УДК 662.74:552

Алексеев К.Ю. − директор департамента угольной и торфяной промышленности Минэнерго РФ, Москва, Россия
Горлов Е.Г. − д.т.н., проф. директор ООО НТЦ — Институт горючих ископаемых, Москва, Россия
Шумовский А.В. − д.т.н., заместитель директора по научной работе ООО НТЦ — Институт горючих ископаемых, Москва, Россия

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В РОССИИ ПРОИЗВОДСТВА СЖТ ИЗ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ (УГОЛЬ, ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ, ТОРФ)

Введение

Энергетическая безопасность является важнейшей составляющей национальной безопасности любой страны, в том числе, естественно, и России. Основа энергетики сегодняшнего дня - нефть и природный газ. Однако, по мнению экспертов, запасы этих главных сырьевых энергоресурсов будут исчерпаны уже в недалеком будущем. Снижается и энергетическая эффективность добычи нефти, которая к началу 21 века с учетом доставки до потребителя снизилась до 1:5.

Наблюдается и тенденция ухудшения качества добываемой нефти. В общем балансе добычи опережающими темпами увеличивается доля тяжелых и высокосернистых нефтей. Налицо явные диспропорции в топливо- и энергообеспечении отдельных регионов России. Причем именно эти регионы являются главными сырьевыми донорами страны: более 70% запасов полезных ископаемых находится на огромных по площадям, труднодоступных территориях Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Проблема усугубляется неблагоприятной географией размещения запасов первичных энергоресурсов, диспропорциями производства и потребления нефтепродуктов и электроэнергии по регионам страны, недостаточностью мощностей линий электропередачи, связывающих Дальний Восток, Сибирь и европейскую часть страны. Анализ ситуации, сложившейся в топливно-энергетическом комплексе, а также перманентный рост цен на нефть и газ, стимулируют интерес к развитию технологий получения энергии из других видов природного сырья, в частности из бурых и каменных углей.

Обзор технологий переработки углей

Мировой тенденцией является создание технологий использования угля в качестве наиболее перспективного (с учетом больших его запасов) энергетического ресурса. Продукты, получаемые в результате конверсии углей – не только альтернатива традиционным энергоноси-

© Алексеев К.Ю., Горлов Е.Г., Шумовский А.В. 2013

телям, эти продукты качественно и функционально превосходят их и в первую очередь - по характеристикам экологической безопасности. Поэтому глубокая переработка углей, как важнейший элемент обеспечения энергобезопасности, принята многими странами, располагающими запасами этого вида природных ископаемых. При этом развиваются три основных направления переработки углей с целью производства из продуктов переработки синтетических жидких топлив (СЖТ). Это прямое ожижение (каталитическая гидрогенизация), косвенное ожижение (газификация с последующим синтезом из газа СЖТ) и пиролиз. В промышленных масштабах в настоящее время действуют заводы по производству СЖТ из угля через синтез-газ, т.е. по Фишеру-Тропшу (компания Sasol, ЮАР и Синфуэлс, Китай) и завод прямого ожижения китайской компании Шеньхуа.

В СССР для координации работ в области технологий производства СЖТ из твердых горючих ископаемых существовала государственная целевая программа Ц0.08.,которая курировалась Комитетом по науке и технике. Головной организацией по проблеме был ФГУП ИГИ. На базе отечественных разработок были созданы опытные и опытно-промышленные установки: по гидрогенизации углей – Опытный завод СТ-5, по газификации углей – опытные установки в ИВТАН, ВТИ, ИГИ, ЦКТИ, и т.д., по пиролизу – установка ЭТХ-175 (технология ЭНИН). В ГИАП успешно развивался способ газификации низкосортных мелкозернистых углей в кипящем слое в целях получения газа, пригодного для синтеза аммиака и был построен промышленный газогенератор ГИАП-1, что послужило началом производства в СССР газа для химических синтезов аммиака, метанола.

Этот процесс газификации мелкозернистых углей был реализован на большинстве предприятий азотной промышленности СССР, а также странах СНГ – в Болгарии, Румынии и Китае.

