



УДК 662.6/9

А.С. ЛАВОШНИК, ведущий научный сотрудник,

В.Я. ДАМРИН, заместитель директора НИИ «Энергосталь», Т.Б. СОРОКИНА, научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА

В статье описаны характеристики и свойства водоугольного топлива, альтернативного традиционным видам топлива, с позиций энергоэффективности его сжигания и приведена экологическая оценка технологии сжигания. Изложены предложения по развитию данного направления.

энергоэффективность, водоугольное топливо, прогрессивные способы сжигания

Развитие энергетики, металлургии, химической промышленности в значительной степени зависит от широкого и эффективного использования угля в качестве энергетического топлива. Исходя из базовых требований повышения энергоэффективности промышленного производства и экологических ограничений, промышленность испытывает потребность в экологически чистых угольных технологиях, обеспечивающих высокую полноту использования топлива при минимальной нагрузке на окружающую среду. Замена «грязного» угля и малоэффективных методов его сжигания, а также дефицитных и дорогостоящих природного газа и мазута может быть осуществлена посредством использования водоугольного топлива.

Являясь альтернативным традиционным видам топлива – углю, мазуту, природному газу, водоугольное топливо предназначено для их замены, а также для улучшения экологической ситуации в местах размещения топливотребляющих агрегатов, работающих на традиционных топливах [1].

В современных условиях в мировой практике вопросу использования водоугольного топлива придается особое значение. Работы по освоению и широкому внедрению технологии приготовления ВУС ведутся в Японии, Италии, США, Канаде и других странах.

Так, например, в США с начала 90-х годов реализуется программа использования угля в энергетике с общим объемом финансирования в 100–150 млрд долл. США, согласно которой около 20 % объема финансирования выделено на создание, транспортирование и использование водоугольного топлива. Возможности рынка для такого топлива только для Восточного побережья США оцениваются в 150 млн т в год.

Для решения проблемы внедрения водоугольного топлива в Китае создан Государственный центр водоу-

гольных суспензий угольной промышленности и в 2001 г. на 8 заводах производительностью до 600 тыс. т в год таких суспензий произведено более 2,0 млн т; в ближайшие 20 лет планируется довести мощности по их производству до 100 млн т в год.

Значительный объем исследований и внедрений ВУС, преимущественно на энергетических объектах небольшой мощности, выполняется и в России. С начала 90-х годов такие работы проводятся в рамках федеральной научно-технической программы «Топливо и энергия» (подпрограмма «Экологически чистая энергетика», направление «Энергетика и технология угольных суспензий»), а также по программам «Недра России» и «Трубопроводный транспорт угольной суспензии», межотраслевой программе «Альтернативные топлива».

Угольные суспензии представляют собой дисперсную систему, образованную частицами угля размером 10–100 мкм и дисперсной среды. В простейшем случае в качестве дисперсной среды используется вода. Концентрация твердой фазы в угольных суспензиях может изменяться в пределах от 55 до 75 и более массовых процентов при сохранении суспензией свойств, присущих текучей среде.

Состав и свойства угольной суспензии могут целенаправленно и эффективно корректироваться с учетом требований прикладной задачи и конкретного потребителя. В суспензию могут быть введены пластификаторы, стабилизаторы, присадки для нейтрализации серы, ингибиторы коррозии, подлежащие уничтожению твердые и жидкие горючие не утилизируемые отходы отдельных производств. Свойства угольных суспензий могут изменяться также варьированием используемых углей и введением в суспензию других твердых горючих добавок. Значительные резервы формирования свойств энерге-

тического топлива данного класса заложены в известных методах обработки жидкостей, таких как электрообработка, кавитация, механическая активация, магнитная обработка и пр. [2]. Большие возможности для использования в качестве энергетического топлива открываются также для водно-органических и органических угольных суспензий, в которых в качестве дисперсной среды предложены спирты и другие углеводородные жидкости или их добавки к воде [3].

