УДК 621.311

ОЦЕНКА МЕТОДОВ СЖИГАНИЯ ВОЛОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА – ИСКУССТВЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ

Овчинников Ю.В., Бойко Е.Е.
(Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск)

Водоугольное топливо обладает характеристиками, которые делают его привлекательным для использования в энергетических котлоагрегатах.

Во-первых, это его взрывобезопасность, что исключает «хлопки» в системах топливоподачи. Из-за «хлопков» - взрывов угольной пыли в смеси с воздухом – значительно снижается коэффициент готовности энергоагрегатов и возникают нештатные ситуации в энергоснабжении. Из-за взрывоопасности пылесистем пришлось отказаться от идеи центральной паровой задвижки, центральных пылезаводов для блочных ТЭС большой мощности, что обеспечивало бы повышение эффективности электрогенерации.

Во-вторых, содержание воды в топливе и восстановительная среда в топке делают ненужной сложную ступенчатую систему сжигания пыли с целью подавления образования оксидов азота, следовательно, упрощается схема обвязки котлоагрегата и удешевляется эксплуатация электроустановок.

Водоугольное топливо (ВУТ) и искусственное композиционное жидкое топливо (ИКЖТ), как одна из его разработок, экологически более чистое топливо, чем уголь и мазут. По минимуму отрицательного воздействия на окружающую среду продукты сгорания ВУТ уступают только природному газовому топливу. Но кроме атмосферы ТЭС загрязняют также и воду, и землю. Сегодня проблема нехватки чистой воды становится все острее. Загрязнение воды техногенными и антропогенными сбросами увеличивается возрастающими темпами. Чистая вода становится все более дорогим ресурсом. Однако, энергоустановки, работающие на водоугольном топливе, являются естественными очистителями загрязненной воды. Топливо ИКЖТ на 40…50% состоит из воды, причем эта вода вполне может быть сточной водой. Пройдя через цикл испарения и конденсации в атмосфере и естественные почвенные фильтры, вода возвращается в биосферу в виде абсолютно чистой жидкости.

Есть еще один аспект, связанный с использованием энергетических топлив - это наличие балласта в топливе.

Природный газ может содержать до 10% балластных негорючих газовых компонентов. Мазут, как жидкое топливо, может содержать до 3…4% минеральных примесей и до 10% воды. Товарный уголь должен содержать не более 7% золы, при превышении этих показателей цена на уголь стремительно снижается. Однако на мировой рынок поставляется и уголь глубокого обогащения с содержанием минеральных примесей не более 1…1,5%. Технология деминерализации угля основана на его сортировании (классификации), химической очистки и флотации угольной массы, при этом издержки производства велики, что приводит к двукратному увеличению стоимости. Между тем, технология производства ВУТ, особенно ИКЖТ предусматривает глубокое измельчение твердой фазы в составе топливной композиции. Так, в ИКЖТ размеры частиц не более 3…4 мкм, а основная доля, свыше 70%, фракции, вообще лежит в области наноразмеров. Такая деструктуризация угля приводит к разъединению минеральных включений и органики и создает условия, для механического раздела минеральной и органической части в жидкой среде путем

центрифугирования, что значительно дешевле существующих методов очистки угля от золы и шлака. Согласно систематике исследований, выполненных на кафедре ТЭС НГТУ [1], очистка топлив от балластных примесей в начале технологического процесса всегда намного выгоднее, чем очистка газовых выбросов в конце процесса.

Эффективность использования угля при пылевидном сжигании в котле на 3…5% выше, чем при сжигании в виде водоугольного топлива, но если учесть те преимущества, о которых говорилось ранее, то предпочтение сухому способу сжигания угля не столь очевидна. Особенно это заметно, если проводить сравнение с другими видами топлива. Стоимость 1 МДж химической энергии топлива по ценам на мировом рынке, осредненным за последние несколько лет, для газа и нефти составляет 1,5…2 цента США, а для угля – 0,2 цента. Этот пример наглядно показывает, что уголь является основным энергетическим ресурсом, как по распространенности и запасам, так и по экономическим показателям. Не случайно, что концепция развития энергокомплекса США основана на использовании угля в энергопроизводстве, а приоритет в потреблении углеводородов отдан технологическим установкам и транспорту. Программа «Чистый уголь» в США достигла впечатляющих результатов несмотря на то, что базовые технологии этой программы уже достаточно устарели.

