоугольного топлива, приготовленного на основе антрацитов, твердыми частицами всегда выше, чем у приготовленного на основе углей других марок.

Таким образом, приготовленное на основе антрацитов водоугольное топливо принципиально будет иметь меньшую влажность, чем на основе газовых и длиннопламенных углей.

Учитывая, что степень влияния влажности на теплоту сгорания топлива больше, чем зольности [4], теоретически при прочих равных условиях водоугольное топливо на основе антрацитов будет обладать большим энергетическим потенциалом даже при высокой зольности исходного продукта.

В этом плане использование высокозольных антрацитовых шламов для приготовления водоугольного топлива с последующим совместным со штатным топливом сжиганием в котлах малой мощности промышленных и бытовых котельных может рассматриваться как дополнительный источник энергоносителей нового поколения.

По данным [5] влажные отходы обогатительных фабрик, перерабатывающих антрациты, представлены балансовыми шламами зольностью 32-45 % и забалансовыми зольностью 45-65 %. Общий ресурс таких продуктов по Донецкой и Луганской области составляет около 12 млн. т.

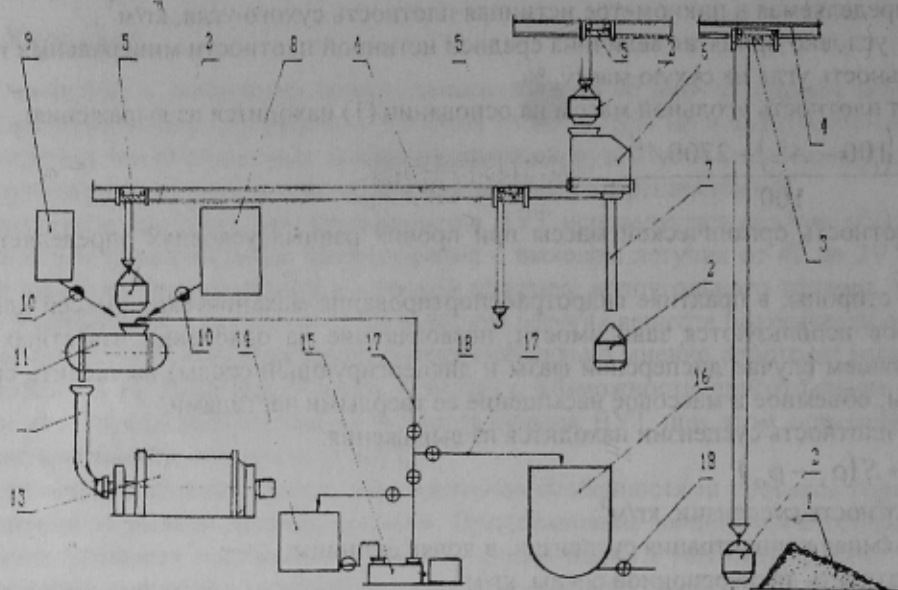
Выполненные расчеты показывают, что при массовой концентрации водоугольного топлива, приготовленного на основе антрацитовых шламов зольностью 50 %, 65-70 % теплотворная способность его будет находиться в пределах 2500-2750 ккал/кг, что вполне приемлемо для условий использования в качестве дожигового или частичной замены основного топлива.

С другой стороны, энергетический потенциал водоугольного топлива, приготовленного на основе обогащенных антрацитов при оптимальном сочетании композиционных составляющих и хорошем взаимодействии химической добавки с дисперсной фазой, может достигать 4500 ккал/кг и выше.

Промышленная проверка изложенных теоретических предпосылок, выполненных расчетов и технологии приготовления водоугольного топлива была осуществлена на лабораторных и крупномасштабных установках НПО «Хаймек».

В лабораторных условиях водоугольное топливо готовилось с использованием лабораторной щековой дробилки, в которой антрацит дробился до крупности 0-3 мм и шаровой лабораторной мельницы, где дроблёный уголь измельчался в присутствии воды и химической добавки. Режим работы мельницы — замкнутый, периодический.

Крупномасштабная стендовая установка для приготовления водоугольного топлива, принципиальная технологическая схема которой приведена на рисунке 1, укомплектована исключительно серийным оборудованием. Последовательность технологических процессов и операций ясна из подрисовочных надписей и обозначений.



1 — штабель угля или шлама; 2 — бадья с разгрузкой через днище; 3 — электроталь (5 т); 4 — монорельс; 5 — электроталь (0,5 т); 6 — молотковая дробилка; 7 — углеспускная труба; 8 — емкость для воды; 9 — емкость для химической добавки; 10 — клапан регулирующий; 11 — смеситель компонентов; 12 — загрузочное устройство; 13 — шаровая мельница МШЦ-900×1800; 14 — приемная емкость; 15 — винтовой насос; 16 — емкость для хранения водоугольного топлива; 17 — трубопроводы; 18 — задвижки.