Результаты всесторонних научных исследований по проблематике ВУС подтверждают, что применение ВУС в качестве топлива улучшает экологические показатели энергоустановок и способствует решению проблемы защиты окружающей природной среды в промышленных мегаполисах. Современный уровень проработки прикладных вопросов позволяет осуществлять внедрение ВУС как на новых производствах, так и при модернизации действующих.

Энергетическая эффективность использования угольных суспензий в качестве топлива в топках котлов тепловой мощностью от 1,0 до 200 МВт подтверждена опытом эксплуатации ТЭС в Великобритании, США, Южной Корее, Швеции, Канаде. При этом стоимость 1 МВт энергии, полученной при сжигании ВУС, на 20–40 % дешевле, чем при использовании мазута.

Важнейшая особенность ВУС – возможность их прямого сжигания в энергетических установках различной мощности. Это топливо может применяться в паровых и водогрейных котлах, обжиговых печах, в установках для сушки материалов, отопительных установках, а также в качестве моторного топлива. Использование ВУС в действующих промышленных огнеотехнических установках возможно без существенной их реконструкции или при незначительном дооборудовании. Наиболее простые технологические схемы приготовления водоугольного топлива, освоенные в промышленности, объединяют в одном агрегате несколько стадий – измельчение, смешение, гомогенизация и др.

По условиям горения и уровню выгорания ВУС существенно отличаются от исходного угля [4]. ВУС легко

воспламеняются и устойчиво сгорают в потоке нагретого до 350–450 °С воздуха при коэффициенте его избытка 1,03–1,04. Температура в зоне горения – 1400–1450 °С. Полнота сгорания ВУС при факельном сжигании достигает 98,5–99,7 %. При содержании твердой фазы от 50 до 70 % ВУС на основе каменных углей имеют теплоту сгорания до 21 МДж/кг, теплоту сгорания водоугольного топлива на основе бурых углей достигает 16 МДж/кг [4].

При распыливании их аналогично жидкому топливу в топочном объеме образуется полидисперсный поток капель, где в капле размером 0,15–0,2 мм может находиться до нескольких тысяч частиц угля. Угольные частицы, находящиеся на внешней поверхности капель, воспламеняются задолго до завершения испарения из них влаги. При правильной организации процесса горения воспламенение топлива начинается на срезе форсунки сразу после его распыления. Значительная часть влаги (более 50 %), испаряясь в объеме, проходит в виде пара через слой горящих частиц угля на поверхности капли. При этом водяной пар активизирует поверхность угольных частиц, снижая энергию активации химических реакций процесса горения, а затем, уже в слое горящих частиц, участвует в химической реакции с углеродом топлива



Выделяющийся водяной пар снижает интенсивность прогрева массы капли водоугольного топлива, сдерживает процесс термической деструкции угля и выход из него летучих. Вследствие этого воспламенение капли водоугольного топлива начинается с гетерогенных реакций на ее поверхности при температурах меньших, чем при сжигании пылевидного сухого угля. Активация поверхности угольных частиц водяным паром приводит к снижению температуры воспламенения, например, антрацита – в два раза, угля марок Г и Д – в 1,5–1,8 раза, а для топлив из бурых углей она снижается до 300–325 °С.

Минеральные компоненты угля в водоугольном топливе при выгорании капли агломерируются, образуя сферические агрегаты, не препятствующие диффузии кислорода

Таблица 1 – Сравнительные характеристики выбросов при сжигания ВУС и обычного топлива на различных объектах

Массовые концентрации вредных выбросов, мг/м³	Наименование объекта внедрения или исследования сжигания ВУС							
	ТЭЦ-5 г. Новосибирск		Абагурская ОАФ*		Котельная в г. Мыски		Котельная в г. Белово	
	Угольная пыль+мазут	ВУС+ угольная пыль	Мазут	ВУС +мазут	Мазут	ВУС	Слоевое сжигание угля	ВУС
Оксиды азота	904	660	56,1	40,0	53,6	43,6	435	285
Оксиды серы	1710	338	2011	1292	236,0	47,2	нет свед.	нет свед.
Бенз(а)пирен	0,087	0,022	нет свед.	нет свед.	нет свед.	нет свед.	нет свед.	нет свед.
Пыль	639	222	755	914	нет свед.	нет свед.	82	45