Основные преимущества российского процесса газификации в кипящем слое следующие:

1) возможность использования низкосортных, мелкозернистых и дешёвых видов топлива (бурых углей, торфа и т.д.);
2) возможность производства газа различного назначения для аммиака и спиртов, для гидрирования и энергетических целей, путём метанирования получение метансодержащего городского газа;
3) возможность создания агрегатов любой необходимой мощности;
4) высокий КПД процесса, достигающий при использовании тепловых отходов (физическое тепло газов и уноса) 85% и более.

В 1985-89 годах ГИАП совместно с Топливным институтом в г. Фрайберг на ГК «Шварце Пумпе» (бывшая ГДР) разработал процесс га-

зификации угольной пыли в кипящем слое под давлением до 30 атм. в масштабе опытно-промышленной установки мощностью 30 т/час.

Процесс газификации угольной пыли протекал в присутствии кислорода в полом реакторе с жидким шлакоудалением при температуре 1500-1800^{0}С и давлении 3,0-4,0 МПа. Полученный газ характеризуется высоким содержанием восстановителей (H_2-CO). Разработанные технические решения и принципиальная технологическая схема газификации угля может служить аналогом для решения вопроса ликвидации различных промышленных и твёрдых бытовых отходов.

В процессе кислородной высокотемпературной газификации исходного сырья с угольной пылью тяжёлые металлы выделяются, в основном, в виде гранулированного шлака, нерастворимой формы и могут использоваться в дорожном строительстве или производстве стройматериалов.

Компоненты органической массы (хлор, фосфор, сера и другие вредные примеси) количественно улавливаются и выделяются.

По данному способу можно получать синтез-газ заданного состава H_2/CO (например, 2:1, 1:1), благодаря тонкой селективной очистке получаемого синтез-газа от соединений серы и др. вредных примесей, газ пригоден для синтеза метанола, высших спиртов, моторных топлив, чистых газов (H_2,CO с использованием коротко цикловой абсорбции - КЦА), а в больших объёмах переработки отходов - в ПГУ с получением электроэнергии. По энергозатратам установка может быть замкнутой или сбалансированной за счёт подачи угля или нефтяных отходов, типа кислого гудрона.

После распада СССР эти работы практически прекратились. Лишь в последние 10 лет эти разработки применительно к газификации углей были возобновлены и финансировались по линии Роснауки, а затем – и по линии Минэнерго РФ.

В настоящее время в нашей стране работами в области получения углеводородных продуктов, в т.ч. газов и жидкого топлива из угля, занимается ряд предприятий. Особое внимание уделяется разработке двухстадийной технологии с газификацией угля на первой стадии. Исследуются различные варианты газификации.

Из разрабатываемых процессов газификации в движущемся слое наиболее предпочтительна технология, создаваемая под руководством ЗАО «Компомаш – ТЭК» с участием ФГУП ИГИ и ОАО ГИАП, а также вихревой газогенератор, созданный группой компаний ООО «НИК-КОМ».

В частности, предлагаемый ЗАО «Компомаш – ТЭК» и ФГУП ИГИ процесс прямоточной газификации высокодисперсных водоугольных суспензий на основе бурых углей любых марок и каменных углей не имеет зарубежных аналогов, прост в аппаратурном оформлении и эксплуатации. Основные аппараты, разработанные на основе использова-

ния конструкции прямоточного ракетного двигателя, обладают высокими показателями энерго- и металлосбережения. Кроме того, по этой технологии можно перерабатывать любые виды твердых горючих ископаемых (каменные угли различных марок, горючие сланцы, торф), а также крупнотоннажные отходы лесоперерабатывающей промышленности и агропромышленного комплекса.

