УДК 662.737

Архипов В.А. − д.ф.м.н., профессор, Научно исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета, г.Томск, РФ
Сидор А.М. − аспирант, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, РФ
Сурков В.Г. − к.т.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, РФ

Работа выполнена по заданию № 1.4082.2011 Министерства образования и наук Российской Федерации

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНОВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Исследовано влияние кавитационной обработки и органической добавки (мазут) на физико-химические и энергетические характеристики органоводоугольного топлива (ОВУТ). Анализ кавитационной технологии показал, что при использовании кавитатора Петракова возможно совмещение измельчения твердых фракций и смешивания всех компонентов до однородной массы. С увеличением времени кавитации повышается стабильность суспензии (отсутствие расслоения). Результаты, полученные при помощи эмпирической формулы Менделеева, показывают, что повышение содержания мазута в ОВУТ от 0 до 25% повышает теплоту сгорания от 20.8 до 38.0 МДж/кг.

При сжигании ОВУТ в муфельной печи показано, что с увеличением содержания мазута от 0 до 25% время задержки воспламенения уменьшается от 180 до 10 с при температуре 800^{0}С.

Введение

В ближайшей перспективе многими экспертами и аналитиками прогнозируется повышение роли угля в топливно-энергетическом балансе многих стран, что обусловлено его крупными запасами. Однако экологические ограничения (особенно после ратификации Киотского протокола) требуют разработки и внедрения, новых экологически чистых угольных технологий, обеспечивающих высокую полноту использования топлива при максимально низкой вредной нагрузке на окружающую среду.

Все вышесказанное также относится и к переработке тяжелых нефтяных остатков (мазутов и битумов). На фоне этого создаются и активно развиваются технологии приготовления и промышленного использования «альтернативных» видов топлив на основе нефтяных остатков, угля и угольных шламов. [1]

© Архипов В.А., Сидор А.М., Сурков В.Г. 2013

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

Целью работы является возможность объединения измельчения угля и смешивания с водой, водой-мазутом для получения водоугольных и органоводоугольных топлив и изучение влияния кавитационной обработки на физико-химические и энергетические свойства суспензий.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Отработка режимов кавитационной технологии получения ОВУТ;

Изучение влияния длительности кавитационной обработки на стабильность и дисперсный состав суспензии.

Методика приготовления ОВУТ

На первом этапе исследований, проводилась кавитация водоугольной суспензии без добавления к ней мазута. Это позволило оценить влияние кавитации на изменение свойств полученного топлива, стабильность, а также изменения дисперсного состава без добавления органических добавок. На основании изучения различных литературных источников, а также опираясь на данные, полученные в ряде других исследований по кавитации различных суспензий, можно сделать вывод, что изменение тех или иных параметров процесса кавитации в достаточной степени может повлиять на изменение свойств водоугольного топлива. Таким образом, и в данной работе было решено менять условия проведения экспериментов, чтобы иметь возможность оценить влияние кавитации на изменение свойств топливных смесей и подобрать наиболее оптимальные параметры проведения процесса кавитации (компонентный состав суспензии и время кавитационной обработки). Полученные образцы представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Образец №	Мазут, %	Уголь, %	Вода, %	Время кавитации, мин
1	25	26	49	10
2	10	35	55	10
3	5	49	46	10
4(5)	0	52	48	5
4(10)	0	52	48	10
4(15)	0	52	48	15
4(20)	0	52	48	20
5	0	80	20	0

При создании композиций органоводоугольного топлива (ОВУТ) были использованы следующие компоненты: бурый уголь Канско-Ачинского бассейна Барандатского месторождения (Б2), мазут ООО «ВПК-Ойл», вода. Первоначально все компоненты смешивали в таре, затем, полученную консистенцию подвергали кавитационной обработке на кавитаторе Петракова. Изобретение относится к конструкциям насосов-теплогенераторов для использования в локальных системах отопления и горячего водоснабжения и нагрева жидкостей в различных технологических системах.

В процессе кавитации происходит образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация). Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну.

При приготовлении образцов 1-3 в состав добавляли мазут, постепенно уменьшая его процентное содержание, а время обработки было неизменно. Образцы 4(5)-4(20) одинаковы по процентному содержанию веществ, но меняется время кавитационной обработки и образец под номером 5 это исходный уголь, влажность которого составляла 20%.

