

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УССР

Донецкий Ордена Трудового Красного Знамени политехнический
институт

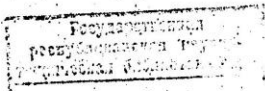
Код рубрики 52.45; 73.39 УДК 662.8

В.Г.Самойлик, Т.Ф.Коновалова, А.Т.Елишевич,
О.И.Муравский

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЗОЛЬНЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ,
ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ

Вен. в Укр. ННТИ 03.03.87

885-Ук87



Донецк - 1987

Водно-угольные смеси широко изучаются в настоящее время во многих странах мира. Фактически, идея применения водно-угольных смесей (ВУС) за короткий срок времени прошла две ступени:

- ВУС - как средство для передачи угля на большие расстояния трубопроводным транспортом с последующим отделением воды на приемной станции и использованием угля как твердого топлива (концентрация угля 50 %);

- ВУС - как новый вид жидкого топлива при прямом сжигании суспензии (концентрация угля 65-75 %, ВВУС).

Промышленное применение ВУС и развитие гидротранспортных систем в большой степени будет определяться повышением эффективности и снижением себестоимости обезвоживания угля перед его сжиганием.

ВВУС как один из альтернативных видов котельного топлива в последнее десятилетие являются объектом постоянного интереса зарубежных промышленных и энергетических фирм.

Причины такого устойчивого интереса к ВВУС в простоте приготовления и экономичности ВВУС по сравнению с синтетическими жидкими топливами из угля, а также в преимуществах ВВУС как перед распыленным сухим углем, так и перед давно известными и имеющими исторический приоритет угольно-мазутными суспензиями.

По сравнению с сухим пылевидным углем, широко применяемым в качестве котельного топлива, преимущества ВВУС значительны: не требуется дорогостоящей сушки угля, мокрый размол угля в воде значительно снижает расход энергии по сравнению с сухим размолем, для обезвоживания угля возможно использовать различные методы обогащения в водной среде, при этом процесс обогащения облегчается высокой степенью размола угля.

Накопленный опыт исследований и промышленного применения ВУС (технология и аппаратура) ускорили разработки по приготовлению и транспортированию ВВУС во многих странах мира.

К концу 1984г. суммарные мировые мощности по производству ВВУС оценивались в 400 тыс.т/год. Кроме того, в США заканчивалось строительство двух пусковых объектов общей мощностью 370 тыс.т/год. Предсказывают, что в ближайшие годы мощности по производству различных марок ВВУС будут расти быстрыми темпами

/ I /.

В разработке и производстве ВВУС значительных успехов достигла Швеция. Так, фирма "Свенска флюид карбон" разработала ВВУС на основе обогащенного угля под фирменным названием "флюид-карбон" и в 1985г. пустила завод по ее изготовлению мощностью 250 тыс.т/год. Себестоимость получения ВВУС составляет 2/3 от стоимости мазута. Технология флюидкарбона закуплена по лицензии американской фирмой "Элис Чалмерс", с целью строительства в США завода промышленного масштаба. Другая фирма "АВ Карбогель" разработала ВВУС марки "Карбогель" также с использованием обогащенного угля / 2 /. При теплотворной способности угля 27800 кДж/кг карбогель имеет теплотворную способность 23300 кДж/кг. Карбогель пока получают только на пилотной установке, но американская фирма "Фостер Уиллер" уже закупила лицензию на производство карбогеля в США. Интерес к этой технологии проявили Канада, Австралия и др. страны.

В США разработками и исследованиями в области ВВУС занимаются более 20 нефтяных, энергетических и инженерно-конструкторских фирм. Совместными усилиями фирм "Атлантик Рисерч Корпорейшин", "Бобкок-Вилькокс", "Бектель" реализована программа испытаний по сжиганию нового вида топлива (70 % угля, 29 % воды и 1 % добавок. Вязкость пульпы около 10 кН.с/м²) в котельной установке производительностью по пару 31 т/ч.

