УДК 621.1

Кравченко О.В. – к.т.н., Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина
Суворова И.Г. – д.т.н., Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина
Гоман В.А. – аспирант, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина
Мусиенко Е.Ю. – Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина
Даниленко А.М. – Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина

КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА, ПОДГОТОВКИ И СЖИГАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ

С целью замены традиционных углеводородных энергоносителей и угля предлагается применение новых видов искусственных композиционных жидких суспензионных и эмульсионных топлив (ИКЖТ) на основе некондиционных углеводородов, высокозольного угля, биомассы, отходов различных производств. Высокие потребительские характеристики таких топлив основываются на разработке и внедрении новых технологических приемов при их производстве и сжигании. Созданный экспериментальный комплекс позволяет исследовать влияние механо-химического, гидрокавитационного и плазмохимического методов активации физико-химических процессов на энерго-экологические показатели производства, подготовки и сжигания новых видов композиционных топливных эмульсий и суспензий. Показано, что применение методов активации позволяет вовлекать в производство ИКЖТ различные виды отходов в качестве топливных составляющих, решая при этом как энергетическую задачу, так и экологическую проблему. В-частности, рассмотрена возможность использования фенольной воды для частичной замены поверхностно-активных веществ при приготовлении композиционных топлив.

Ключевые слова: кавитация, композиционное топливо, гидрокавитационная форсунка, СВЧ-плазмотрон, активация, фенольная сточная вода.

Введение

В связи с мировым энергетическим кризисом и постоянным повышением стоимости углеводородных видов топлива, в настоящее время актуальной задачей является их замена на альтернативные, в том числе и композиционные. Композиционное топливо – устой-

© Кравченко О.В., Суворова И.Г., Гоман В.А., Мусиенко Е.Ю., Даниленко А.М. 2013

чивая топливная смесь на основе двух и более видов топлива или топлива с другими горючими и негорючими компонентами. Приготовление и предпламенная активация такого топлива осуществляется, как правило, современными высокоэффективными устройствами - дезинтеграторами, вибромельницами, мельницами-активаторами, кавитационными устройствами и др.

Использование таких видов топлива позволяет не только существенно улучшить экономические показатели получения тепловой и электрической энергии, но и снизить уровень вредных выбросов в атмосферу при работе различных энергетических установок [1].

Актуальность проблемы использования композиционных топлив обусловлена проблемами повышения эффективности ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий их получения и сжигания. В значительной мере эффективность сжигания зависит от способа и условий получения топлив, соотношения веществ в смесях, размера частиц дисперсной фазы, качества распыливания в камерах сгорания, особенностей организации процессов горения и т.д.

Комплекс для исследования процессов получения, подготовки и сжигания композиционного топлива

В отделе нетрадиционных энерготехнологий Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины создан энерготехнологический комплекс для получения и сжигания «модельных» жидких композиционных топлив [2] в виде водных эмульсий и суспензий на основе углеводородных фракций, угля и других компонентов, схема которого показана на рис. 1. Цель создания этого комплекса - исследование влияния факторов, таких как размер и форма частиц твердой фракции, размер капель водной фазы, качество распыла при сжигании, интенсивность гидрокавитационной обработки, количественное соотношение компонентов и др. на физико-химические свойства топлива, его седиментационную устойчивость и энергоэкологические показатели процесса сжигания.

Рассматриваемый комплекс включает несколько исследовательских и технологических модулей. Для предварительного измельчения твердой фазы, в частности, угля, используются шаровая мельница или аттритор, а для получения эмульсий - «луночный» диспергатор. Комплекс также укомплектован дезинтегратором грубого помола, устройством для мокрого или сухого приготовления суспензионных топлив, кавитатором [3], гидрокавитационной форсункой [4], горелочным устройством и системой термо- баротермической и физико-химической диагностики. Установка для исследования процессов получения композиционных топлив показ на на рисунке 2.