Преимуществами данного процесса газификации является возможность эффективного использования низкосортных углей при одновременном сокращении вредных газообразных выбросов (соединений серы и азота) в атмосферу. Установка будет состоять из узлов приготовления мелкодисперсной водоугольной суспензии, подачи суспензии в газогенератор, прямоточной газификации, очистки газа, конверсии газа для получения синтез-газа, синтеза синтетической нефти, разделения синтетической нефти на сжиженный газ (пропан-бутан), бензиновую фракцию, фракции реактивного и дизельного топлив и высокоплавкий парафин. Бензиновую фракцию через реформулирование преобразуют в высокооктановый бензин, отвечающий стандартам Евро 4 и 5. Фракцию реактивного топлива методом гидроизомеризации преобразуют в топливо для современных стратегических летательных аппаратов и экологически чистое ракетное топливо. Из высокоплавкого парафина методом легкого гидрокрекинга получают реактивное и дизельное топлива, отвечающие стандартам Евро 4 и 5.

В ФГУП «ММПП САЛЮТ» разработана оригинальная технология газификации твердых топлив (ТТ). Сущность технологии заключается в двухстадийной термической переработке твердых топлив методом паровоздушной газификации, разработанным в ИПХФ РАН (Черноголовка). Полученный продукт-газ может быть использован в газотурбинной (паротурбинной, газопоршневой) установке для получения электрической и/или тепловой энергии.

Процесс газификации осуществляется при температуре около 1100°С с недостатком кислорода. При очистке продукт-газа происходит полное удаление компонентов, образующихся при сжигании вредных веществ.

В настоящее время ФГУП «ММПП «САЛЮТ» разработал несколько типов энергетических комплексов, использующих газификацию твердых топлив.

К середине 90-х годов в НПО ЦКТИ по программе «Экологически чистая энергетика» разработан проект установки 2-го поколения (ГТЭ-115-2) с увеличением мощности (по сравнению с установкой 1-го поколения (ГТЭ-45-2) до 300 МВт.

Одним из вариантов сочетания процесса термической переработки (пиролиз и газификация) является процесс ОАО «Карбоника Ф», в

основу которого положена слоевая газификация угля с использованием режима «обратной тепловой волны».

Сущность эффекта «обратной тепловой волны» заключается в следующем: при определенных режимах дутья фронт горения угля смещается не по ходу дутья, как в традиционных слоевых топках и газификаторах, а против потока. Таким образом, зона пиролиза угля находится перед зоной горения по ходу дутья и все продукты термического разложения угля, в т.ч. особо экологически опасные смолистые вещества, полностью расщепляются в самом аппарате на окислы углерода, водород и воду. Благодаря этому процесс практически безопасен по экологическим параметрам.

Сам процесс позволяет вести как полную газификацию угля с получением горючего газа, так и частичную газификацию с получением среднетемпературного кокса многоцелевого назначения и горючего газа.

Процесс идет при атмосферном давлении, в нем используется только уголь и воздух для дутья, а температурный режим составляет около 900 ^{0}C, что в 1,7 раза меньше температур прямого горения угля. Газификации могут подвергаться любые неспекающиеся угли, в т.ч. числе низкосортные, а также торф и горючие сланцы.

Реализацией другого способа газификации является разработанная в 1997 году технология газификации в аэрошлаковом расплаве, использующая технологию газификации и сжигания угля в аэрошлаковом расплаве, близкую к применяемой в металлургической промышленности тепловой мощностью 200 МВт (процесс “Ромелт”, созданный АО НИИ экологических проблем энергетики РАО “ЕЭС России” в содружестве с ОАО “Красный котельщик”, АО “Ростовтеплоэлектропроект”, НПО “Алгон”, АО “Стальпроект”, “Гинцветмет” и др.). Установка представляет собой модернизированный котлоагрегат ТРГЕ-170, снабженный камерой-газификатором угля атмосферного типа. Подготовка и обогащение топлива, как и сам процесс газификации, происходят в турбулентно- перемешиваемой эмульсии топлива, шлака, дутья и газа. При этом жидкий шлак играет роль теплоносителя. При попадании угля в шлаковый расплав происходит его резкий нагрев, сравнимый с “тепловым ударом”. Это обеспечивает протекание интенсивного процесса термического дробления угля и ускорения выхода летучих. В качестве основного топлива для ОПУ предусматривается уголь марки АШ с низшей теплотой сгорания 4700 ккал/кг. Растопочным и резервным топливом служит природный газ.

