УДК 628.31; 621.499; 661.621

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕНОЛЬНОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Андриенко Е.Ю., Кравченко О.В., Суворова И.Г.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина

АННОТАЦИЯ

Растворенный в воде фенол является экологической проблемой многих производителей кокса и полукокса. В работе рассмотрены энергетические и экологические аспекты использования фенольных сточных вод в качестве водной составляющей водомазутных эмульсий (ВМЭ), водоугольных топлив (ВУТ) и биомазута. Показано, что присутствие фенола в воде не только облегчает процесс приготовления топлива, но и улучшает реологические свойства готовых эмульсий и суспензий. Применение методов гидрокавитационной активации в процессе приготовления и сжигания водотопливных смесей позволяет утилизировать и обезвреживать фенольные стоки.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время решением проблемы повышения стомости традиционных энергоносителей может стать их замена альтернативными композиционными жидкими топливами (АКЖТ). Предлагаемые инновационные методы получения и сжигания АКЖТ открывают перспективы в приготовлении новых композиционных топлив из широкого спектра компонентов.

Работа посвящена обезвреживанию фенольной сточной воды (ФСВ) в составе водотопливных смесей при их сжигании. Исследования водотопливных эмульсий и суспензий на основе фенольной воды показали не только возможность огневого обезвреживания ФСВ, но и повышение эффективности технологических процессов приготовления топливных смесей.

Целью работы является разработка технологии получения высококачественных водомазутных, водоугольных топлив и биомазута с добавлением фенольных сточных вод, организация процесса их сжигания, а также изучение физических и физико-химических свойств АКЖТ на основе фенольных сточных вод.

СВОЙСТВА ФЕНОЛЬНОЙ ВОДЫ

Известно, что фенол обладает поверхностно-активными свойствами, поэтому его наличие в ФСВ, используемой в качестве водной фазы водотопливных смесей, влияет на межфазные взаимодействия в этих топливах. Поверхностно-активные свойства фенола объясняются следующим. Молекула фенола дифильна. Она имеет полярную (гидроксильную группу) и неполярную (бензольное кольцо) части. При приготовлении водотопливных эмульсий и суспензий молекулы фенолов концентрируются на поверхности раздела фаз, ориентируются полярной группой в сторону воды, а неполярной — к мазуту (углю), и создают структурно-механический барьер, защищающий капли воды от слияния при столкновениях в ВМЭ, а также способствуют ускорению процесса смешения ВУТ.

ВУТ и ВМЭ на основе фенольной воды имеют более высокую дисперсность по сравнению с аналогичными АКЖТ на основе водопроводной воды, приготовленными в тех же условиях и при том же соотношении компонентов. Снижение прочности угольных частиц в ВУТ и увеличение поверхности раздела фаз в ВМЭ при кавитационной обра-

© Андриенко Е.Ю., Кравченко О.В., Суворова И.Г.

ботке в присутствии ПАВ связано с тем, что молекулы ПАВ адсорбируются не только на поверхности частиц, но и в микротрещинах и порах, «расклинивая» эти трещины и разрушая частицу [1]. Таким образом, происходит более эффективное дополнительное диспергирование угля при смешении с фенольной водой в кавитаторе.

При обработке биомазута, состоящего из мазута, воды и биоила, в случае, если биоил подвергался обезвоживанию методом коагуляции, гомогенизация имеет проблемы, связанные с тем, что коагулированный ил сбивается в плотные хлопья. При добавлении же ФСВ, благодаря её поверхностно-активным свойствам, молекулы фенолов проникают внутрь хлопьев и адсорбируются на внутренней поверхности, способствуют набуханию хлопьев ила, которые становятся рыхлыми и легче поддаются гомогенизации.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОДОТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ ФЕНОЛЬНОЙ ВОДЫ

В состав традиционных водотопливных смесей, обычно помимо основных компонентов входят вспомогательные: эмульгаторы, пластификаторы. Исследования свойств композиционных топлив на основе ФСВ показали, что фенол способен частично или полностью заменить вспомогательные компоненты топлив.

Табл.1 Компонентные составы традиционных топливных эмульсий и суспензий.

Состав ВУТ с использованием пластификатора	
Вода, % масс.	29-39
Уголь, % масс.	60-70
Пластификатор (Дофен, С-3, УЩР, ЛСТ), % масс.	1
Состав ЭкоВУТ	
Вода, % масс.	30-40
Уголь, % масс.	60-70
Стабилизатор (КМЦ), % от масы тв. фазы	0,3
Состав ВМЭ	
Вода, % масс.	30-40
Уголь, % масс.	60-70
Стабилизатор (КМЦ), % от массы тв. фазы	0,3
Состав биомазута	
Вода, % масс.	12
Мазут, % масс.	88
Эмульгатор (иногда), % масс.	до 1

Для получения и подготовки к сжиганию ВМЭ или ВУТ нами рекомендуется трёхстадийный способ приготовления эмульсионных и суспензионных топлив разработанный в ИПМаш НАН Украины (рис.1).