* Абагурская обогатительно-агломерационная фабрика



внутри агрегатов и выгоранию топлива. К концу процесса горения образовавшиеся агрегаты твердых частиц сохраняют первичные размеры капли, а в ряде случаев превышают их. Все это сохраняет диффузионный режим горения топлива до конца реакции и позволяет вести процесс с малым избытком воздуха (3–7 %), тогда как при сжигании угольной пыли этот избыток составляет 15–20 %.

В связи с тем, что после сгорания частицы золы микронных размеров, улавливание которых малоэффективно, объединены в достаточно крупные, пористые, но прочные агрегаты размером до 0,3–0,5 мм, они могут быть легко уловлены пылеуловителем. Степень улавливания зольных агломератов из отходящих газов может достигать 99–99,5 %, что резко сокращает выбросы твердых частиц в атмосферу. Особенности горения капли ВУС, активная роль водяного пара как промежуточного окислителя, снижение температурного уровня процесса горения в результате испарения влаги топлива, а также создание вокруг горячей капли полувосстановительной среды, приводит к сокращению выбросов оксидов азота в 1,5–2 раза по сравнению со сжиганием угля в пылевидном состоянии. Применение к ВУС технологических приемов снижения выбросов оксидов азота, традиционно используемых при сжигании мазута, позволяет в еще большей степени снизить их образование и снять проблему загрязнения атмосферы оксидами азота. В условиях сжигания ВУС топливо сгорает с минимальным остаточным содержанием монооксида углерода (сокращение выбросов СО в 1,5–2 раза), сажи и канцерогенных веществ.

Таким образом, сжигание угля в виде ВУС по сравнению с обычным сжиганием угля позволяет практически предотвратить образование летучей золы, на 50–70 % уменьшить образование диоксида серы (при использовании присадок), снизить содержание оксидов азота в продуктах горения до 50–70 %, на 80–95 % сократить образование и выброс твердых частиц микронных фракций, что может обеспечить достижение допустимых выбросов загрязняющих веществ без сооружения капиталоемких газоочистных установок.

Экологическая оценка технологии сжигания ВУС (по данным ГУП «НПЦ «Экотехника», г. Новокузнецк, Россия) в сравнении с традиционными топливами приведена в табл. 1 [5].

Все это позволяет рассматривать ВУС как энергоэффективное экологически чистое топливо [6].

ВУС являются готовым для использования в котлах и печах топливом и не требуют специальной подготовки перед его сжиганием, не увеличивают отложений на поверхностях нагрева. Использование ВУС в качестве топлива снимает также важные проблемы взрыво- и пожароопасности. Такое топливо, приготовленное в кавитационных

аппаратах, не расслаивается в течение 6 месяцев, легко прокачивается по трубопроводам, эффективно распыляется форсунками, температура начала его кристаллизации соответствует -6°C . Для приготовления ВУС вместо воды могут использоваться замазученные воды, совтолы, эмульсии [7].

Огромны перспективы использования ВУС в энергетике малой и большой мощности [2].

В черной металлургии наиболее масштабной областью применения угольных суспензий является доменное производство. Угольные суспензии являются хорошим технологическим топливом для доменной плавки. Их применение путем вдувания в воздушные фурмы доменных печей позволит сократить потребление кокса на выплавку чугуна и значительно (на 15–40 %), уменьшить количество вредных выбросов, связанных с производством кокса, в атмосферу; кроме того, позволит сократить потребление природного газа [1].

