

**ВОДОУГОЛЬНОЕ ТОПЛИВО – АЛЬТЕРНАТИВА
ПРИРОДНОМУ ГАЗУ И ЖИДКИМ НЕФТЕПРОДУКТАМ**

Водовугільне паливо є екологічно чистим, ефективним заміником природного газу та мазуту при використанні у великій та малій теплоенергетиці, а також суміжних галузях промисловості, як основне, так і допалювальне паливо.

**COAL-WATER FUEL AS ALTERNATIVE TO NATURAL GAS AND
LIQUID OIL PRODUCTS**

Coal-water fuel is an environmentally safe and efficient substitute of natural gas and fuel oil for combustion as the main and reburn fuel in heat power, electric utility and allied industries.

Водоугольное топливо – это искусственная композиционная топливная система (суспензия), обладающая псевдопластичными свойствами, присущими неньютоновским средам с определённой седиментационной устойчивостью – статической при хранении в течение продолжительного времени и динамической при транспортировании по трубопроводам или в закрытых ёмкостях автомобильным, железнодорожным или водным транспортом. С этой точки зрения основные показатели его качества это, прежде всего, структурно-реологические характеристики (вязкость, напряжения сдвига и градиент скорости). Кроме того, ВУТ – жидкое топливо, которое оценивают по теплотворной способности и экологической чистоте сжигания, а также способности сохранять потребительские качества при транспортировании и хранении на протяжении продолжительного времени. Водоугольное топливо нетоксично, взрыво- и пожаробезопасно.

Важная топочная характеристика водоугольного топлива – температура воспламенения. В соответствии с теорией проф. Делягина Г.Н.[2] выход летучих веществ при сжигании ВУТ задерживается испарением влаги из расплывённых капель в потоке воздуха, и процесс начинается не с воспламенения продуктов деструкции угольного вещества (выхода летучих), а непосредственно с гетерогенных реакции активированных угольных частиц на поверхности агломерированной капли водоугольного топлива. Поэтому по сравнению с сухим углём зависимость температуры воспламенения от выхода летучих веществ значительно слабее и сама температура ниже.

Одна из особенностей горения ВУТ – параллельное протекание процессов горения частиц твёрдой фазы с поверхности капель топлива и испарения влаги, заключённой в этих каплях. Именно это предопределяет высокую активность выгорания органической массы топлива и обуславливает экологическую чистоту его сжигания. Другая заключается в агломерации летучей золы в сферические агломераты размером до 30 мкм, что повышает эффективность работы золоуловителей до снижения уровня выброса твёрдых частиц на уровне 60 – 80 % допустимого.

Вокруг капель водоугольного топлива при горении образуется полувосста-

новительная среда, которая способствует восстановлению попадающих в неё монооксидов азота монооксидом углерода при температуре 800 – 900 °С. Уменьшение температуры в зоне горения на 100 – 200 °С по сравнению с сухим углём приводит к четырёх-шестикратному снижению образования «термических» окислов азота.

Опыт мировой практики показывает, что при сжигании ВУТ в энергетических котлах большой мощности снижение образования оксидов азота за счёт перечисленных факторов составляет 30 – 50 % по сравнению со сжиганием пылевидного угля. Существенное снижению образования оксидов азота обуславливает низкий коэффициент избытка воздуха, при котором протекает горение ВУТ (3 – 7 %).

Водоугольное топливо может быть приготовлено на основе углей любых марок, в том числе из высокозольных угольных шламов массовой концентрацией до 70 %. В отличие от традиционных топлив, исходя из свойств которых проектируются теплофикационные установки, характеристики ВУТ задают при разработке композиции и приготовлении применительно к технологии топливоиспользования.

Сфера использования водоугольного топлива в мировой практике включает мощные энергоблоки крупных тепловых электростанций; промышленные котлоагрегаты малой и средней паровой мощности; сушильные установки, нагревательные и обжиговые печи; есть сведения об использовании ВУТ в судовых дизелях. Наиболее жёсткие требования предъявляются к ВУТ, предназначенному для использования в качестве штатного топлива в котлоагрегатах крупных электростанций, которое доставляется туда трубопроводным транспортом. В качестве исходного применяют малозольный ($A^d = 7 \dots 12 \%$) обогащённый либо обогащаемый в процессе приготовления водоугольной суспензии уголь. Операция обогащения в этом случае не только повышает энергетический потенциал топлива, но и стабилизирует характеристики исходного продукта. Массовая концентрация в зависимости от марки угля от 62 до 70 %. Эффективную вязкость при градиенте скорости в интервале 8 – 20 с^{-1} выдерживают в пределах 1,5 – 0,5 Па·с. Динамическая и статическая седиментационная стабильность обеспечивают сохранение заданных свойств водоугольного топлива при транспортировании и хранении.

Терминалы приготовления ВУТ, предназначенного для сжигания в топках котлов средней и малой мощности, целесообразно размещать непосредственно у мест использования, что исключает необходимость транспортирования на значительные расстояния и длительное хранение. Требования к такому топливу снижены. В качестве исходного продукта служит уголь зольностью до 30 %. Массовая концентрация составляет 60 – 65 %, эффективная вязкость 1,5 – 2,0 Па·с.