Фирмами "Оксидентал Петролиум Корпорейшин" и "Комбашин Инжиниринг" создана корпорация ОХСЕ, которая построила крупную установку в г.Джексонвиле (штат Флорида) по производству водоугольного топлива производительностью по углю 15 т/ч. Эта установка производит суспензию, содержащую 70 % угля (по массе) и менее 1 % добавок. Полностью автоматизированный процесс, разработанный ОХСЕ, включает средство и оборудование для приемки исходного угля, его хранения, измельчения, приготовления топлива и хранения готового продукта. Установка в Джексонвиле является самым крупным предприятием в США по производству водоугольного топлива / 3 /.

Швейцарская компания "Меттер+Партнер" и научно-исследовательский центр "Беттель-Женева" разработали технологию производства ВВУС на основе применения сверхтонкого помола и комплексного процесса обогащения. Предусматривается получение

нескольких типов конечных продуктов в зависимости от их применения:

I тип - размер частиц угля менее 100 мкм, зольность $\leq 3\%$, содержание серы $\leq 1\%$; конечная концентрация угля 70-75%; предназначен для использования в крупных парогенераторах, работающих в настоящее время на мазуте;

II тип - размер частиц менее 45 мкм, зольность $\leq 1,5\%$, содержание серы $\leq 0,5\%$; предназначен для промышленных котлов среднего размера, работающих на мазуте;

III тип - размер частиц угля менее 25 мкм, зольность $\leq 1\%$, применяется для небольших котлов и "чистых" процессов нагрева / 4 /.

Водоугольные суспензии, предназначенные для замены нефтяных топлив, изучаются в Великобритании / 5 / на установках от демонстрационных до промышленных с производительностью 0,05-1,0 млн.т/год. Исследуется предварительное углеобогащение, приготовление водоугольных суспензий и их сжигание в Японии / 7 /, Канаде, Франции, КНР и других странах.

Основные направления работ по ВВУС включают:

- оценку экономичности процессов обогащения угля;
- разработку высоконадежного оборудования;
- проведение длительных опытов по сжиганию ВВУС в типовых котлах, рассчитанных на мазут;
- сравнение расходов на обогащение угля и очистку дымовых газов при сжигании ВВУС на основе необогащенного угля;
- исследование характеристики процесса транспорта ВВУС по трубопроводам на дальние расстояния;

В настоящее время нет единой точки зрения на уровень содержания золы при использовании ВВУС. С тех пор как главным мотивом развития ВВУС является сокращение потребления нефти для топливного использования, значительная часть фирм приступила к замене нефти в существующих котлах. К отрицательным сторонам ВВУС относятся меньшая, чем у мазута теплотворная способность, значительное саже- и золообразование. Поэтому для уменьшения отрицательного влияния этих факторов требуется применение обогащенных углей с низким содержанием зольности (по мнению ряда авторов - 1-3%).

В том случае, если ВВУС используется в бойлерах, предназначенных для сжигания сухого угля и затем переоборудованных для сжигания ВВУС, допускается более высокое содержание золы (8-10%) в некоторых случаях возможно применение высококачественных битуминозных углей и антрацитов без обогащения или с неглубоким обогащением / 1 /.

С точки зрения обогащения угля различия между этими двумя уровнями зольности (2 % и 10 %) очень велики. Достижение уровня $A^d = 8-10\%$ возможно при применении стандартных методов обогащения и для труднообогатимых углей. Для получения же угля с зольностью 2 % потребуются легкообогатимый уголь и более глубокое его обогащение.

Имеются сведения / 6 / о влиянии степени обогащения угля на процесс сжигания ВВУС в топках, предназначенных для жидких топлив. При лабораторных опытах с Вестфальским битуминозным углем его измельчали, фракционировали с применением для увеличения эффективности сепарации тяжелых органических жидкостей с удельным весом 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 т/м³. Отдельные фракции угля сжигали и определяли недожог C и содержание золы.