В России прорабатывается ряд технических решений по использованию плазмохимического воздействия на процесс газификации.

Так, в ФГУП ИГИ исследовался процесс газификации различных углей и шлама гидрогенизации бурого угля в плазме водяного пара в реакторах разных конструкций. Основные преимущества процесса:

содержание водорода в газе более 50 %; отсутствие установки производства кислорода; пониженный расход сырья; высокая интенсивность процесса и уменьшение габаритов оборудования. С помощью низкотемпературной плазмы низкосортные топлива можно переработать в высококалорийный газ - метан или в углеводородное топливо, не содержащее сернистых соединений. Такой метод газификации эффективен применительно к низкосортным углям и сланцам, а также к сильно окисленным углям (отвалам) с теплотой сгорания сухой массы приблизительно 8 МДж/кг. При этом газификацию можно проводить с водяным паром, кислородом или парокислородной смесью. Недостающее для проведения процесса тепло восполняется за счет электроэнергии, которая в плазмотронах передается водяному пару или кислороду. Температура продуктов газификации на выходе из плазменного реактора должна быть не меньше 1100-1200 °С.

В Отраслевом центре плазменно-энергетическнх технологий РАО «ЕЭС России» разработан плазменный алло-автотермический газификатор ПААГ производительностью по угольной пыли 5 т/ч. Совместно с ОАО ВТИ были проведены его испытания на котле БКЗ-640-140. Плазмотроны установлены для интенсификации процессов горения и газификации. Первый установлен в верхней части по оси реактора. Он используется для воспламенения частиц аэросмеси с целью получения тепла, необходимого для компенсации эндотермического эффекта реакции газификации. Второй расположен тангенциально к реакторной камере и предназначен для поддержания температуры по длине реактора, что способствует интенсификации процесса газификации. Шлакоудаление в схеме - сухое. По результатам испытаний были сделаны выводы о применимости плазменного процесса газификации к бурым углям и выдано техническое задание на проектирование ПААГ производительностью по угольной пыли 32 т/ч с привязкой к котлу БКЗ-640-140 Гусиноозерской ГРЭС. Схема ПААГ разработана.

Новосибирская инжиниринговая компания ЗАО «СибКОТЭС» предложила использовать плазмотроны принципиально новой конструкции - на базе СВЧ-разряда. Эти плазмотроны пока находятся на стадии разработки. По сравнению с электродуговыми плазмотронами, СВЧ- плазмотрон имеет ряд таких преимуществ, как усиление дробления частиц угля, более интенсивная газификация угля, устойчивое горение угольной пыли и полное выгорание топлива. Плазма локализована в пространстве в виде парящего СВЧ-разряда. В данной конструкции исключается смещение точки горения. Простота и надежность оборудования достигаются за счет отсутствия электродов, дорогого циркулятора, волноводов и элементов подстройки.

Анализ работ в области синтеза Фишера-Тропша показывает, что проводятся, в основном, академические исследования, касающиеся соз-

дания научных основ процесса (выявление различных закономерностей, скрининг катализаторов). Это в первую очередь объясняется отсутствием опытной базы для длительного испытания катализаторов, а также тем фактом, что в течение многих лет эти работы были сконцентрированы в институтах системы Российской академии наук. Многолетние исследования по синтезу Фишера-Тропша проводились, в частности, в Институте органической химии им. Н.Д.Зелинского РАН (в основном кобальтовые катализаторы) и в Институте нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН (в основном железные катализаторы). Кроме того, аналогичные исследования, но в несколько меньшем объеме, проводят в Институте катализа им. Г.К.Борескова РАН, в Южно-Русском политехническом университете (Новочеркасский политехнический институт), в Объединенном центре исследований и разработок, в Московском государственном университете, в Томском государственном университете, а также в несколько небольших группах в ряде частных компаний.