Для приготовления «модельного» композиционного топлива с заданными потребительскими свойствами используются различные отдельные узлы комплекса или его комбинации. Так, для приготовления водомазутных эмульсий или водоугольных суспензий используются устройства для грубого размола, доизмельчения частиц до необходимой дисперсности, гидрокавитационной обработки, предпламенной активации, распыливания при сжигании полученного топлива. При помощи кранов, задвижек, дросселей, а также варьирования скоростей вращения роторов агрегатов имеется возможность проведения исследования процессов гидрокавитационной обработки эмульсий и суспензий в широком диапазоне изменения параметров процесса приготовления композиционного топлива. По всему тракту комплекса проводится измерение температур и давлений при помощи восьмиканальных измерителей-регуляторов «ОВЕН» ТРМ-138.

При приготовлении водоугольных суспензий уголь предварительно измельчается в аттриторе, затем смешивается в необходимых пропорциях с водой, поступает в дезинтегратор для предварительного смешивания. После этого проводится гидрокавитационная обработка водоугольной суспензии в кавитаторе для измельчения угля в водной среде, кавитационной активации частиц угля, гидрокрекинга и гомогенизации, в процессе реализации которых частицы угля распадаются на отдельные органические составляющие, но уже с активной поверхностью частиц и большим количеством свободных радикалов. Полученное таким образом топливо является стабильным, пластичным, имеет высокую степень выгорания, более высокую теплотворную способность. Далее проводится сжигание с целью сравнительного исследования полученного топлива с традиционными видами топлива по определению вредных выбросов в атмосферу и теплофизических характеристик топлива. Распыл производится с помощью гидрокавитационной форсунки, применение которой обеспечивает ультрадисперсное диспергирование, дополнительную кавитационную обработку топлива и его предпламенную активацию**.** Применяемые гидрокавитационные форсунки показаны на рисунке 3. Измерение объемных концентраций вредных веществ в дымовых газах при сжигании полученного топлива производится с помощью газоанализатора, газозаборное устройство которого установлено в дымоотводящей трубе горелочного устройства. Для оценки экономической эффективности предлагаемой технологии получения ИКЖТ определение энергозатрат в процессе получении композиционного топлива при помощи многофункционального устройства Diris A20 для измерения параметров и объемов потребляемой электроэнергии.

При приготовлении водотопливных эмульсий составные компоненты поступают в луночный диспергатор для предварительного эмульгирования и создания необходимой дисперсности водной фазы,

далее проводится гидрокавитационная обработка эмульсии с целью изменения структурного топлива – «разрыва» длинных углеводородных цепочек, увеличения в топливе «легких» фракций, улучшения теплофизических характеристик и реологических свойств. Далее проводится сжигание с целью сравнения энергоэкологических характеристик процесса сжигания полученного топлива с традиционными видами топлива. Для получения композиционного топлива могут применяться нефтешламы, гудроны, обводненный мазут различных марок, что позволяет не только получить необходимое композиционное топливо, но и утилиутилизировать различного вида некондиционные углеводороды и различного вида подтоварные воды с нефтяными или химическими загрязнениями.

Сжигание полученного композиционного топлива производится в горелочном устройстве обеспечивающим тангенциальную подачу вторичного воздуха и возможностью подключения плазмотрона для предпламенной активации топлива. Применение данного устройства позволяет провести исследования процессов сжигания топлива как прямоточным, так и вихревым способами для определения оптимальных характеристик процесса сжигания композиционного топлива, с применением высокореакционного топлива для подсветки, а так же без него при использовании плазмотрона.

Данное устройство, схема которого показана на рис. 5, предназначено для сжигания композиционных топлив, горение которых в прямоточном горелочном устройстве усложнено либо невозможно по различным причинам. Внутренняя поверхность футерована огнеупорным кирпичем для создания необходимых температурных условий при сжигании водоугольных суспензий и других композиционных топлив. В начальной части горелочного устройства установлен пережим из огнеупорного камня с конусным отверстием для предварительного разогрева впрыскиваемого через форсунку топлива, от горячих стенок которые нагревают топливо и улучшают процесс сгорания. В верхней части имеются смотровые окна для визуализации процессов горения. По тракту устройства установлены термодатчики для определения термических характеристик процесса сжигания полученного композиционного топлива. Фотографии горелочного устройства показаны на рисунке 4.