Водоугольное топливо, используемое при совместном сжигании со штатным топливом более высокой реактивности и с более высоким энергетическим потенциалом в качестве дожигового или для снижения выбросов окислов азота, можно приготовить на основе небогащённого угля или отходов обогащения –

высокозольных угольных шламов ($A^d = 45 \dots 47 \%$). Концентрация такого ВУТ может быть снижена до 55 %, а эффективная вязкость при градиенте скорости $\dot{\epsilon} = 9 \text{ с}^{-1}$ повышена до 2,0 – 2,5 Па·с.

Основными технологическими операциями, обеспечивающими необходимые теплотехнические, реологические и седиментационные характеристики ВУТ, являются измельчение до гранулометрического состава, в наибольшей мере приближающегося к составу максимальной упаковки, и выбору химической добавки-пластификатора.

Отечественными и зарубежными специалистами предложен ряд гранулометрических составов исходного продукта для приготовления ВУТ, общим признаком которых является бимодальность, обеспечиваемая применением таких технологических приёмов как, например, двухстадийное измельчение в шаровой и стержневой мельницах или измельчение в одной мельнице с регулированием гранулометрии мелющих тел.

Роль химических добавок-пластификаторов сводится, в основном, к повышению гидрофильности развитой поверхности угольных частиц при создании вокруг них тончайшей гидратной оболочки толщиной не более $(15 - 20) \cdot 10^{-6}$ мм, что препятствует непосредственному контакту между угольными частицами и способствует диспергированию угольных частиц в дисперсной среде, предотвращая, таким образом, их агломерацию.

В качестве химических добавок наибольшее распространение получили:

дофен – суперпластификатор, получаемый на основе отходов фенольного производства;

НФУ – продукт конденсации формальдегида с нафталином, как отходы нафталинового производства;

ЛСТ – лигносульфонаты натриевые и аммониевые, модифицированные отходы целлюлозно-бумажной промышленности;

УЩР – углещелочной реагент, продукт выщелачивания бурых углей щелочью натрия;

сульфогумат натрия – модифицированные гуминовые кислоты бурого угля.

Впервые интерес к использованию водоугольных суспензий в качестве котельного топлива возник в 60-х годах прошлого века на волне всеобщего увлечения новой перспективной технологией гидравлического транспорта угля, как средство повышения его эффективности путём непосредственного сжигания в топках котлов, исключая, таким образом, дорогостоящую операцию обезвоживания. Вновь мировая научная общественность заинтересовалась технологией водоугольных суспензий в связи с топливным кризисом 70-х годов. На этот раз водоугольная суспензия рассматривается уже как котельное и печное топливо – альтернатива природному газу и жидким нефтепродуктам (водоугольное топливо, Coal-Water Fuel).

В настоящее время передовые позиции по внедрению технологии ВУТ занимают страны, которые, не имея собственных природных ресурсов углеводородных энергоносителей, вынуждены импортировать большое количество нефти и природного газа для нужд своей развивающейся экономики, попадая, та-

ким образом, в экономическую зависимость от их поставщиков.

Существенное развитие исследования и внедрение технологии водоугольного топлива получили в Китае, где на более чем 50-ти предприятиях с годовой производительностью до 1,5 млн. т производится 15 млн. водоугольного топлива в год. Железнодорожным или автомобильным транспортом его транспортируют на расстояния до 1000 км и сжигают в топках промышленных котлоагрегатов мощностью до 200 МВт. Из терминала в порту Чингал морскими танкерами водоугольное топливо экспортируют в Японию.

Первый топливно-энергетический комплекс с магистральной гидротранспортной системой протяженностью 262 км был сооружён в 1989 году в б. СССР. От терминала приготовления (г. Белово) на базе гидрошахты Инская и Моховского угольного разреза водоугольное топливо в количестве 3 млн. т/год (по сухому углю) доставляли на ТЭЦ-5 г. Новосибирска, где сжигали в котле паропроизводительностью 670 т/ч.

С учётом опыта освоения этого комплекса итальянская фирма «Снампроджетти» на о. Сардиния построила демонстрационный комплекс «Порто Торрес» мощностью 500 тыс. т/год. Водоугольное топливо массовой концентрацией 63 % по двум 2-километровым трубопроводам поступает на электростанцию, где сжигается в котле мощностью 300 т/ч, а также на береговой терминал для погрузки в танкеры и отправки на экспорт.

Повышение роли угля, как основного энергоносителя, и увеличение объёмов его использования в развивающейся экономике сопряжено с ухудшением экологической ситуации в промышленно развитых регионах (повышенный выброс твёрдых частиц и оксидов азота при термической сушке, загрязнение воздушного пространства и водоёмов от многочисленных шламонакопителей). Это обстоятельство стимулировало интенсификацию утилизации отходов обогащения в теплоэнергетике, превращая их из источника экологической угрозы в дополнительный источник дешёвых энергоносителей, т.е. в источник дохода.