Стабильность ОВУТ

Для определения стабильности, в колбы объёмом 100 мл. были налиты образцы топлива и каждые трое суток снимались результаты по их расслоению. В итоге оказалось, что помимо состава образцов на расслоение влияет и время кавитации. При увеличении времени кавитационной обработки стабильность образцов значительно увеличивалась, а при добавлении органических компонентов, в нашем случае мазута, стабильность уменьшалась, так как для приготовления топлива было необходимо уменьшить объём угля, что в результате отразилось на расслоении.

После длительного хранения (более 30 суток) водоугольные суспензии самопроизвольно уплотнялись с образованием рыхлых осадков, выделяя жидкую фазу, содержащуюся в их структуре. Это является результатом перегруппировки частиц в процессе их коагуляции, сопровождающейся увеличением числа контактов между частицами, что и приводит к сжатию водоугольных суспензий и выходу из них водной дисперсионной среды. При применении механического воздействия (перемешивания) происходило восстановление первоначальной структуры суспензий. Полученные данные представлены на рисунке 1.

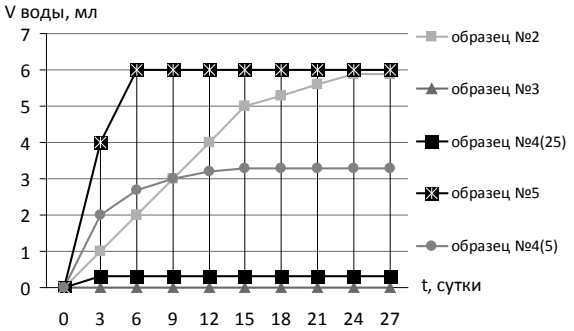

Рис. 1. Стабильность КОВУТ

Для определения дисперсности частиц угля были использованы 4 сита, размеры которых равны 2, 1, 0,5, 0,1мм. Был выбран метод мокрого рассеивания [4]. На верхнее сито встряхивателя подают предварительно смоченное топливо. Включают встряхиватель и пробу непрерывно поливают водой. При рассеве на наклонном встряхивателе с открытой поверхностью сит топливо и воду подают на верхнее сито; рассев на верхнем сите заканчивают после того, как вода, прошедшая через него, не будет содержать частиц топлива. Затем воду подают на следующее сито и ведут рассев, как указано выше. Надрешетный продукт с каждого сита переносят в отдельные емкости. Подрешетный продукт после нижнего сита осаждают. Все продукты рассева сушат, а затем взвешивают. Пробы, в которых содержится мазут, предварительно отделяют методом дистилляции, затем просушивают.

В результате получено, что время кавитации значительно влияет на размер частиц. Первоначально определили дисперсность исходного угля, а затем сравнили его с размерами частиц после 20 минутной кавитации. Результаты приведены на рисунке 2.

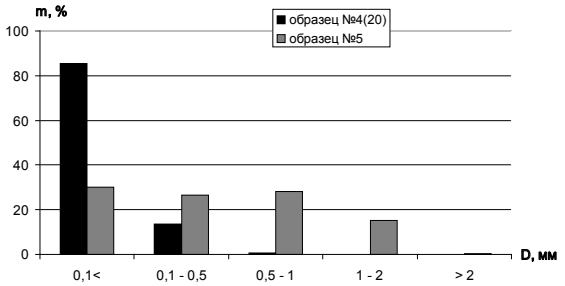

Рис. 2. Дисперсность частиц угля

Энергетические характеристики ОВУТ

Одной из основных энергетических характеристик топлива является его низшая теплотворная способность Q – количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1кг или 1м^3 топлива [6]. Наиболее достоверные данные по теплотворной способности топлив можно получить при их сжигании в калориметрической бомбе или в газовом калориметре. Из приближенных способов определения Q, наиболее близкие к калориметрическим результатам позволяют получить расчеты по эмпирической формуле Д.И. Менделеева для заданного элементарного состава топлива [6]

$Q = 4.18\{81C + 246H – 26 (O + N – S) - 6W\}$, кДж/кг,

где C, H, O, N, S, W – содержание в топливе (масс %) углерода, водорода, кислорода, азота, серы и влаги (гигроскопической воды) в топливе.

Таблица 2.