Создание российской технологии получения синтетических углеводородов по методу Фишера-Тропша сдерживается также очень небольшим количеством работ по моделированию процесса и отсутствием специальных исследований по адаптации катализаторов к длительным условиям эксплуатации. Последний этап работы является совершенно необходимым, поскольку хорошо известно, что наиболее активный катализатор далеко не всегда является наиболее стабильным, а стабильность – основное качество, предъявляемое к промышленным катализаторам

К сожалению, информация о российских компаниях, имеющих перспективные технологии, отвечающие названным требованиям, менее доступна и менее точна либо вследствие их скромной рекламной активности, либо из-за явно неверных сведений.

В СССР в те же годы, в которые интенсивно проводились за рубежом научно-исследовательские работы в области получения СЖТ из угля, также разрабатывались новые технологии и в области создания процессов одностадийного прямого ожижения. Оригинальная технология ФГУП ИГИ была сопоставима по используемому катализатору с процессом Doy Chemical Co и отработана на Опытном заводе СТ-5.

Для гидрогенизации применяли неокисленные бурые и мало-метаморфизованные каменные угли. В этих работах участвовало большое число научно-исследовательских, проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий СССР. Были разработаны научные основы и новая отечественная технология производства жидкого топлива гидрогенизацией угля под давлением водорода (10,0 МПа, 425-435^{0}С, время реагирования на стадии сжижения угля 60 мин., эмульгированный Мо катализатор), которая прошла апробацию в условиях опытно-

промышленного производства на заводе СТ-5; концепция и проектно-конструкторская документация для сооружения в Канско-Ачинском бассейне промышленного предприятия мощностью от 3,0 до 4,5-5,0 млн. т жидких продуктов в год. В состав углеперерабатывающего предприятия включены принципиально новые процессы подготовки и переработки угля (сушка в вихревых камерах, микронный помол, диспергирование, нанесение на уголь эмульгированного катализатора и др.), сжигания твердого остатка для регенерации Мо катализатора, очистки ВСГ от примесей.

Пригодность как российских исследованных углей, так и зарубежных для гидрогенизации, независимо от выбранной технологии гидрогенизации сильно зависит от основных геолого-генетических факторов: петрографического состава, стадии углефикации, степени окисленности-восстановленности углей, содержания и состава в них минеральных компонентов. В частности, предъявляются жесткие требования по зольности (не более 5-7%), содержанию витринита (не менее 85%).

Все это существенно ограничивает сырьевую базу углей России для реализации как отечественного процесса прямого ожижения углей, так и предлагаемых зарубежных процессов, в частности аналог завода в Шеньхуа.

В ФГУП ИГИ проведены исследования по интенсификации термической деструкции углей за счет активирования углей путем ионизирующего излучения. Полученные результаты представляют интерес для гидрогенизации углей, так как известно, что термическая деструкция является одной из стадий процесса деструктивной гидрогенизации, и от условий ее проведения могут зависеть как выход, так и качество продуктов гидрогенизации углей.

Наиболее распространенная в настоящее время реакторная технология - реакторы с водой под давлением (кипящие и некипящие) могут вырабатывать тепло на уровне 400^0C. Ядерные реакторы с гелиевым охлаждением генерируют тепло с температурой до 750-800^0C. Именно этот тип реактора был использован для энергообеспечения процесса газификации угля (реактор Peach-Botton в ~ 60-е годы в США), что является первым прецедентом совмещения в едином комплексе химической и ядерной технологий. Однако новое поколение указанных реакторов пока находится в стадии разработки.

Анализ показывает, что наиболее подходящими для процесса гидрогенизации по термодинамическим параметрам являются ядерные энергетические установки (ЯЭУ) с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением. Технология подобных ЯЭУ освоена в России. Так на Белоярской АЭС с 1980 года находится в промышленной эксплуатации энергоблок с быстрым реактором БН-600 тепловой мощностью

1500 МВт, с высокой степенью надежности и безопасности, генерирующий пар с температурой 505^0С при давлении 14 МПа.