Установлено, что в пробах, взятых из исходного угля, выгорало 96,8 % C , а из обогащенного - 99,5 %. Указано, что обычными методами обогащения можно получить уголь по качеству ($A^d = 4-5\%$) пригодный для поставленной цели. Авторы технологии получения, транспортирования и сжигания водоугольной суспензии "Densecoal" / 7 / отмечают, что содержание золы и химический состав, содержание серы и петрографический состав угля оказывают влияние на характеристику горения водно-угольной суспензии с участием добавки.

Во время сжигания особую важность приобретают содержание золы и серы. Опыты, проведенные в Англии / 8 / на горелке 0,5 МВт с пневмораспыливанием водоугольных суспензий с зольностью угля 2-12 %, позволили установить влияние зольности на начальную температуру сжигания. При снижении зольности в угле начальная температура сжигания суспензии увеличивалась.

При использовании концентрированных водно-угольных суспензий большое значение приобретают реологические свойства суспензий. Рассматриваются пути повышения концентрации угля в водно-угольных

суспензиях без увеличения их вязкости с помощью добавок ПАВ, выбора максимального размера частиц, оптимального содержания сверхтонких зерен и гранулометрического состава угля. Наряду с этими факторами показано влияние на реологические свойства водно-угольных суспензий характеристики угля, зольности и вида минеральных примесей.

Изучение влияния типа углей и содержание в них золы на реологические свойства водно-угольных суспензий проведены корпорацией "Kao" (Япония) на базе пилотной установки с использованием углей различной степени углефикации / 9 /. Чтобы исключить влияние на поверхностные свойства угля минеральных примесей, исследования проводились с углями, зольность которых лежала в узком диапазоне (8,6–10,5 %).

Показано, что суспензии из углей с низким содержанием углерода достигают максимальной вязкости ~ 4000 сПз при более низких концентрациях угля. Например, при использовании углей с содержанием углерода 35,5 и 41,4 % максимальная вязкость достигается при 60–66 % угля, а при использовании углей с содержанием углерода 59 и 60,1 % – при 72–74 %.

Из этого следует, что для получения ВВУС целесообразно использовать угли с высокой степенью углефикации. Возможной причиной этого является тот факт, что при повышении углефикации такие функциональные группы как гидроксильные или карбоксильные уменьшаются, и поверхность угля становится более гидрофобной. Последнее, очевидно, ограничивает проникновение воды внутрь частиц через ее поверхность.

При использовании углей одного вида максимальная вязкость суспензии достигается быстрее, если увеличивается содержание золы в угле.

Так, при увеличении зольности с 9,1 % до 19,1 % концентрация угля, при которой достигается максимальная вязкость, уменьшается с 72 до 68 %.

Исследования, проведенные в Великобритании / 5 /, показали, что для замены жидких топлив водоугольная суспензия должна иметь уголь с зольностью менее 3 %, максимум 8 %. При концентрации угля в ВУС 67,5 % увеличение зольности с 5,4 до 13,1 % повышает вязкость суспензии примерно в 3 раза.

При рассмотрении путей повышения концентрации водоугольных суспензий без увеличения их вязкости с помощью добавок ПАВ отмечается, что на реологические свойства водоугольных суспензий влияет не только содержание, но и состав золы углей, так как отдельные ее компоненты способны в различной степени набухать и снижать текучесть ВВУС.

Обзор исследований и разработок, касающихся ВВУС как нового вида топлива показывает, что еще недостаточно четко сформулированы требования, предъявляемые к конечному продукту. Большинство исследований по использованию угля в виде ВВУС сводятся к определению оптимальных химических добавок, крупности частиц и гранулометрического состава, для обеспечения оптимальных условий перекачивания и сжигания гидросмеси.

С точки зрения обогащения, точное гранулометрическое распределение частиц, требуемое для приготовления водно-угольных смесей, представляется не столь важным фактором. Технологическая схема обогащения в большей степени определяется требованиями к зольности угля в гидросмеси и степени его обогатимости.

