

С.Д. Фазылов¹, М.А. Абдыкалыков¹, О.А. Нуркенов¹, М.Г. Мейрамов¹, А.Б. Татеева²,
Ж.С. Ахметкаримова¹, Ж.Б. Сатпаева¹, А.Е. Аринова¹, Н.Ж. Рахимжанова²

¹Институт органического синтеза и углекислоты Республики Казахстан, Караганда;

²Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова;

(E-mail: iosu8990@mail.ru)

Технологии комплексного использования углепродуктов как рациональный путь повышения экономической эффективности работы угледобывающих предприятий

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности использования казахстанских углей, проблемы перестройки топливно-энергетического баланса страны в направлении сбережения нефти. Представлены технологии ближнего и дальнего зарубежья производства жидких продуктов из угля. Рассмотрены проблемы эффективной утилизации тонкодисперсных отходов угольной промышленности, переработки огромных запасов твердых горючих ископаемых в полезную продукцию. Представлены перспективы и проблемы комплексного использования продуктов угольного производства, разработки и внедрения новых перспективных технологий их переработки.

Ключевые слова: уголь, каменноугольная смола, нефть, сланец, газ, гидрогенизация, вторичное использование отходов, твердые горючие ископаемые.

Республика Казахстан располагает значительными запасами углей различных марок. В республике выявлено свыше 300 месторождений и углепроявлений ископаемых углей, а также высококачественных горючих сланцев. Общие геологические запасы и прогнозные ресурсы углей Республики Казахстан оцениваются в 150 млрд т (из «Концепции развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года» — разработана на основании Протоколного решения заседания Правительства Республики Казахстан от 7 сентября 2007 года № 28 [1]). Балансовые запасы углей категорий А+В+С1+С2, по состоянию на 1 января 2007 года, составляют 33,6 млрд т, в том числе каменных углей 21,3 млрд т, бурых углей 12,3 млрд т. Забалансовые запасы угля по бассейнам и месторождениям Республики Казахстан, по состоянию на 1 января 2007 года, составляют 28,6 млрд т, в том числе каменных углей 3,2 млрд т, бурых углей 25,4 млрд т. Большая часть подсчитанных запасов (63 %) представлена каменными углями Карагандинского, Экибастузского, Тенгиз-Коржанкольского бассейнов, Кушокинского, Борлинского, Шубаркольского, Каражаринского и ряда других месторождений.

По данным международных официальных долгосрочных прогнозов (VISION 2050), запасов угля в мире при нынешних темпах потребления хватит на 300–500 лет, нефти и газа — на 20–50 лет, запасов урана — на 60–70 лет [2] (см. табл.).

Т а б л и ц а

Мировое потребление угля в сравнении с другими видами топлива (VISION 2050)

| Страны | Мир, млн т н.э. | США, % | ЕС-15, % | Россия, % | Китай, % |
|----------------------------|-----------------|--------|----------|-----------|----------|
| Все виды топлива | 9977,7 | 23,1 | 14,9 | 6,2 | 11,4 |
| Твердое ископаемое топливо | 2336,0 | 23,2 | 9,4 | 4,7 | 28,1 |
| Нефть | 3482,7 | 25,6 | 17,2 | 3,7 | 6,4 |
| Природный газ | 2112,4 | 26,0 | 16,3 | 15,1 | 1,3 |
| Атомное топливо | 80,4 | 30,6 | 33,8 | 5,1 | 0,6 |
| Гидро | 227,4 | 9,6 | 12,8 | 6,2 | 8,4 |
| Геотермальное | 43,5 | 30,1 | 7,9 | 0,1 | – |
| Ветер/ солнце | 7,2 | 27,4 | 37,8 | – | – |
| Биомасса | 1089,0 | 6,7 | 5,2 | 0,6 | 19,7 |

Данная проблема особенно актуальна в связи с быстрым ростом затрат на добычу и переработку нефти, с необходимостью экономить её ресурсы, с постоянно увеличивающимся спросом на моторное топливо. Поэтому основной акцент в мире делается на развитие угольной энергетики, доля кото-

рой в теплоэнергетике Казахстана составляет 94 % и возрастет до 96 % после ввода в эксплуатацию строящейся Балхашской ТЭС с предполагаемой мощностью 2, 64 млн кВт.