Наиболее приемлемой с технической и экономической точек зрения технологией использования мелкого угля из шламонакопителей является приготовление на их основе водоугольного топлива, что наряду со снижением себестоимости электрической и тепловой энергии обеспечивает существенный экологический выигрыш.

С разработкой специалистами США технологии гидротермообработки (hot water drying), весьма перспективным становится использование в теплоэнергетике водоугольного топлива, приготовленного на основе бурого угля.

Рассматривая экономическую целесообразность использования водоугольного топлива в Украине, необходимо отметить следующее. Высокая стоимость ВУТ с повышенным энергетическим потенциалом при соответствующих реологических и седиментационных характеристиках, обусловленная сложностью технологии приготовления (включая операцию обогащения и применение дорогостоящих химических добавок), существенно ограничивает его конкурентоспособность по отношению к рядовому энергетическому углю и возможность использования в качестве штатного топлива для мощных энергоблоков круп-

ных тепловых электростанций.

Таким образом, в большой теплоэнергетике водоугольным топливом целесообразно заменять природный газ или мазут в ситуациях, которые исключают экономически оправданные альтернативные решения. Осложняющее обстоятельство в этом случае – необходимость дооборудования котлоагрегатов системами золошлакоудаления. Перспективен также вариант применения в пылеугольных котлах ВУТ, приготовленного на основе угольных шламов, в качестве дожигового топлива и для управления выбросами окислов азота. Экономический эффект усиливается экологическим выигрышем.

В малой теплоэнергетике водоугольное топливо достаточно эффективно в качестве штатного топлива может быть использовано в котлах малой и средней мощности, особенно в топках слоевого сжигания. Эколого-экономический эффект в этом случае может быть весьма значительным. Например, перевод на водоугольное топливо трёх городских котельных, укомплектованных котлами ДКВР 10–13 и КЕ 25–14, работающими на угольном концентрате марок Г и Д, может обеспечить снижение: расхода топлива на производство тепловой энергии в 1,3–1,7 раза; стоимости 1 ГДж теплоты на 1,28 – 1,42 у.е.; годовой стоимости топлива более чем на 600 тыс. у.е.; годового экологического ущерба более чем на 180 тыс. у.е.

Как дожиговое топливо ВУТ, приготовленное на основе угольных шламов, рекомендуется для котлов промышленного и бытового назначения всех типов, включая топки кипящего слоя. В последнем случае водоугольные суспензии повышенной концентрации могут быть питанием процесса. Исследования показали, что такой технологический вариант обеспечивает повышение полноты выгорания органической массы на 15 % и снижение выбросов окислов азота на 25–40 %.

Стремление использовать в качестве энергоносителей угольные шламы без их повторного обогащения привело к разработке технологий совместного сжигания с топливом более высокого энергетического потенциала и реактивности. Примером такой технологии является совместное сжигание ВУТ, приготовленного из отходов обогащения с коксовым газом коксохимических заводов, который также является отходом производства. Анализ технико-экономических показателей установки для утилизации коксового газа и угольного шлама коксохимического завода в виде водоугольного топлива в соотношении 80:20 показывает, что в зависимости от зольности шлама годовая расчётная прибыль составляет 4,53 – 4,58 млн. у.е.

Значительный экономический эффект может быть получен на цементных заводах при замене водоугольным топливом природного газа в количестве, обеспечивающем 25 % подводимой к обжиговой печи тепловой энергии. Так, для четырёх обжиговых печей общей часовой мощностью по клинкеру 117 т, годовая стоимость заменяемого газа составит 3, 846 млн. у.е. при годовой стоимости ВУТ на базе антрацитового шлама (зольность 37 %) 1,36 млн. у.е.

Существенным шагом в стабилизации топливно-энергетического баланса Украины может явиться расширение сферы использования в теплоэнергетике

бурого угля. Первый шаг в его реализации – создание теплоэнергетического комплекса на базе вновь построенного бурогоугольного разреза на Верхнеднепровском месторождении с годовой производительностью 5 млн. т и пылеугольных энергоблоков Приднепровской ТЭС мощностью 1200 МВт с использованием Днепра в качестве транспортной артерии. В дальнейшем подобные комплексы предполагается распространить на ряд тепловых электростанций, расположенных по течению Днепра.

Подобный комплекс целесообразно создать на базе Ново-Дмитриевского бурогоугольного месторождения с гидротранспортом или железнодорожным транспортом водоугольного топлива до Славянской или Змиёвской ТЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Круть О.А. Водовугільне паливо.–К.–Наукова думка.–2002.–169 с.
2. Деягин Г.Н. Водоугольное топливо – экологически чистое топливо // Трубопроводный гидротранспорт твёрдых материалов.–К.–1993.–с. 299-323.
3. Папаяни Ф.А., Самойлик В.Г., Свитлый Ю.Г. Использование бурого угля в теплоэнергетике // Стабилизационный потенциал использования угля в теплоэнергетике Украины; Тр. научн.-метод. сем. К.–1997.–с. 15–19.