Водоугольное топливо по своей основе остается в числе энергетических топлив и обладает достоинством как жидких котельно-печных топлив, так и углей.

Основной проблемой при использовании ВУТ, до сих пор окончательно и качественно не решенной, является его низкая реакционная способность на начальном участке горения. Поскольку активное воспламенение топлива определяет его дальнейшее горение, то эта проблема сдерживает развитие технологии водоугольного топлива. Согласно исследованиям, выполненным в НГТУ [2], критерий воспламеняемости водоугольного топлива на начальной стадии воспламенения имеет значение $K_0 = 3{,}8 \ldots 5{,}1$, что выше, чем у антрацита $K_0 = 2{,}6 \ldots 3{,}9$, но ниже, чем у трудносжигаемых тощих углей $K_0 = 6{,}5 \ldots 7{,}5$.

Исследование кинетической характеристики ВУТ-ИКЖТ с помощью дериватографа подтверждают это, а также демонстрируют высокую реакционную способность ИКЖТ на основном участке горения, сопоставимую с реакционной способностью ультрадисперсного угольного топлива (рис. 1, 2).

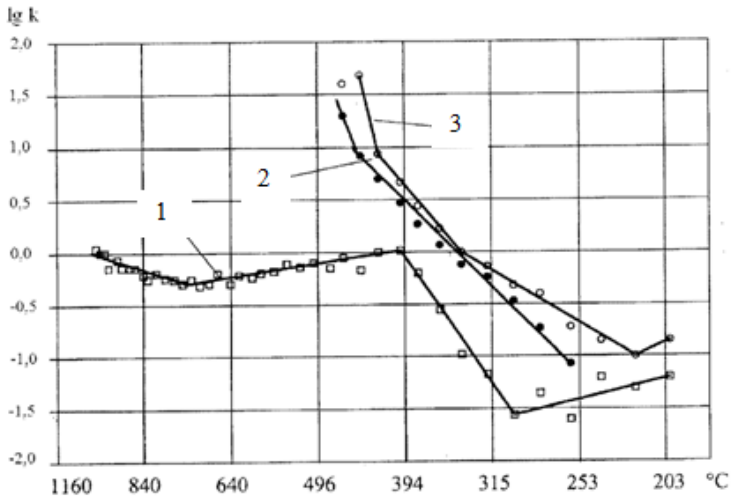

Рис.1. Зависимость скорости реакции горения от температуры.
Каменный уголь марки Д (Сахалин) 1 – крупка Ø 1 …3 мм; 2 – ИКЖТ Ø до 4мкм; 3 – ультрадисперсный уголь Ø ~ 30 мкм. (Дериватограф С-1500Q)

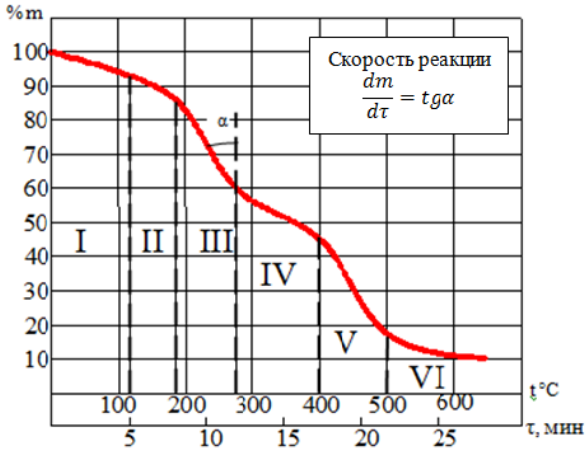

Рис. 2. Фрагмент дериватограммы-термогравиметрическая кривая
I - Испарение внешней влаги; II - Выход внутренней влаги; III - Горение летучих; IV - Переход к горению кокса; V - Горение кокса; VI - Догорание. (Дериватограф NETZCH Jupiter STA 440 C)