Рисунок 1- Принципиальная технологическая схема установки для приготовления водоугольного топлива

В качестве химической добавки для приготовления водоугольного топлива использовался суперпластификатор «Дофен», в качестве дисперсионной среды — вода донецкого водопровода.

В качестве основного сырья для приготовления водоугольного топлива приняты антрациты, доставленные для исследований с предприятий ГХК «Торезантрацит». При этом для лабораторных исследований использовались обогащенные антрациты («АС») зольностью на сухую массу $A^d = 12,6\%$, а для исследований на опытной установке с использованием промышленного технологического оборудования — балансовые антрацитовые шламы зольностью $A_d = 37\%$, доставленные с обогатительной фабрики.

Гранулометрический состав угля в водоугольной суспензии после помола в шаровой мельнице, определенный путем мокрого отсева на стандартных ситах, приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Гранулометрический состав угля в водоугольной суспензии

| Крупность, мм | Выход класса, % | Суммарный выход по +, % |
|---------------|-----------------|-------------------------|
| 0,35 – 0,20 | 1,25 | 1,25 |
| 0,20 – 0,10 | 3,70 | 4,95 |
| 0,10 – 0,08 | 18,45 | 23,40 |
| 0,08 – 0,04 | 6,30 | 29,70 |
| – 0,04 | 70,30 | 100,00 |

Различие в гранулометрическом распределении угля в суспензиях, приготовленных в лабораторных и промышленных условиях, было весьма незначительным.

Оценка реологических характеристик водоугольного топлива на основе антрацитов проводилась на ротационном вискозиметре «Rheotest-2» при изменении массовой концентрации суспензии от 62 до 70 % и температуре 20°C.

Полученные опытные данные подвергнуты компьютерной обработке и представлены в виде графических зависимостей касательных напряжений и эффективной вязкости от скорости сдвига и массовой концентрации суспензии. Реологические характеристики водоугольного топлива, приготовленного на основе обогащенного концентрата, приведены на рисунках 2 и 3.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что реологические параметры антрацитовых суспензий на основе обогащенного антрацита существенным образом изменяются в зависимости от массовой концентрации. При этом, происходят не только количественные изменения, когда наблюдается возрастание величины

касательных напряжений с увеличением скорости сдвига и концентрации суспензии, но и качественные, заключающиеся в изменении режима течения от практически ньютоновского к псевдопластическому, рисунок 2 (кривые 1, 2 и 3).

Это положение наглядно иллюстрируется графическими зависимостями, приведенными на рисунке 3. Зависимости 1 и 2 на рисунке показывают, что вязкость практически не зависит от скорости сдвига в диапазоне изменения ее от 10 с^{-1} и выше, что является явным признаком ньютоновского течения. В диапазоне изменения скорости сдвига от 0 до 10 с^{-1} при концентрации 65,7 % суспензия обладает некоторыми признаками дилатантности, а при концентрации 68,7 % — псевдопластичности.

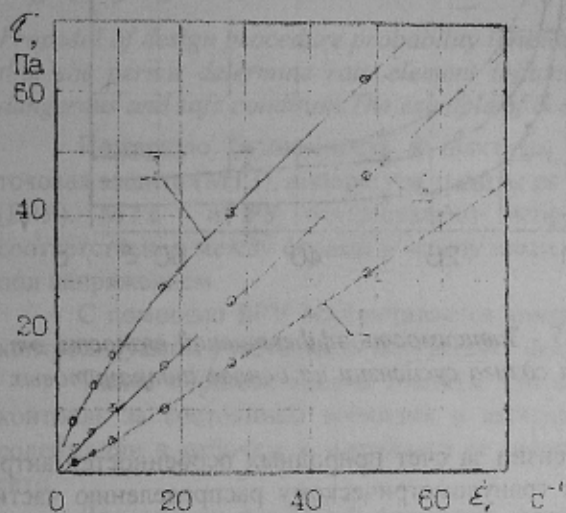


Рисунок 2 - Зависимость касательных напряжений от скорости сдвига суспензии на основе обогащенного антрацита