Вчастности, предлагается следующий технологический процесс приготовления ВУТ. На стадии механической подготовки производят измельчение угля в шаровой (вихревой) мельнице до размеров частиц не более 200 мкм. Смешение измельченной угольной фазы в количестве 60-70 мас.% проводят с добавлением фенольной воды в количестве 29,5-39,5 масс.%, при содержании фенола 1-2 г/л, частично заменяющей пластификатор и поверхностно-активное вещество. На заключительной стадии перемешивания компонентов добавляют пластификатор в уменьшенном количестве 0,5% масс. от общей массы водоугольной смеси.

В процессе гидродинамической кавитационной обработки в роторно-пульсационных апаратах (диспергаторах) возникают зоны кавитации с локальными сверхвысокими давлениями, которые приводят к интенсивной механической деструкции частиц угля.

Дальнейшую химическую активацию и гомогенизацию дисперсной фазы суспензионного топлива проводят в гидровихревом преобразователе, выполненном в виде конфузорно-диффузорного сопла, оснащенном в критическом сечении тороидальной камерой смешения. В результате на выходе гидровихревого преобразователя образуется, подвергнутая интенсивной механической деструкции (частично мокулярной), устойчивая гомогенная смесь ультрадисперсной (до 5 мкм) фазы угля в воде.

Немаловажной особенностью технологии подготовки топлива является его кавитационная активация непосредственно перед сжиганием.

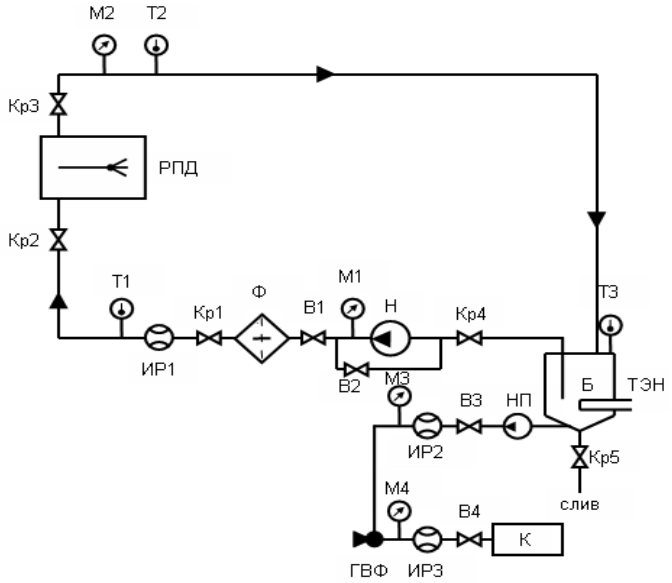

Рис.1 Схема лабораторного стенда для приготовления композиционных топлив. Н – насос для перекачивания среды; НП – насос подкачки; РПД – роторно-пульсационный диспергатор (рабочие органы); Б – буферный бак; ТЕН – нагревательный элемент; Ф – фильтр; ИР1, ИР2 – измеритель расхода жидкости; ИР3 – измеритель расхода газа, М1, М2, М3, М4 – манометры; Т1, Т2, Т3 – термометры; Кр1, Кр2, Кр3, Кр4 – краны; В1, В2, В3, В4 – вентили, регулирующие расход среды; К – компрессор; ГВФ – гидровихревая форсунка [2].

В рабочей камере смесителя-форсунки [2] происходит дополнительное диспергирование, активация топлива за счёт образования свободных химических связей и смешение с воздухом, что приводит к существенному увеличению площади поверхности контакта топлива с окислителем. Такое топливо в первые часы после его приготовления имеет меньшую вязкость за счёт разрыва межмолекулярных (Вандер-Ваальсовых) связей, а также за счет существования отдельных капель мазута и воды. С течением времени капли мазута коалесцируют, образуя дисперсионную среду, а капли воды образуют дисперсную фазу. Межмолекулярные связи восстанавливаются и постепенно упрочняются, смесь загущается. Поэтому для максимальной эффективности сжигания рекомендуется подвергать ВУТ, ВМЭ и биомазут кавитационной активации непосредственно перед подачей в камеру сгорания, так как при хранении его химическая активность снижается, а вязкость увеличивается.