Уголь является важнейшим органоминеральным образованием, который обладает разнообразными свойствами. Это предопределяет возможность его широкого использования практически во всех отраслях народного хозяйства. В связи с развивающимся в мире энергетическим кризисом перестройка топливно-энергетического баланса страны в направлении сбережения нефти, переработка огромных запасов твердых горючих ископаемых в полезную продукцию особенно в настоящее время очень перспективны. Для повышения эффективности использования казахстанских углей необходима разработка и внедрение новых перспективных технологий их переработки.

Общеизвестно, что наиболее рациональный путь повышения экономической эффективности работы угледобывающего комплекса заключается в переработке рядовых углей в целевые продукты на месте добычи. Однако что можно понимать под термином «целевые продукты»? Уголь является настолько богатым сырьем, что перечень получаемых из него продуктов составляет более пятисот наименований. Какие из них необходимо производить? Ответ на этот вопрос и определяет всю дальнейшую деятельность по переходу к глубокой переработке углей на месте добычи. Рассмотрим эту проблему на конкретных примерах. Не будем касаться проблем, связанных с коксующимися углями, находящимися устойчивый сбыт. Наиболее эффективные угольные предприятия Казахстана добывают в основном угли марок Д, ДГ и Г. Это так называемые «молодые» угли, которые характеризуются пониженной теплотой сгорания и не пользуются высоким спросом.

Вместе с тем, многие из этих углей имеют низкую зольность и могли бы использоваться без обогащения. Итак, с одной стороны, Казахстан имеет значительный ресурс молодых углей. Но что сегодня имеет спрос на рынках? На внутреннем рынке идет постепенное формирование спроса на высококачественные угли, но этот процесс должен быть простимулирован поставщиками угля. Пока только на основе корпоративных соглашений между энергетиками и угольщиками может быть сформирован цивилизованный рынок энергетических углей.

На мировом же рынке есть только один критерий ценности угля, как и любого топлива, — цена одной мегакалории. Отсюда вывод, чем выше теплота сгорания угля, тем меньше транспортная составляющая в цене калории и, как это ни парадоксально, ниже себестоимость киловатт-часа электроэнергии и гигакалории (10^9 калорий) тепла за счет снижения внутренних затрат электростанции на сжигание угля. Таким образом, на рынке ходовым товаром является высококалорийное, низкзольное, желателно бездымное, но реакционноспособное твердое топливо.

Насколько устойчива эта тенденция? Анализ показывает, что при среднем росте цены на энергию стоимость мегакалории, полученной из нефти, выросла с 78,5 цента в 1973 г. до 533 центов в 1981 г. и сегодня составляет 214 центов. Для природного газа не наблюдается синусоидальных колебаний, как для нефти. Цена мегакалории, полученной из газа, неуклонно растет и сегодня составляет 324 цента. Для энергии, получаемой из угля, после колебаний в 1973–1981 гг. отмечается устойчивое снижение цены, и она составляет сегодня 126 центов за мегакалорию. Таким образом, легко объясняется наращивание добычи угля в ведущих странах. Кроме того, большим и устойчивым спросом пользуются и жидкие топлива, включая моторные. Растет спрос на тяжелые органические жидкости типа битумов и пеков. Резко возросли спрос и цены на органические оксигенаты, прежде всего фенолы, крезолы, ксиленолы.

Определив начальный перечень продуктов, следует остановиться на вопросе о том, по какой технологии возможно производство этих продуктов. Главным критерием выбора технологии переработки углей, с получением целевых продуктов, является гарантия того, что их себестоимость будет по крайней мере не выше получаемых из альтернативного сырья.