Применение свч плазмы для активации предпламенных процессов

Проведенные в настоящее время исследования показали, что применение в горелочном устройстве СВЧ-плазмотрона обеспечивает явные преимущества по сравнению с другими способами интенсификации горения композитных топлив.

Генератор низкотемпературной плазмы–плазмотрон использует электромагнитную энергию сверхвысокочастотных колебаний и является высокоэффективным преобразователем электрической энергии электромагнитного поля в тепловую энергию газо- или воздушного потока. Тепловой КПД СВЧ-плазмотрона достигает 88…90 %.

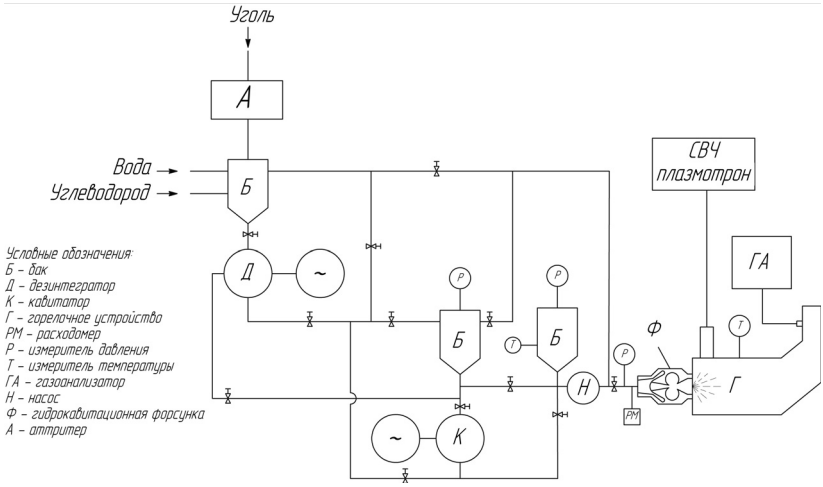


Рис. 1. Схема установок для проведения комплексных исследований процессов получения и сжигания композиционных топлив

Рис. 2. Установка для получения эмульсионных и суспензионных композиционных топлив

При применении СВЧ-техники в котлах ТЭС можно без использования природных органических топлив (природного газа, мазута) успешно сжигать следующие композиционные топлива:

- смесь угольной пыли и водяного пара;
- предварительно подготовленную водоугольную смесь (ВУТ) или любое другое композиционное топливо.