Из (рис. 1) следует, что горение ИКЖТ происходит в области критического горения с высокой скоростью даже при низких температурах 300…400 °С, что хорошо согласуется с выводами Г.Н. Делягина [3]. Это подтверждает также (рис. 2), полученный на другом типе дериватографа. Образец топлива на рис. 2 содержит 20% глицерина, 60% угля и 20% воды.

Таким образом, усилия по решению проблемы стабильного и надежного сжигания водоугольного топлива должны быть направлены в первую очередь на интенсификацию воспламенения топлива на начальном участке горения.

Существует несколько подходов к решению этой задачи. Известен метод установки зажигательного пояса при сжигании малореакционных антрацитов. Зажигательный пояс представляет собой слой футеровки, нанесенный сверху на парогенерирующие трубки в топке котла. Он обхватывает по внутренней стороне топки горящий факел и создает дополнительное термическое сопротивление теплопередачи на некоторой длине топочного пространства. В результате возрастает температура на тепловоспринимающей поверхности со стороны футеровки, а также температура и самого факела, что способствует увеличению скорости горения и воспламенения топлива [4].

Однако для сжигания ВУТ этот метод можно применять только после тщательной модельной и экспериментальной проработки последствий модернизации котлоагрегата, поскольку изменение температурного режима в топке, а также на парогенерирующих поверхностях может приводить к непредсказуемым отрицательным последствиям для эксплуатации энергоустановки.

Другой метод, применяемый Институтом теплофизики СОРАН [5], заключается в размещении дополнительной поверхности в зоне температур топочного пространства. Эта поверхность представляет собой некоторую конструкцию из огнеупорной керамики, которая исполняет роль высокотемпературного аккумулятора тепла, тем самым сглаживает колебания температуры, возникающие при дестабилизации режима горения. Кроме того, керамика является катализатором горения.

Вмешательство в аэродинамические и тепловые процессы в топке всегда нежелательно без тщательного изучения последствий новации, часто эти последствия непредсказуемы или рискованны. При сжигании ВУТ среда в топке является восстановительной, и это негативно сказывается на сроках межремонтного периода любых керамических насадок при высоких температурах. Непонятно, как изменится

межремонтный период эксплуатации котла и стоимость ремонтов. Керамика в топке находится примерно в тех же условиях, что и насадка из шамотного кирпича в кауперах доменных печей при температуре 1100…1300℃, которая выдерживает срок менее года.

Известен способ использования адиабатного предтопка для воспламенения и сжигания ВУТ [6,7]. Котел в этом случае играет роль котла-утилизатора. Этот способ применяется при модернизации старых промышленных котлов небольшой производительности, что позволяет значительно поднять их эффективность. Недостатком метода является большой объем предтопка, сопоставимый с объемом самого котла. Использование этого метода вряд ли возможно для перевода на ВУТ энергетических котлоагрегатов.

Известны попытки инициации зажигания и горения ВУТ другим топливом, мазутом или высокореакционной угольной пылью. Недостатком этого метода является то, что топливо с различной кинетикой горения сжигаются совместно в одном пространстве топки. Это приводит к нестабильности горения инициируемого топлива и усложняет управление топочным процессом.

Во всех описанных выше случаях экономический эффект возможен, если происходит вытеснение дорогого топлива, мазута дешевым ВУТ.

Эксергетический анализ замещения топлив при модернизации показывает, что эффект при этом очень значительный [8], что позволяет перекрывать все недостатки и неудобства реконструкции за счет топливной составляющей.

Во всех описанных выше способах запуск котла осуществляется на растопочном топливе – мазуте, иногда на соляровом масле, и только по достижению рабочей температуры ~900…1000℃ производится переключение на основное топливо. Это большой недостаток, который присущ всем энергетическим котлоагрегатам, работающим на угле. Во всех рассмотренных случаях потребуется наличие двух систем топливоподачи, что неудобно и сложно для эксплуатации.