Выбор должен быть основан на оценке существующих технологий по следующим параметрам:

- наличие существующего и прогнозного спроса на продукцию в Казахстане, в России и за рубежом;
- возможность быстрой реализации в промышленных масштабах;
- экономическая эффективность и экологическая чистота;
- величина удельных капиталовложений и привлекательность для потенциальных инвесторов как в Казахстане, так и за рубежом.

На сегодняшний день известны более 60 технологических разработок переработки углей, начиная от простейшей сортировки и обогащения и заканчивая получением углеродных волокон, графена и новых форм углерода (фуллеренов). Однако все эти технологии имеют различную степень готов-

ности к внедрению. Хорошо бы организовать в Казахстане производство бакминстер-фуллеренов и продавать их, упаковывая в кожаные кейсы. При цене сырого бакибола \$50 за грамм стоимость такого кейса составит четверть миллиона долларов. В этом плане перспективными являются исследования, проводимые учеными ТОО «Absolutecology» (Караганда) и КазНУ (Алматы), по фуллереновым соединениям. Однако не все, даже освоенные в промышленности, технологии могут быть легко внедрены в экономических условиях Казахстана. Основываясь на данные о состоянии разработок в промышленно-развитых странах, отметим наиболее освоенные и перспективные технологии переработки угольного материала.

Производство жидких продуктов из угля по технологии нового поколения. Идея получения жидкого топлива из твердых углей давно занимала умы ученых-химиков. Пожалуй, она возникла одновременно с изобретением двигателя внутреннего сгорания (т.е. в конце XIX в.), который стал основной движущей силой, заменившей тягловых животных. Разнообразное жидкое топливо — бензин, керосин, солярка — получалось путем крекинга нефти. Скважины, из которых била нефть, уходили уже на многие километры в глубь земли и дно морей, и цена добычи ее росла из года в год. В обозримом будущем нефтяные реки обмелеют и совсем высохнут. Что же делать тогда? Снова переходить на лошадиную, верблюжью тягу? А резерв-то рядом — это уголь. Тайну превращения угля ученые открыли еще в первой половине XX века, тогда же родилась специальная наука — углехимия. Все достаточно просто: и уголь, и нефть состоят из углерода и водорода. Разница лишь в атомарной структуре. Академик Букетов в своем трактате «Нефть, уголь и вода в химии и энергетике» разъяснил, в чем суть: в угле соотношение водорода и углерода — 1:1, правда, атомный вес водорода — 1, а углерода — 12, и поэтому углерода больше, чем водорода, в 12 раз; в нефти соотношение этих двух элементов 1:2, т.е. 2 атома водорода приходится на 1 атом углерода, по этой причине нефть в два раза легче угля и встречается только в жидком состоянии. Теперь всякому ясно, что, если в угле увеличить число атомов водорода в два раза, он превращается в нефть. Химики, чтобы не путать с природной нефтью, конечный продукт назвали «синтетической нефтью». А процесс обогащения угля водородом назвали «гидрогенизацией угля», иначе говоря «ожигением угля».