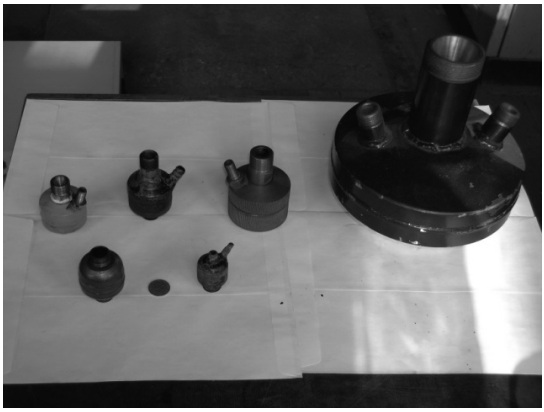


Рис. 3. Гидрокавитационные форсунки

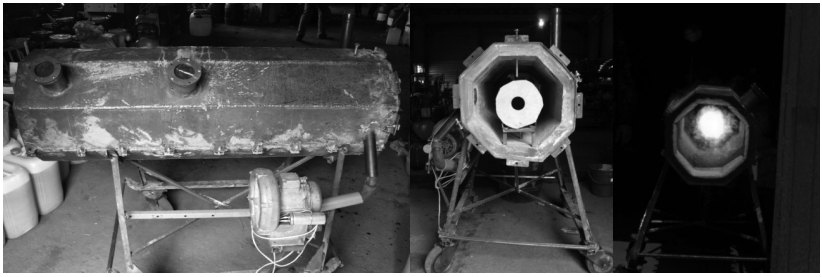


Рис. 4. Горелочное устройство

Установка плазменной активации включает в себя источник высоковольтного питания, блок контроля и управления, СВЧ-плазмотрон, пылевихревую форсунку, волноводный узел, узел подачи плазмообразующего газа в плазменный модуль, питатели пылевидного топлива, шиберные заслонки, электромеханические ротационные расходомеры, систему подачи топлива и вентилятор.

Принцип действия СВЧ - плазмотрона следующий: сверхвысокочастотный плазменный разряд возникает в плазмообразующем газе в результате инициации лавинообразного высоковольтного электрического пробоя в области электромагнитного поля резонатора. Электрический пробой сопровождается массированной ионизацией нейтральных атомов и молекул среды плазмообразующего газа в электрически заряженные частицы (ионы). Процесс ионизации сопровождается выделением большого количества тепловой энергии с образованием плазменного факела. В зависимости от выходной мощности генератора электромагнитной энергии температура плазменного факела может достигать 6000 ºС и выше. Потоком плазмообразующего газа (воздуха, водяного пара или иного инертного газа) плазменный факел выносится в полость топки котла, куда также подается подготовленное топливо: аэро- или пароугольная смесь, ВУТ или любое другое композитное топливо.

СВЧ-плазмотрон не содержит электродов. Это принципиально отличает СВЧ - плазмотрон от известных электродуговых плазмотронов в лучшую сторону, так как электроды, содержащиеся в дуговых плазмотронах, под воздействием высокой температуры электрической дуги быстро выгорают, и требуют замены каждые 200-300 часов работы. В присутствии водяных паров этот срок сокращается до нескольких часов.

Конструкция СВЧ-плазмотрона позволяет использовать подачу специально подготовленного водо-угольного топлива (ВУТ) или водяного пара, поскольку не происходит контакта плазменного факела с конструктивными элементами горелки и, соответственно, их нагрева. Поэтому негативное воздействие водяного пара или ВУТ на СВЧ-плазмотрон в процессе работы горелки полностью отсутствует. Водяной пар подается для интенсификации газификации угольного топлива. На рисунке 5 приведена принципиальная схема работы горелки с СВЧ-плазмотроном.

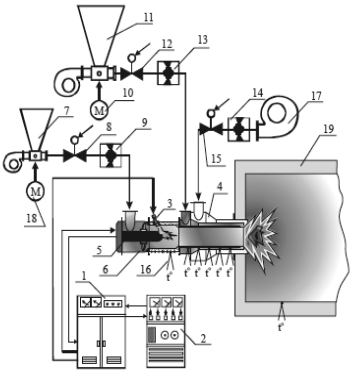
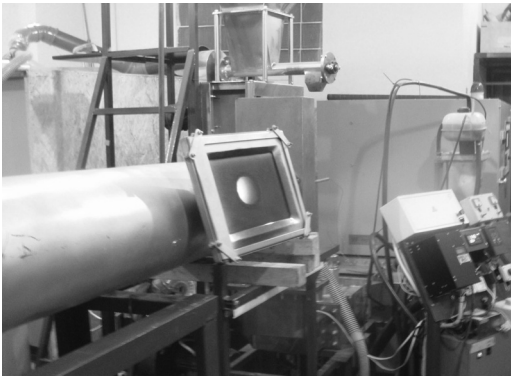


Рис. 5. Схема плазменного розжига топливных смесей

Под воздействием плазмы частицы угля дробятся на более мелкие компоненты. В результате этого происходит интенсивная газификация угля и улучшение его реакционных свойств, что обеспечивает более устойчивый процесс горения. При этом наблюдается раннее воспламенение холодной топливной смеси. В этом случае в течение относительно малого временного промежутка (~0,05 с), угольные частицы за счет контакта с плазменным факелом нагреваются и воспламеняются, происходит зажигание угольной пыли. Горение антрацита на испытательном стенде показано на рисунке 6.