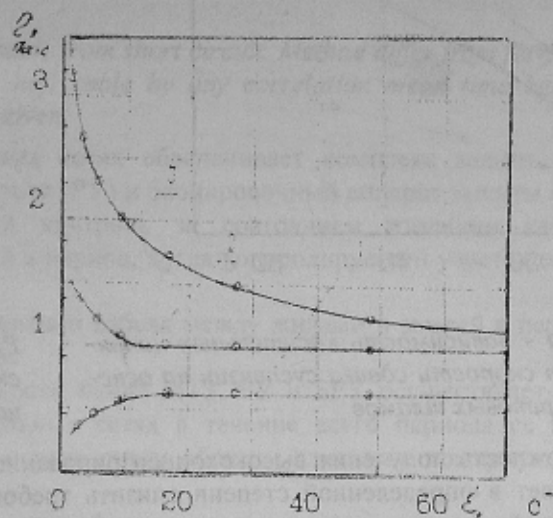


Рисунок 3 - Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига суспензии на основе обогащенного антрацита

И, наконец, кривая 3 свидетельствует о явно выраженном псевдопластичном течении суспензии, когда с увеличением скорости сдвига наблюдается уменьшение эффективной вязкости.

Выполненные исследования показывают, что агрегативная устойчивость и реологическая стабильность суспензии, приготовленной на основе обогащенного антрацита, повышается с увеличением массовой концентрации. При высокой степени насыщения суспензии пылевидными частицами антрацита ($> 70\%$) реологические параметры остаются неизменными на протяжении 10-12 суток, при меньшей (65-68 %) — 5-7 суток. В течение этого же времени суспензия остается практически агрегативно устойчивой. Слой осветленной воды, появляющейся на поверхности занимает не более 3-5 % от объема суспензии, а незначительное механическое или гидравлическое перемешивание восстанавливает ее исходные характеристики.

Реологические характеристики водоугольного топлива на основе антрацитового шлама, приготовленного на опытной установке, оснащенной серийным промышленным оборудованием, приведены на рисунках 4 и 5.

Приведенные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что обычная промышленная технология, предусматривающая одностадийное мокрое измельчение антрацитового шлама, принятого в качестве исходного сырья, в шаровой мельнице позволяет получить водоугольное топливо с концентрацией до 66 % по массе.

В отличие от реологических параметров водоугольного топлива на основе обогащенных антрацитов реологические параметры водоугольного топлива, приготовленного из высокозольных антрацитовых шламов, в исследованном диапазоне изменения массовой концентрации (62-66 %) характеризуются признаками псевдопластического течения. Кривые, характеризующие зависимость касательных напряжений от скорости сдвига суспензии имеют выпуклый характер (рисунок 4, кривые 1, 2, 3), а эффективная вязкость уменьшается по мере увеличения скорости сдвига (рисунок 5, кривые 1, 2, 3).

Водоугольное топливо, приготовленное на основе антрацитовых шламов, сохраняет агрегативную устойчивость в течение 5-7 суток, в течение этого же времени практически не изменяются и его реологические параметры.

Таким образом, данные, полученные в процессе лабораторных исследований и экспериментов на полупромышленной стендовой установке, свидетельствуют о технической возможности приготовления высококонцентрированных водоугольных суспензий на основе антрацитов и антрацитовых шламов, которые могут быть использованы в качестве водоугольного топлива при сжигании его по методу Co-firing или при дожиге.

Выводы:

Характерные особенности антрацитов — высокая органическая плотность в сочетании с высокой теплопроводной способностью позволяют получить высококонцентрированную водоугольную суспензию, обладающую вследствие этого относительно высоким энергетическим потенциалом даже при содержании минеральных примесей (зола) до 50 % и которая может быть использована в качестве водоугольного топлива.

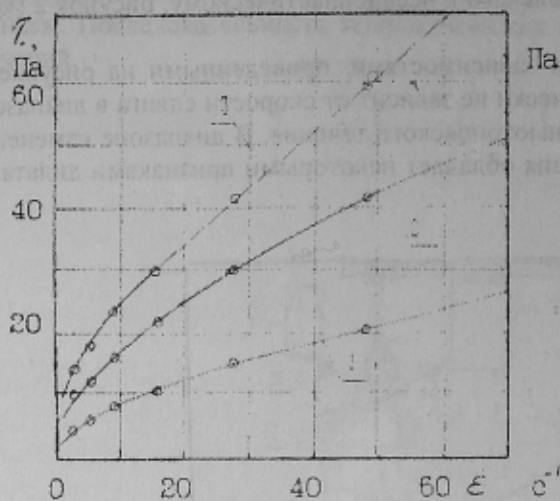


Рисунок 4 - Зависимость касательных напряжений от скорости сдвига суспензии на основе антрацитовых шламов