СВОЙСТВА ВОДОТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ С ДОБАВЛЕНИЕМ ФЕНОЛЬНОЙ ВОДЫ

После приготовления водоугольного топлива проведен анализ водной фазы водоугольных смесей на наличие фенола при различных начальных его концентрациях в водной составляющей и при различной степени кавитационной обработки. Концентрация фенола опрелелялась фотоколориметрическим способом при помощи прибора КФК-3-01.

На графике рис.2 показано, что кавитация увеличивает глубину адсорбции фенола углем из водной фазы за счёт увеличения удельной поверхности твердой фазы, но при малых начальных концентраціях - 1,5 г/л (что соответствует средней концентрации фенолов в стоках коксохимических заводов). Для достижения максимальной глубины адсорбции достаточна кавитационная обработка в течение 3 минут.

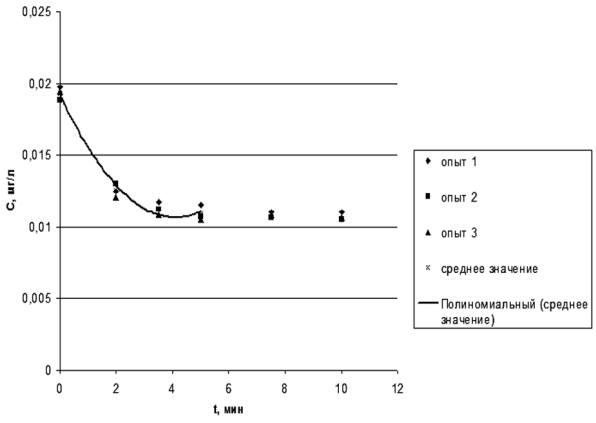

Рис.2 Зависимость концентрации фенола в водной фазе от длительности кавитационной обработки при начальной концентрации фенола 1,5 г/л.

При большей начальной концентрации фенола (25 г/л) значение концентрации перестает меняться после 5 минут кавитационной обработки. Таким образом, целесообразно обрабатывать смесь в кавитаторе не менее 5-7 минут (рис.3).

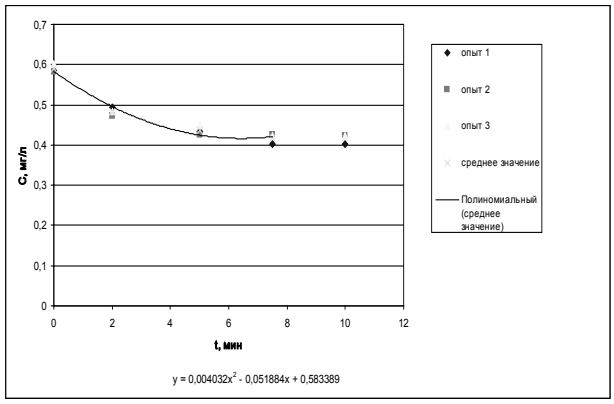

Рис.3 Зависимость концентрации фенола в водной фазе от длительности кавитационной обработки при начальной концентрации фенола 25 г/л.

Благодаря тому, что уголь, входящий в состав ВУТ, адсорбирует фенол, хранение фенольной воды в составе ВУТ является более безопасным по сравнению со стандартными способами хранения.

Исследования реологических свойств ВУТ с использованием фенольной воды показали, что последняя обладает слабовыраженными пластифицирующими свойствами.

Вязкость ВУТ определяли на вискозиметре Реотест 2. Результаты измерения динамической вязкости при различных скоростях вращения измерительного цилиндра приведены на рис.5. Вязкость образцов без фенола оказалась выше, чем с фенолом.

Готовое топливо обладает большей агрегативной устойчивостью благодаря поверхностно-активным свойствам фенола за счет образования адсорбционных слоёв на границе раздела фаз. Исследован процесс осаждения угольных частиц в водоугольной смеси. Для большей наглядности водоугольное топливо было приготовлено с повышенным содержанием воды (70% воды, 30% угля). После приготовления пробы отстаивали, измеряя уровень осадка в цилиндре. В пробах, приготовленных на основе фенольной воды, количество отстоянной воды на 25-30% меньше, чем в пробах, приготовленных на чистой воде, а уровень осадка, соответственно, выше. Агрегативная устойчивость ВУТ (40% воды, 60% угля) без фенола составила лишь 2 суток, а с фенолом – более 15 суток.