На основе анализа существующих способов сжигания водоугольного топлива и собственных исследований были сформулированы основные принципы оптимальной системы воспламенения ИКЖТ:

- предлагаемая система не должна изменять конструкцию котлоагрегата;
- наиболее тяжелая часть процесса – воспламенение топлива – должна быть вынесена из топочного пространства в специальный предтопок, где процесс можно контролировать и легко управлять им;
- специальный предтопок должен быть циклонным, то есть компактным, высокотеплонапряженным, чтобы обеспечить успешное воспламенение топлива на начальной стадии горения, когда это топливо малореакционно;
- наличие различных видов топлива (основное и растопочное) является нежелательным, нужно стремиться к тому, чтобы система работала на едином виде топлива;
- на сегодняшний день наилучшей системой зажигания и сопровождения горения топлива явилась бы плазменная система;
- управление системой зажигания и сопровождение горения должно осуществляться автоматически при использовании процессора или компьютера.

Нами (ОАО КОМПОМАШ-ТЭК, проблемной лаборатории НГТУ, НПО «Росток», ЗАО ЗИОКОТЭС – наука) в 2011-2013 гг. были выполнены исследования по теме «Проведение исследований на огневом стенде ОИСГТ-6 кинетики горения тонкодисперсных водоугольных суспензий и оптимизация режимов их сжигания применительно к промышленным котлоагрегатам мощностью до 35 МВт». (Гос. контракт от 25 августа 2011 г. №16.518.11.7079 с Министерством образования и науки

Российской Федерации на выполнение научно-исследовательской работы. Шифр 2011-1.8-518-007-007).

Ниже, на рис. 3 представлен циклонный предтопок для котла тепловой мощостью 6,5 МВт, на котором выполнялись исследования по сжиганию ИКЖТ.

Рис. 3. Циклонный предтопок для котла, тепловой мощностью 6,5 МВт.

Экспериментальные исследования сжигания водоугольного топлива одновременно сопровождались математическим моделированием процессов в ЦП с использованием адаптированных компьютерных программ Fluent и Boiler Designer.

Эти исследования позволили сформулировать требования к конструкции ЦП, сопоставить результаты эксперимента с теоретическими работами в этой области [9] и продолжить исследования, которые выполнялись ранее АН СССР, институтами ИГИ и ВНИИПЭ, группой Г.Н. Делягина [10].

По результатам этих исследований были разработаны рекомендации для конструкторских проработок системы воспламенения водоугольного топлива [11].

Отчет по Гос. контракту 2011-1.8-518-007-007 был оценен независимой экспертизой высоко, отмечено выполнение исследований на мировом уровне, работы отмечены как продолжение исследований, выполненных в США и Швеции.

На этапе исследований 2011-2013 гг. мы, к сожалению, не могли использовать плазменные технологии воспламенения ИКЖТ, но получили твердое убеждение в перспективности этого направления. Это подтверждают также успешные исследования, выполненные в Институте теплофизики СО РАН по воспламенению ВУТ при применении плазмотрона, а также исследования в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН под руководством академика Жукова М.Ф.

Ниже, на рис. 4 показано использование плазмотрона мощностью 300 Вт для воспламенения водоугольной суспензии.