К настоящему времени за рубежом предложено несколько схем обогащения угля для приготовления водно-угольных смесей с использованием традиционных методов обогащения, обеспечивающих высокую степень извлечения горючей массы.

При неограниченном выборе угля, предназначенного для получения малозольного продукта, отдается предпочтение рядовому углю с небольшим содержанием золы и серы.

Наиболее широкое распространение получила схема флотационного обогащения угля для производства водно-угольного топлива флюидкарбон, разработанная в Швеции / 10 /.

Фирма "Флюидкарбон Интернешл АБ" для приготовления ВУС использует уголь из ПНР со следующими показателями технического анализа: $A^d = 11,7\%$, $V = 28,5\%$, $S = 0,58\%$, $C_{св} = 51,3$. Разработанная технология включает 4 стадии. Мокрое измельчение в 4-х шаровых мельницах для обеспечения максимальной гибкости в зависимости от сорта и типа угля; пенная флотация, в которой важную роль играют реагенты, используемые в качестве собирателей, пенообразователей и модификаторов, что обеспечивает

извлечение угля до 98 %. Затем угольную суспензию обезвоживают до влажности 20–25 % на вращающихся барабанных фильтрах с использованием ПАВ для лучшего удаления воды из тонких фракций углей. Последней стадией является процесс производства "Флюидкарбон" в смесительной системе, где дисперсанты с водой и углем перемешивают.

Содержание золы снижается на 70 %, пиритов – на 60 %. Жидкое топливо содержит 67 % угля с зольностью 2,8 %.

Технология получения водно-угольных смесей по способу "Карбогель" предусматривает измельчение рядового малозольного угля в шаровых мельницах, классификацию с целью выделения крупнозернистой части угля для повторного измельчения в тех же мельницах, обогащение многостадийной флотацией с последующим обезвоживанием флотационного концентрата. В результате промышленных испытаний, проведенных в *Nova Scotia* (Канада), показано, что для угля зольностью 10,3 % с содержанием летучих 29,9 % и пиритной серы 0,66 % получают снижение содержания золы на 60 %, серы на 80 %, при извлечении горючей массы 93 % / 2 /.

Для производства 1 т водно-угольной смеси, содержащей 25 % воды, требуется 0,91 т исходного угля.

Аналогичная технология под названием "*Densecoal*" предложена западно-германской фирмой "Зальцгиттер" / 7 /.

Применение флотационного обогащения в схеме приготовления низкзолной ВВУС определяется, главным образом, необходимостью получения твердой фазы с требуемой крупностью частиц. Измельчение при этом всего рядового угля до крупности менее 200–300 мкм имеет свои положительные и отрицательные стороны. К положительным сторонам можно отнести раскрытие сростков в процессе измельчения, позволяющее повысить селективность флотационного разделения. С другой стороны большая нагрузка на флотацию и необходимость обезвоживания флотоконцентрата от $C_{гв} = 20-22\%$ до

$C_{гв} = 70-75\%$ существенно удорожает процесс приготовления ВВУС. К недостаткам флотационного обогащения можно отнести невысокую эффективность выделения серы из угля. В связи с этим при обогащении высокосернистых углей предлагается перечищать флотоконцентрат при помощи высокоградиентной магнитной сепарации / II / или химических методов / 4 /.

По нашему мнению, при обеззоливании твердой фазы ВВУС нет необходимости в использовании только указанных методов. В зависимости от характеристик исходного угля и требуемой степени снижения содержания минеральных примесей в ВВУС возможны варианты технологических схем с отдельным обогащением крупнозернистых (более 300–500 мкм) и тонких угольных частиц. Использование гравитационных или центробежных способов обеззоливания крупных классов угля позволит снизить затраты на обогащение и обезвоживание.

Имеющиеся различия во взглядах на оптимальный уровень зольности угля в гидросмеси и возникающие в связи с этим трудности при выборе схемы его обогащения, объясняются отсутствием обратной связи между данными, касающимися обогащения, измельчения, гидротранспортирования угля и результатами, полученными при его сжигании в виде ВВУС. Тенденций дальнейших исследований в области низкзолых высококонцентрированных водоугольных суспензий является комплексный подход к решению этой проблемы.