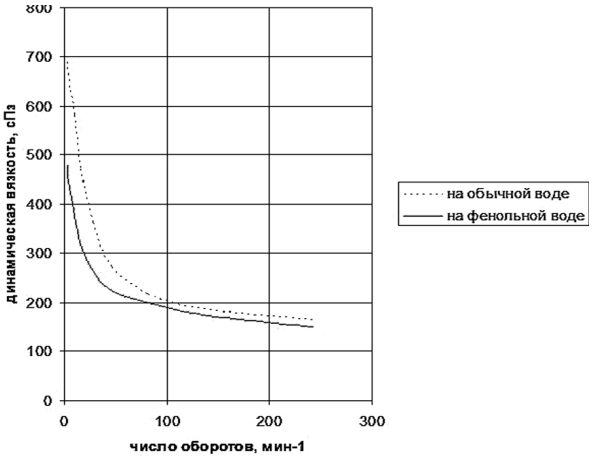

Рис.4 Исследование динамической вязкости ВУТ.

Таким образом, фенол, содержащийся в сточных водах, при использовании в качестве водной фазы в водоугольных суспензиях, повышает их агрегативную устойчивость.

В отделе нетрадиионных энерготехнологий ИПМаш НАН Украины проведены эксперименты по сжиганию ВМЭ с ФСВ, которые доказали возможность огневого обезвреживания ФСВ. Степень обезвреживания достигла 99,6%. Испытания по распыливанию композиционных топлив с добавлением фенольной воды представлены на рис.5 [3]. На рис.6 изображена установка для сжигания ВМЭ с добавленим фенольной воды [4].

Рис.5 Испытания по распыливанию ВУТ с добавлением фенольной воды.

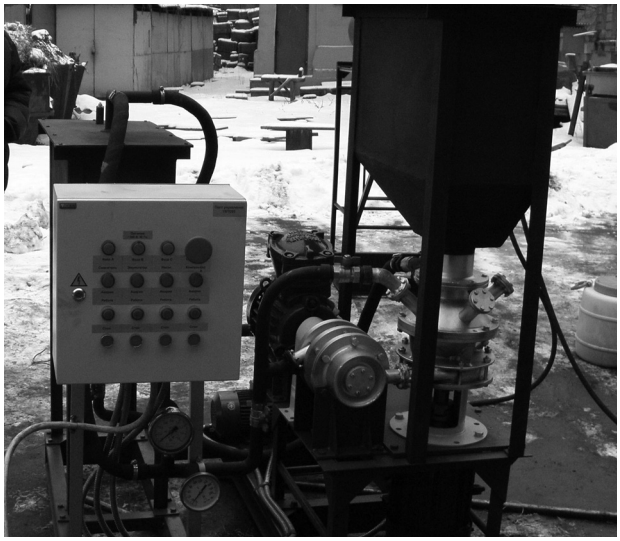

Рис.6 Установка для сжигания ВМЭ с добавлением фенольной воды.

Экспериментальные и теоретические исследования показали целесообразность утилизации ФСВ путем использования в качестве водной фазы водотопливных эмульсий и суспензий.

ВЫВОДЫ

Получено экспериментальное подтверждение возможности и высокой эффективности обезвреживания фенольных стоков в камерах сгорания энергоустановок в составе топлив, приготовленных с применением принципа гидрокавитационной активации. При этом достигается улучшение потребительстких показателей получаемых топлив. Выбран способ достижения максимальной эффективности обезвреживания фенольных стоков при сжигании в составе водомазутного, водоугольного топлива и биомазута. Наиболее эффективным методом обработки топлив для достижения максимального выгорания загрязнителей является кавитационная активация, приводящая улучшению многих показателей получаемых топлив, в частности, вязкости, дисперсности, стабильности, распыливаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер – М. : Наука, 1979. – 384 с.
2. Пат. 82138, Україна, МПК B01F 5/02, 04, 06, B02C 19/06. Змішувач-форсунка /І.Г. Суворова, О.В. Кравченко (Україна). – Заявл. 19.06.2006; Опубл.11.03.08. Бюл. №5.
3. Кравченко О.В. Моделирование гидродинамических процессов в устройствах высокоэффективного распыливания жидких топлив/О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, И.А. Баранов, С.С. Холобцев//Авиационно-космическая техника и технология. − Харьков; НАУ ″ХАИ″, − 2008. − № 7/54. − С. 83 − 89.
4. Андриенко Е.Ю. Метод огневого обесфеноливания сточных вод коксохимических заводов/ Е.Ю. Андриенко, А.В. Бастеев, О.В. Кравченко, П.В. Карножицкий, Л.В. Тарасенко, К. Юссеф // Углехимический журнал. – 2009. – № 5-6. – с. 69-74. – ISSN 1681-309X.

© Андриенко Е.Ю., Кравченко О.В., Суворова И.Г.