Применительно к энерготехнологическому комплексу, осуществляющему гидрогенизацию угля с использованием ядерного энергоисточника, имеется широкое поле для технико-экономической оптимизации. Так, исключение из схемы ЯЭУ с быстрым натриевым реактором парогенератора и турбогенератора (составляющих около 50% стоимости ЯЭУ) и замена их на теплообменник «натрий-газ», генерирующего газовую среду с необходимыми параметрами, может привести к существенному удешевлению не только собственно установки, но и всего энерготехнического комплекса. При этом может быть создан процесс, характеризующийся пониженной экологической опасностью.

Процесс пиролиза как вариант переработки углей, не заслуживает внимания и, как показал мировой конгресс по СЖТ, специалистами (Париж, март 2011 г), оценивается как тупиковый, не имеющий перспектив промышленной реализации. В России технологией пиролиза углей, в основу которой положен процесс слоевой частичной газификации угля с использованием режима «обратной тепловой волны», занимается компания «Карбоника-Ф».

Но, хотя исследования по разработке процессов комплексной переработки углей для получения синтетических жидких моторных топлив, горючих газов, разнообразных органических веществ проводятся различными отраслевыми и академическими институтами, в этой области до настоящего времени в России нет законченных разработок, соответствующих понятию «технология». Их уровень в лучшем случае - это исследования на демонстрационных установках, что не позволяет говорить о них как о законченных технологических продуктах, готовых к реализации в промышленных масштабах. Доводить работы до стадии коммерциализации не позволяет отсутствие финансирования и координации.

Отсутствие единого координирующего данную актуальную область науки и техники центра приводит лишь к распылению сил и средств, а также к необоснованным решениям при выборе технологий для промышленной реализации.

Для создания инновационных технологий синтеза энергоресурсов из угля требуются: разработка основополагающей концепции; организация и координация научно-исследовательских, проектно-конструкторских работ; строительство последовательно демонстрационных, опытно-промышленных установок и промышленных предприятий.

Важнейший элемент разработки инновационной технологии - отработка деталей процессов глубокой переработки угля с получением данных, необходимых для создания промышленных аналогов. Поэтому необходим переход от стадии лабораторных (стендовых) исследований

к НИР в укрупненных масштабах, моделирующих промышленные установки, т.е. создание демонстрационных установок.

Заключение

К сожалению, продолжение всех этих работ упирается в вопрос финансирования. Сложилась странная ситуация: никто не говорит, что это направление России не нужно. То, что оно нужно и важно, видно из многих директивных документов. Большой интерес к теме проявляет и частный капитал – практически все крупнейшие угольные компании страны обозначили его. Тема включена в новомодные рамки технологической платформы (Технологическая платформа твердых полезных ископаемых). Тема принята к финансированию в рамках ФЦП Минобрнауки, но не нашлось желающих профинансировать ее внебюджетную часть(100 млн.руб на полтора года). На настоящем этапе речь идет о стадии завершения НИОКР. После этой стадии необходима стадия строительства опытно – промышленного завода, проверка и отработка на нем всех процессов по полной технологической цепочке. И только после этого можно будет переходить к стадии создания промышленных предприятий –проектированию,инжинирингу и т.д. У китайцев на все это ушло 10 лет и сейчас они существенно опережают нас. По нашим оценкам, с учетом имеющегося опыта и потенциала отечественной научно–технической базы, при условии достаточного и своевременного финансирования, мы могли бы преодолеть это отставание за 4-5 лет.

Литература

1. Алексеев К.Ю., Горлов Е.Г., Шумовский А.В. Современные условия для промышленной реализации процессов СЖТ из углей в России. Уголь, 2012, №8, 91-93.

   Alekseev K.Yu., Gorlov Ye.G., Shumovskiy A.V. Modern conditions for industrial implementation of the coal GTL production processes in Russia. Coal. – 2012. - №8. – P.91-93.

2. Состояние и перспективы комплексного использования твердых горючих ископаемых. Юбилейный сборник трудов ИГИ. Под ред Горлова Е.Г. Москва, «НТК Трек», 2011. – 376 с. илл.

   Gorlov Ye.G. Status and prospects of comprehensive utilization of solid fuels. Jubilee Proceedings of IFF. Moscow. – “NTK “Trek”. – 2011. PP.376.

Рукопись поступила 26.04.2013 г.