В агломерационном производстве Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики, по результатам широкомасштабных промышленных испытаний частичной замены мазута (замена 63 % мазута) на ВУС в зажигательных горнах агломашинов, достигнуто сокращение удельного расхода топлива на 4,5 %, а также снижение массовых концентраций монооксида углерода – на 11 %, оксидов серы – на 9,5–35 % (в зависимости от содержания серы в используемом угле), оксидов азота на – 28 % при увеличении механической прочности агломерата (на 4,6 %).

В цветной металлургии замена традиционных плавок меди, никеля, свинца на процессы с использованием угольных суспензий позволит сократить потребление кокса и выбросы твердых отходов от сжигания угля.

В химическом производстве имеются широкие возможности применения как водоугольных, так и углеспиртовых суспензий.

Достигнутый уровень освоения применения водоугольного топлива в энергетике стран бывшего СССР можно охарактеризовать следующим образом. В 1989 г. в СССР сдан в эксплуатацию опытно-промышленный углепровод от шахты «Инская» Кемеровской области до ТЭЦ-5 г. Новосибирска протяженностью 262 км и мощностью 3,0 млн т в год [1]. За 1989–1997 гг. на оборудовании и сооружениях углепровода было приготовлено, транспортировано и сожжено на ТЭЦ-5 около 400 тыс. т водоугольного топлива.

В настоящее время в России сформирован рынок производителей всего комплекса оборудования, необходимого для реализации проектов внедрения технологии приготовления и сжигания ВУС на объектах энергетической малой и средней мощности; создано до десятка организаций, выполняющих ОКР и занимающихся про-

ектированием промышленных установок сжигания ВУС. Основная масса внедрений технологии сжигания ВУС для объектов малой энергетики приходится на последние 5–7 лет.

Интенсивность научных исследований и проектно-конструкторских работ в направлении внедрения технологий получения, транспортирования и сжигания ВУС в Украине не соответствует требованиям времени. Прикладные разработки в области энергетического использования угольных суспензий в Украине не доведены до промышленного внедрения и резерв этих энергетических ресурсов практически не используется.

Могут быть предложены следующие шаги по развитию обсуждаемого направления в Украине. Вариантом практического решения проблемы внедрения рассматриваемой технологии на уровне отдельного технологического передела или потребителей водоугольного топлива является автономное приготовление ВУС на объекте, начиная от дробления кускового угля, или на основе использования элементов технологии пылеугольного топлива. На этой стадии работа сводится к компоновке отдельных блоков с использованием серийного оборудования.

Если рассматривать региональные программы и отраслевое планирование, реализация данной задачи предполагает строительство групповых пунктов для приготовления ВУС и доставки его с помощью углепроводов отдельным потребителям (в пределах региона, города или крупного металлургического комбината).

На уровне государственных программ требуется организация внедрения масштабного производства ВУС на базе добывающей отрасли, в т.ч. с привлечением ресурсов хвостохранилищ и отходов углеобогажительных фабрик, и строительство магистральных гидротранспортных углепроводов.

Анализ существующей инфраструктуры показывает, что при сжигании угля, заключенная в нем энергия полезно используется на 12–45 %, остальная расходуется на его добычу, транспортировку, переработку, хранение, очистку выбросов от его сжигания. При ориентации на потребление угля в форме ВУС в региональном и государственном масштабе в полной мере решается задача снижения уровня потерь энергоресурсов при их передаче и потреблении. В этой связи максимальный эффект повышения энергоэффективности использования угля как источника энергии может дать только создание региональной и межотраслевой энерготехнологической инфраструктуры, охватывающей производство ВУС в местах добычи угля, транспортирование углепроводами до конечного потребителя и практическое использование на местах.

Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата с его экономическими механизмами стимулирования процессов сокращения выбросов в атмосферу парниковых газов может стать дополнительным инструментом инвестиционной политики внедрения рассматриваемых предложений. Согласно Перечню технологий Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), способствующих сокращению выбросов парниковых газов, применение ВУС занимает доминирующие позиции среди прочих, рекомендуемых к использованию энергоэффективных мероприятий по разделу «энергоснабжение» среди технологий, основанных на использовании ископаемого топлива. Таким образом, создаются предпосылки, способствующие внедрению технологии сжигания ВУС на отдельных предприятиях в форме проектов совместного осуществления (ПСО) или «зеленых инвестиций». Эти возможности необходимо использовать.