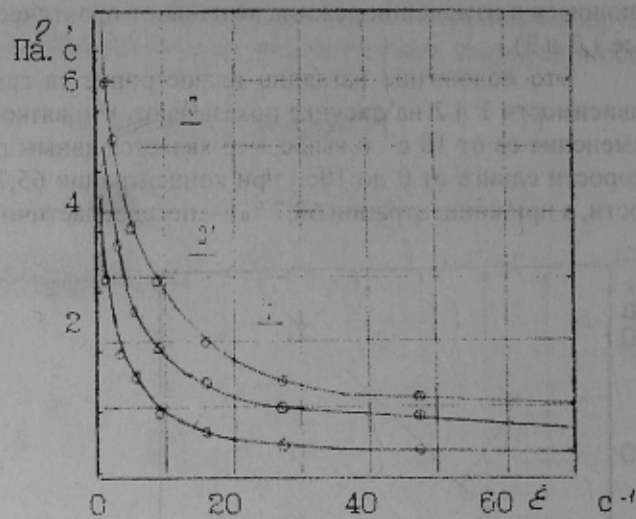


Рисунок 5 - Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига суспензии на основе антрацитовых шламов

Возможность получения высококонцентрированной суспензии за счет природных особенностей антрацита позволяет в определенной степени снизить требования к гранулометрическому распределению частиц антрацита в ней, ограничив выход крупных классов (более — 0,350 мм) 2-3 %, а содержание класса 0-0,04 мм 65-70 %.

Особое внимание по нашему мнению следует уделить технологии приготовления и использования водоугольного топлива на основе высокочольных и высоковлажных антрацитовых шламов.

При этом следует учитывать, что:

- крупность исходного шлама, извлечённого из шламонакопителей, как правило, не превышает 1(3)мм, а содержание в нём класса +1 мм незначительно, поэтому из технологического процесса приготовления водоугольного топлива исключается операция дробления, что не только значительно упрощает технологию, но и снижает энергоёмкость процесса в целом;
- высокая (35-40 %) влажность и повышенное содержание мельчайших (размером менее 50 мкм) угольных частиц, что в других альтернативных (например, циркулирующего кипящего слоя) технологиях вызывают недожог, унос и потери углерода в случае ВУТ являются положительным фактором, поскольку снижают энергозатраты на измельчение и стоимость диспергирующей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ashworth Robert A., Maly Peter M., Carson Richard W. Results of CWS Reburn Tests on 10 x 10 Btu/hr Tower Furnace and its Impact on CWS Reburn Economics / The Proceedings of the 22-nd International Technical Conference on Coal Utilization Fuel Systems.- Clearwater, USA.- 1997. - p.p. 789-800.
2. Morrison Joel L. et.al. A comparative Overview of Coal-Water Slurry Fuels Produced from Waste Coal Fines for Utility - scale Co-Firing Applications / The Proceeding of the 22-nd International Technical Conference on Coal Utilization Fuel Systems.- Clearwater, USA.- p.p. 131-140.
3. Г.Н. Делягин. Водоугольные суспензии - новый вид энергетического топлива// Строительство трубопроводов. - 1989.- N8.- с. 9-12.
4. Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов Т.2 / Б.Ф. Брагин, Г.Н. Делягин, Ф.Д. Моркунтович и др.- К. ИСИО.- 1993, 327 с.
5. Н.И. Дунаевская, А.И. Росколупа, Н.В. Чернявский. Отходы угля. Обзор ресурсов и возможности использования. НТЦУЭ, Украина / Member state technologies dedicated to help the energy self sufficiency process optimising the local resources such as coal.- Kiev.- Yanuary.- 1997.- p.p. 28-31.
6. Morrison Donald K. et al. Coal-Water Slurry Reburning for NOx Emissions Control / The Proceeding of the 20 -th International Technical Conference on Coal Utilization Fuel Systems.- Clearwater, USA.- 1995.- p.p. 47-58.
7. Ashworth Robert A. et al. CWS Co-firing on two Cyclone-fired Electric Utility Boilers / The Proceeding of the 22-nd International Technical Conference on Coal Utilization Fuel Systems.- Clearwater, USA.- 1997.- p.p. 159-172.
8. Справочник по обогащению углей. Под редакцией Н.С. Благова, А.М. Коткина, Н.А. Самылина.- М.: Недра.- 1974.- 488 с.
9. Ванг Цу-На и Жанг Ронг-Ценг. Научно-исследовательские разработки технологии приготовления водоугольного топлива в Китае. пер. с англ. 120/90 ВНИИПИГидротрубопровод. - Донецк. - 1987. - с.23.