	Образец				
Элементарный состав, %	мазут	1	2	4(20)	5
C	84	71	58,4	50	50
H	11	8	7,4	6,3	5,3
(O+N)	0,8	24,2	25	26	24
S	2,7	1,4	1	0,7	0,7
W	1,5	49	50	20	20
Q, кДж/кг	39919	29598	26024	19565	19340
Зольность, %	1	3,5	5	8	10

Воспламенение и горение

Для определения характеристик воспламенения и горения топлива, полученные образцы сжигали в муфельной печи. В частности, определяли время задержки воспламенения топлива при различных условиях зажигания. Время воспламенения определяли по появлению визуального пламени.

Изначально эксперименты проводились в муфельной печи с предварительно выставленной температурой. Были сделаны навески массой 1 г, которые помещали в муфельную печь, заранее прогретую до 800 ^{0}C в течение 4 часов для стабилизации температуры. В процессе опыта замеряли время воспламенения и время полного выгорания топлива. После сгорания топлива, вновь взвешивали тигли с остатком, чтобы узнать зольность топлива (таблица 2). Также

во время проведения опытов были сделаны снимки горения образцов цифровым фотоаппаратом.

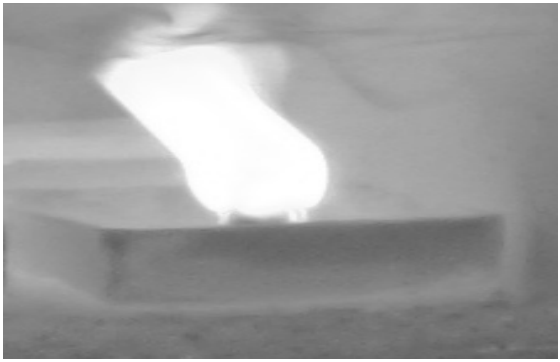

Рис. 3. Горение образца №4 (без мазута)

Все образцы сжигались при температуре 800 ^{0}C, с одинаковыми навесками. После сжигания проводили сравнение физической картины горения в зависимости от состава топлива. Установлено, что образцы, содержащие мазут быстрее воспламеняются, во время горения происходит вылет фракций угольных частиц, и время полного сгорания значительно уменьшается.

В процессе горения жидкого топлива без содержания мазута вылет угольных частиц не наблюдается. При сжигании образца №4 время воспламенения больше, также увеличивается время полного сгорания.

Рис. 4. Горение образца №2 (10% мазута)

Для более наглядного анализа был построен график (рисунок 5), на котором показаны результаты воспламенения образцов полученных водоугольных топлив без добавления мазута, но с разным временем кавитации. Из данного графика можно сделать следующий вывод, что оптимальное время кавитации не должно превышать 10 мин. В ином случае время воспламенения увеличивается и даже превышает задержку, при котором появляется пламя, исходного угля. Возможно, необходимо сжигать ВУТ с более продолжительной обработкой при более высоких температурах.

На рис. 6 приведена зависимость времени задержки воспламенения от процентного содержания мазута в ОВУТ.