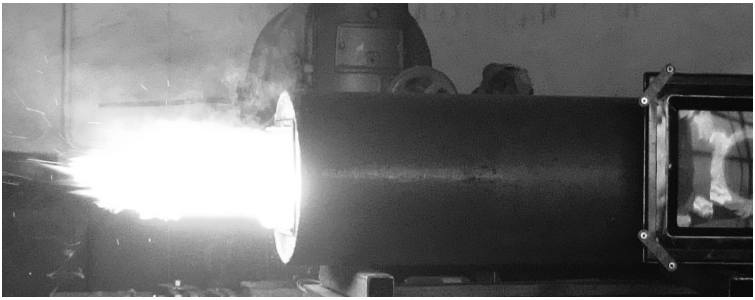


Рис. 6. Горение антрацита на испытательном стенде СВЧ-плазмы

Исследование процессов получения композиционного топлива с добавлением фенольной воды

Энергозатраты на помол угля и его доизмельчение в гомогенизаторе-диспергаторе довольно велики, причём с уменьшением размера угольных частиц затраты энергии на разрушение резко возрастают. Это связано с тем, что, во-первых, по литографическому составу уголь неоднороден, следовательно, и прочность его неравномерна по объёму.

Сначала разрушаются менее прочные, а затем поддаются размалыванию более прочные составляющие.

Для повышения эффективности помола угля предлагается технология измельчения с добавлением ПАВ. В качестве ПАВ (частичной замены) предполагается использовать фенольную сточную воду (ФСВ) [5]. Молекулы фенолов создают структурно-механический барьер, защищающий капли воды от слияния при столкновениях в эмульсии и способствуют ускорению процесса смешения ВУТ.

Водотопливные эмульсии и суспензии на основе фенольной воды имеют более высокую дисперсность по сравнению с ВУТ и ВМЭ, приготовленных на основе технической 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 в процессах измельчения или кавитационной обработки в присутствии ПАВ связано с тем, что молекулы ПАВ адсорбируются не только на внешней поверхности частиц, но и в микротрещинах и порах, «расклинивая» эти трещины и разрушая частицу. Таким образом, происходит более эффективное дополнительное диспергирование угля при смешении с фенольной водой в кавитаторе.

В процессе приготовления биомазута, состоящего из мазута, воды и биоила, часто используют биоил, обезвоженный методом коагуляции. Для лучшей гомогенизации необходимо размягчить или измельчить коагулированный ил, который представляет из себя плотные хлопья. Исследования показали, что при добавлении 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.

В состав традиционных водотопливных смесей обычно помимо основных компонентов входят вспомогательные: эмульгаторы, пластификаторы, стабилизаторы. Проведенные исследования свойств композиционных топлив на основе ФСВ показали, что фенольная вода способна улучшить эксплуатационные свойства ИКЖТ и частично или полностью заменить вспомогательные компоненты топлив.

Эксперименты по сжиганию водотопливных смесей с добавлением фенольной воды свидетельствуют о возможности эффективного обезвреживания фенольных сточных вод в топочной камере энергоустановки [6].

Заключение

Получаемые композиционные топлива могут быть использованы в народном хозяйстве, энергетике, металлургии и других отраслях про-

мышленности для замены более дорогих и дефицитных углеводородных видов топлива, что обеспечивает возможность утилизации различных отходов, которые могут применяться как составные компоненты синтезируемых энергоносителей.