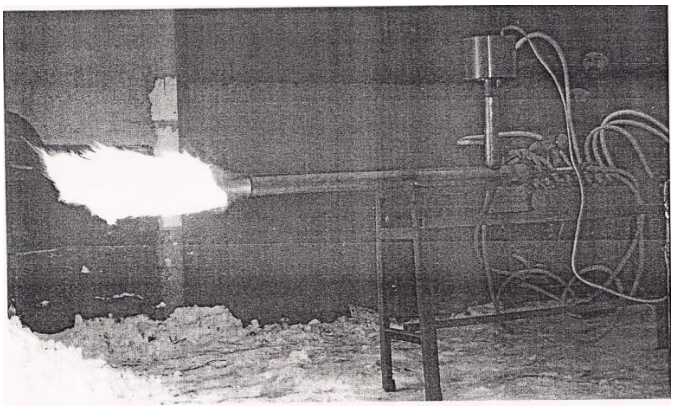

Рис.4. Розжиг водоугольного топлива с помощью плазмотрона

Анализ рассмотренных методов показывает превосходство плазменной технологии, как более простой и удобной для технологии ИКЖТ, чем розжиг с использованием растопочного топлива.

Одной из последних разработок в области сжигания топлива является немецкая газовая горелка для котлов ТЭЦ с компьютерным управлением процессом сжигания. Плазменная технология воспламенения и сопровождения сжигания водоугольного топлива при компьютерном управлении процессом несомненно являлось бы изделием на мировом уровне, а возможно и выше мирового, поскольку уровень сложности сжигания ВУТ конечно же превосходит уровень сложности сжигания газового топлива.

На сегодняшний день системой зажигания и сопровождения горения топлива явилась бы плазменная система, поскольку она обладает рядом преимуществ по сравнению с уже предложенными системами, обзор которых представлен в работе. Особое внимание следует уделить тому, что плазменная система зажигания должна быть полностью автоматизирована. Данная конструкция должна учитывать особенности воспламенения ВУТ-ИКЖТ. Следует заметить, что такой способ зажигания позволит исключить использование растопочного топлива, что приведет к более полному выгоранию основного топлива и, следовательно, к стабилизации его горения. Реальность использования плазменного зажигания и сопровождения процесса горения основана на успешно выполненных экспериментах по сжиганию ВУТ (институты).

Литература

1. Ноздренко Г.В. Эффективность применения в энергетике КАТЭКа экологически перспективных энерготехнологических блоков электростанций с новыми технологиями использования угля – Новосибирск: Издательство НЭТИ, 1992. 259 с.
2. Ю.В. Овчинников, А.И. Цепенок, А.В. Шихотинов, Е.В. Татарникова Исследование воспламенения твердых топлив и ИКЖТ / Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации: выпуск 1 (16). Новосибирск: Новосибирское отделение АН ВШ, 2011. – С. 117-126.
3. Делягин Г.Н. Сжигание водоугольных суспензий – метод использования обводненных твердых топлив: Дис. Д-ра техн. наук. – М.: ИГИ, 1970. – 32с.
4. Резников М.И. Парогенераторные установки электростанций / М.: Энергия, 1968. 234 с.
5. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий / отв. ред. С.В. Алексеенко: Изд. СО РАН, вып. 20, 2009. – 405 с.
6. Мурко В.И. Водоугольное топливо / В.И. Мурко, В.И. Федяев, Д.А. Дзюба // Уголь. – 2002. - №6 С.58-59.
7. Мурко В.И. Аспекты приготовления и результаты эффективного применения водоугольного топлива / В.И. Мурко, В.Н. Звягин, В.И. Федяев и др. // Сб. тр. межд. науч. конф. И школы семинара ЮНЕСКО «Химия на рубеже тысячелетий», Клязьма, 2000. – М.: Изд. МГУ. – 2000. – 4.1, - С.105-111.
8. Szargut Ian. Energetyka Cieplna w Hutnictwe. Katowice: «Slansk.» 1972. – 654с.
9. Саломатов В.В., Кравченко И.В. Теоретическое исследование горения капли водоугольного топлива. Часть II. Стадия воспламенения. / Горение и плазмохимия, 2007, том 5, №3, С.189-198.
10. Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий / отв. ред. д.т.н., проф. Б.В. Контарович, к.т.н., Г.Н. Делягин: Изд. Наука, Москва 1967 г.
11. Цепенок А.И. Автореферат диссертации на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук «Разработка, исследование новой технологии использования на ТЭС кавитационного жидко-угольного топлива». Новосибирск. – 2013.