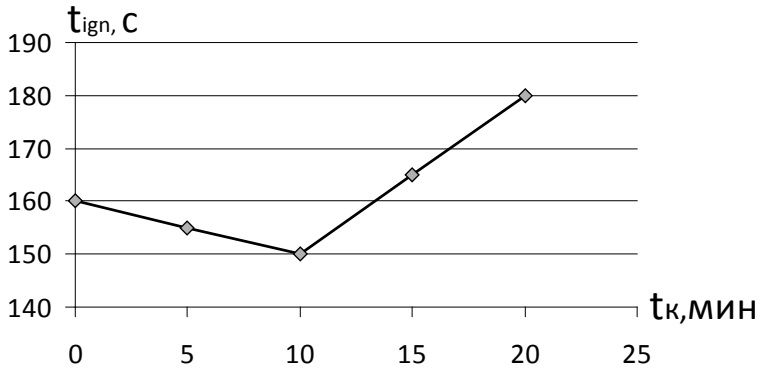

Рис. 5. Зависимость времени задержки воспламенения от времени кавитации

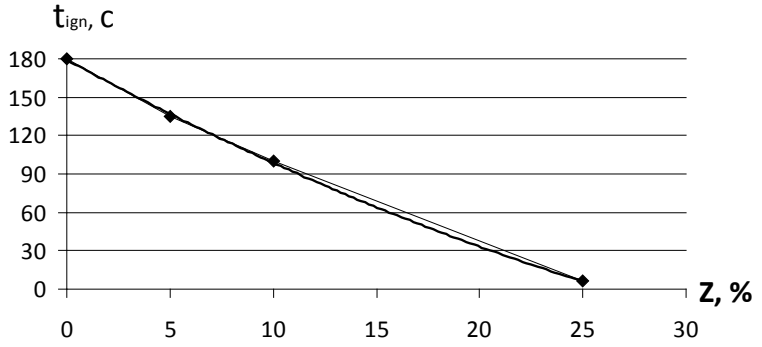

Рис. 6. Зависимость времени задержки воспламенения от процентного содержания мазута

Введение в состав ОВУТ мазута значительно меняет время задержки в меньшую сторону. Проанализировав все полученные значения, можно сказать, что количество мазута в подобном топливе приводит к высоким результатам в энергетической сфере.

После проведения экспериментов можно сделать следующие выводы: с увеличением процентного содержания мазута, растет теплота сгорания, уменьшается зольность и уменьшается время полного сгорания.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Анализ кавитационных технологий обработки ОВУТ показал, что при использовании кавитатора Петракова возможно совмещение двух стадий приготовления топлива: измельчение твердых фракций и смешивание всех компонентов до однородной массы.
- С увеличением времени кавитации повышается стабильность суспензии (отсутствие расслоения), кратно уменьшаются размеры частиц угля.
- Результаты, полученные при помощи эмпирической формулы Менделеева, показывают, что повышение содержания мазута в ОВУТ от 0 до 25% повышает теплоту сгорания от 20.8 до 38.0 МДж/кг.
- При сжигании ОВУТ в муфельной печи показано, что с увеличением содержания мазута от 0% до 25% время задержки воспламенения уменьшается от 180 до 10 с при температуре 800^0C. Содержание золы в продуктах сгорания снижается от 10% до 3,5%, что свидетельствует о повышении полноты сгорания.

Литература

1. Ходаков Г.С., Водоугольные суспензии // Энергетика. 2000. № 2. С. 104-119

   Hodakov G.S., Coal-water slurry / / Energy. 2000. Number 2. S. 104-119.

2. ГОСТ 2093-82 Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического остава.

   Federal standard 2093-82 Solid fuel. The sieve method for determining the particle size remained.

3. Папин А.В. Адсорбция гуматов натрия и ее роль на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий // Молодые ученые Кузбассу: Матер.втор. обл. конф. Кемерово. 2003. С. 188-189.

Papin A.V. The adsorption of sodium humate and its role on the surface of solid particles of highly concentrated coal-water slurries / / Young scientists Kuzbass: Mater.vtor. region. Conf. Kemerovo. 2003. S. 188-189.

4. Солодов Г.А., Заостровский А.Н., Папин А.В., Папина Т.А., Клейн М.С. Утилизация угольных шламов Кузбасса в виде высококонцентрированных суспензий // Вест. Кузбасс.гос. технич. ун-та. Кемерово. 2003. № 6. С. 71-74.

   Malts, G.A., Zaostrovsky A.N., Papin A.V., Papina T.A., Klein M.S. Disposal of Kuzbass coal slurry in the form of highly concentrated suspensions / / West. Kuzbass.gos. techn. Univ. Kemerovo. 2003. Number 6. S. 71-74.

5. Заостровский А.Н., Папин А.В., Папина Т.А., Мурко В.И., Солодов Г.А., Клейн М.С. Обогащение тонкодисперсных шламов методом масляной агломерации // Труды международной науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности». Кемерово. 2003. С. 123.

   Zaostrovsky A.N., Papin A.V., Papina T.A., Murko V.I., Solodov G.A., Klein M.S. Enrichment of fine sludge by oil agglomeration / / Proceedings of the International scientific-practical. Conf. «Energy Security of Russia: New approaches to the development of the coal industry.» Kemerovo. 2003. S. 123.

6. Молчанов В.И., Юсупов Т.С. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов. / М.: Недра, 1981.- 157с.

   Molchanov V.I., Yusupov T.S. Physical and chemical properties of finely divided minerals. / Moscow: Nedra, 1981. - 157c.

Рукопись поступила 15.05.2013 г.