Созданный комплекс позволяет исследовать физико-химические свойства получаемых композиционных топлив, их устойчивость и энергоэкологические показатели в процессе сжигания:

Экспериментальные данные, полученные в результате исследований с использованием возможностей энерготехнологического комплекса позволяют оптимизировать количественные соотношения компонентов, создаваемых композиционных топлив, определять оптимальные режимы работы отдельных узлов и агрегатов, исследовать влияние конструктивных факторов на энергоэкологические показатели процесса сжигания получаемых эмульсий и суспензий, а также установить соответствие получаемых топлив действующим экологическим нормативам, определить экономическую эффективность создания таких топлив и выдать рекомендации по модернизации и регулированию теплотехнического оборудования и других установок, использующих для сжигания углеводородные виды топлива.

Литература

1. Обоснование целесообразности использования в промышленных энергоустановках суспензионных горючих / О. В. Кравченко, Л. В. Тарасенко, А. В. Бастеев, В. В. Форфутдинов // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ, 2007. – № 7(43). – С. 7 – 11.

   Substantiation of expediency of use slurry fuels in industrial power plants. / O.V. Kravchenko, L.V. Tarasenko, A.V. Basteyev, V.V. Forfutdinov // Aerospace technics and technology. Kharkov: KhAI, 2007. - №7 (43). – P. 7 – 11.

2. Гоман В.А. Установка для исследования процессов получения и сжигания композиционных топлив / В.А. Гоман, Е.Ю. Мусиенко // Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів “Сучасні проблеми машинобудування”. – Харків: ІПМаш НАН України, 2012. − С. 68.

   Goman V.A. Apparatus for studying the processes of production and burning composite fuels / V.A. Goman, Y.Y. Musiyenko // Abstracts of the conference of young scientists and specialists «Modern problems of mechanical engineering». – Kharkov: IPMash NAN of Urraine, 2012. – P. 68.

3. Пат. 81479. МПК[7] B01F 7/00, C 10 G 7/06. Спосіб переробки мазуту та роторно-кавітаційний диспергатор для його здійснення

/ І.І. Мирошниченко, І.Г. Суворова, Ю.М. Мацевитий, О.В. Кравченко, А.О. Тарелін, І.І. Мирошниченко (Україна). – № 200510753; заявл. 14.11.05; опубл.10.01.08, Бюл. № 1. – 2 с.

Pat. 81479. MPK[7] B01F 7/00, C 10 G 7/06. Method for processing oil and rotary cavitation dispersant for its implementation / I.I. Miroshnychenko, I.H. Suvorova, Y.M. Matsevytyi, O.V. Kravchenko, A.O. Tarelin, I.I. Miroshnychenko (Ukraine). - № 200510753; zayavl. 14.11.05; opubl. 10.01.08, Byl. № 1. – 2 s.

4. Пат. 82138. МПК[7] B01F 5/02, 04, 06, B02C 19/06. Змішувач-форсунка / І.Г. Суворова, О.В. Кравченко (Україна). – № U200606857; заявл. 19.06.2006; опубл.11.03.08, Бюл. № 3. – 4 с.

   Pat. 82138. МПК[7] B01F 5/02, 04, 06, B02C 19/06. Mixer-injector / I.H. Suvorova, O.V. Kravchenko (Ukraine). – № U200606857; zayavl. 19.06.2006; opubl. 11.03.08, Byl. № 3. – 4 s.

5. Кравченко О. В. Энергетические и экологические аспекты использования фенольних сточных вод в качестве компонента водоугольных топлив / О.В. Кравченко, Е.Ю. Андриенко // Экология и промышленность. – 2011. – № 3. – С. 67 – 71.

   Kravchenko O.V. Energy and environmental aspects of the use phenolic wastewater as a component of coal-water fuels / O.V. Kravchenko, Y.Y. Andriyenko // Ecology and Industry. - 2011. – № 3. – P. 67 – 71.

6. 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.

   The method of firing removal of phenols wastewater from coking plants // Y.Y. Andriyenko, A.V. Basteyev, O.V. Kravchenko, P.V. Karnozhitskiy, L.V. Tarasenko, K. Yussef // Journal of Coal Chemistry. – 2009. – № 5-6. – p. 69-74. – ISSN 1681-309X.

Рукопись поступила 22.05.2013 г.