Структурно сбалансированный топливно-энергетический комплекс Украины в современных условиях должен быть ориентирован на последовательное увеличение доли угля в топливном балансе и предусматривать широкое внедрение ВУС и других прогрессивных технологий приготовления и сжигания угольного топлива. К неотложным задачам управления и планирования следует отнести оценку потенциала энергосбережения и возможного сокращения выбросов парниковых газов и прочих загрязнителей атмосферного воздуха при использовании ВУС в горно-металлургическом комплексе (ГМК) Украины и в других отраслях промышленного производства. Назрела необходимость разработки концепции решения проблем энергоэффективности по затронутой проблематике на предприятиях ГМК.

Для обеспечения энергетической независимости государства следует инициировать включение мероприятий по широкому внедрению технологии сжигания ВУС в отраслевые и государственные программы. Программы должны содержать анализ и оценку научно-обоснованных перспектив внедрения ВУС, направлений и приоритетов развития отраслей ТЭК, предусматривать внедрение средств технологического и технического оснащения промышленных предприятий, а также условия привлечения инвестиций.

Научное обеспечение реализации программ энергосбережения на сегодня не просто недостаточно, оно требует кардинального улучшения с обеспечением всесторонней государственной поддержки внедрения передовых технологий и финансирования разработки новых прогрессивных технологий, в т.ч. технологий ВУС.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Делягин Г.Н. Экологически чистое топливо из угля / Г.Н. Делягин, В.В. Корнилов, Ю.А. Чернегов // Экологическое развитие : сб. – М. : Международный центр научной и технической информации, Комиссия по изучению производительных сил и природных ресурсов при Президиуме РАН, 1992. – Вып. 2. – С. 49–52.
2. Делягин Г.Н. «Эковут» – новое экологически чистое топливо XXI века / Г.Н. Делягин, С.В. Ерохин, А.П. Петраков // Химия на рубеже тысячелетий : сб. тр. междунар. научн. конф. и школы семинара ЮНЕСКО, Клязьма, 2000. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – Ч. 1. – С. 101–105.
3. Головин Г.С. Спиртоводоугольная суспензия – новый вид транспортабельного экологически чистого топлива / Г.С. Головин, Е.Г. Горлов, А.А. Лapidус // Российский химический журнал. – 1994. – № 5. – С. 66–69.
4. Мельниченко Н.И. Экспериментальное исследование температурной динамики одиночной капли водоугольной суспензии / Н.И. Мельниченко, Н.А. Рубцов, И.В. Марчук // Теплофизика и аэромеханика. – 1995. – Т. 2, № 1. – С. 75–78.
5. Мурко В.И. Возможности приготовления водоугольного топлива из шламов углеобогащительных фабрик и гидрошахт / В.И. Мурко, Е.В. Павлова, Т.М. Павлова // Химия и природосберегающие технологии использования углей : сб. междунар. научн. конф, Звенигород, 1999. – М. : МГУ, 1999. – С. 74–75.
6. Производство и использование водоугольного топлива / В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко [и др.]. – М. : Изд. Академии горных наук, 2001. – 176 с.
7. Ходаков Г.С. Оптимальные технологии приготовления и транспорта водоугольного топлива // Известия Академии Наук. Энергетика. – 2000. – № 4. – С. 142–145.

Поступила в редакцию 20.02.2009

У статті надана характеристика і властивості альтернативного традиційним паливам водовугільного палива з позицій енергоефективності його спалювання і приведена екологічна оцінка даної технології. Викладені пропозиції щодо розвитку цього напрямку.

The paper describes characteristics and properties of alternative water-coal fuel from the position of power efficiency of its burning and gives the environmental assessment of burning technology. Suggestions on developing this direction are stated.