В нашей стране институтом ВНИИПИ гидротрубопровод совместно с Донецким политехническим институтом и институтом физико-органической химии и углехимии АН УССР ведутся работы по определению целесообразной степени обеззоливания твердой фазы ВВУС, предназначенной для транспортирования по трубопроводу Белово-Новосибирск. На основе всестороннего изучения физико-химических свойств и обогатимости угля разрабатываются технологические схемы его обогащения, основанные на сочетании флотационного и гравитационных методов. Показана возможность получения концентратов зольностью от 3,0 до 8,5 % [12]. Схемы обогащения органически связываются с технологией получения твердой фазы ВВУС. В процессе реологических исследований определяется зависимость эффективной вязкости и стабильности суспензии от зольности твердой фазы, ее гранулометрического состава, способов обогащения; осуществляется поиск эффективных химических добавок для низкзолых ВВУС. Планируется проведение экспериментов по сжиганию суспензии с различным содержанием минеральных примесей в твердой фазе.

Полностью выполненный комплекс исследований позволит определить оптимальные характеристики твердой фазы, учитывающие возможности обогащения и обеспечивающие максимальную эффективность транспортирования и сжигания ВВУС.

Литература

1. Зорина Г.И., Лепнина Е.В. Угольно-водные суспензии - заменители котельного топлива, их производство и использование за рубежом // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1985. - №12 - С. 5-7.
2. Beckhusen E.H., Groel J.W., Shires M.J. Preparation and economics of a beneficiated coal water fuel based on the Carbogel process // Inst. Chem. Eng. Symp. Ser. - 1983. - №83. - P. 397-414.
3. Олофинский Е.П. Жидкий уголь вместо мазута // Промышленный транспорт. - 1986. - №7 - С.34-35.
4. An economic analysis of the future for coal-liquid fuels / Moles F.D., Lapwood K.J., Jenkins B.G. // Inst. Chem. Eng. Symp. Ser. - 1983. - №83. - P. 353-364.
5. Boeuf R.A., Connolly P.H., Fynes G., Shaw S.R., Vickers F. Fine coal feedstocks for coal water mixture preparation from UK coals // Inst. Chem. Eng. Symp. Ser. - 1985. - №95. P.61-72.
6. Pinta J. Refining solid coal to enhance combustion characteristics of coal-water slurry fuels // 6th Int. Symp. Coal Slurry Combust. and Technol., Orlando, Fla. - 1984. - P. 649-664.
7. Klose Reinhard B. Densecoal - an alternative to gas and oil // 6th Int. Symp. Coal Slurry Combust. and Technol., Orlando, Fla. - 1984. - P. 791-805.
8. Matthews K.J., Street P.J. Combustion histories of various coal-water fuels // 6th Int. Symp. Coal Slurry Combust. and Technol., Orlando, Fla. - 1984. - P. 109-126.
9. Watanabe Shin-ichi, Katabe Ken-ichi. Effect of several factors on HCWS rheological property // 6th Int. Symp. Coal Slurry Combust. and Technol., Orlando, Fla. - 1984. - P. 467-478.
10. Stiggson Lars L. Fluidcarbon fuel production and utilization in Sweden // Inst.

II

Chem. Eng. Symp. Ser. - 1985. - N 95. - P. 325-331.

II. Collecting Fines for New Markets // Coal Age - 1985. - 90, N1. - P. 57-64.

12. Елишевич А.Т., Самойлик В.Г. Обогащение угля в процессе приготовления твердой фазы водоугольной суспензии // Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов. - М.: ВНИИГидротрубопровод, 1986. - С. 57.

Печатается в соответствии с решением Ученого Совета
горноэлектромеханического факультета Донецкого поли-
технического института от 19 декабря 1986г.