Химики всего мира освоили несколько способов «ожигения угля». Один из них, пожалуй, самый совершенный, предложил немецкий химик Бергиус еще в 1912 г. Заключается он в следующем: в герметически закрытой печи уголь в присутствии водорода нагревают до 400–500 градусов без доступа воздуха, не давая ему гореть, под давлением 500–700 атмосфер; для ускорения процесса в качестве катализаторов реакции в уголь добавляют железо, никель, кобальт, молибден и некоторые соли редких элементов, тонко измельченный уголь разбавляется жидкой нефтью; и в конце нефть начинает течь по трубам в виде жидкой массы. Можно сказать, азбука химии, если не считать, что при этом велики затраты электроэнергии на нагрев и приходится сооружать очень дорогое оборудование. И все-таки за рубежом еще до начала Второй мировой войны было построено 48 заводов, из которых почти половина работала по «методу Бергиуса». Тот, кто вырос в деревне, наверное, видел, как мелкий уголь смачивают водой для того, чтобы он лучше горел в печи. Кстати, и на производстве постоянно пользуются этим простым крестьянским способом. Этому есть и научное обоснование: в присутствии воды в процессе горения в топке образуется «оксид углерода» (т.е. обыкновенный угарный газ), и атомы водорода, находящиеся в газообразном состоянии, намного усиливают теплоотдачу. Зарубежные ученые Фишер и Тропш, неоднократно наблюдая за процессом обжига угля, догадались получить жидкое вещество, прогнав эти «угарные» и водородные газы через катализаторы. При этом чем больше был объем газов, тем больше получалось жидкости. А жидкость эта «синтетическая нефть». Из всего сказанного можно сделать вывод: что из угля не так уж сложно выработать жидкую нефть, а из остающихся отходов можно дополнительно получить парфюмерию, синтетические материалы и множество других вещей; из той же нефти выделить бензин, керосин, моторные масла... Словом, дело испытанное и весьма полезное! Не перевозя миллионы тонн угля на дальние расстояния, можно там же, где они добываются, синтезировать жидкое топливо и другие продукты химии. Почти шестьдесят процентов ожигенного угля дает чистый бензин, а также другие виды топлива. А оставшиеся отходы пригодятся при укладке асфальтовых дорог. Следовательно, появляется возможность полностью избавиться от ГРЭС, ТЭЦ, от всех тепловых котельных, которые загрязняют воздух. В процессе сгорания жидкого топлива, как установлено, вовсе не выделяются ядовитые вещества, значит, наносимый окружающей среде вред будет в сотни раз меньше. Нужен лишь оптимальный способ получения дешевого жидкого топлива. Эта проблема в начале XX в. завладела умами зарубежных ученых и породила сотни исследователей-фанатиков, посвятивших ее решению всю свою

жизнь. Но, к всеобщему огорчению, предложенные ими методы получения жидкого топлива не получили должного распространения, так как при этом бензин и другие виды топлива обходились в три раза дороже, чем при перегонке природной нефти. Ожижение угля производилось только по крайней необходимости.

Например, по прямому указанию Адольфа Гитлера во время Второй мировой войны немецкие химики, используя бурый уголь Рурского бассейна, из-за нехватки нефтепродуктов вынуждены были производить более 4,5 млн т бензина на заводах, срочно построенных возле Мюнхена. Специалисты подсчитали, что в годы войны немецкие танки, самоходные установки и военные автомобили обеспечивались на 75 % жидким топливом, полученным с этих заводов. В трактате Е.А.Букетова «Нефть, уголь и вода в химии и энергетике» указано, что в 1940–1943 гг. такие же заводы действовали в Японии, Италии, Англии, Франции, они произвели 7–8 млн т «синтетической нефти».

Еще один хороший пример. Во время блокады Южно-Африканской Республики ее власти тайно доставили туда немецких инженеров, которые работали на заводах Мюнхена. И они в течение нескольких месяцев сумели наладить производство жидкого топлива из местного угля. Между прочим, гигантский завод, построенный ими в те годы, работает по сей день. Советские химики тоже разработали технологию получения жидкого топлива из углей. По их проекту в середине 1980 гг. в Подмоскowie был построен небольшой завод, где ожижалось 5 т местных бурых углей в сутки.

В настоящее время разработаны более 30 вариантов процессов с применением метода гидрогенизации переработки угля в продукты топливного и химического назначения. Основные технологические параметры этих процессов подробно опубликованы в научной литературе [3–5]. Некоторые из перечисленных процессов осуществлены в промышленном и опытно-промышленном масштабе в 30–50-х гг. прошлого столетия в Германии, Великобритании, Японии и других странах. В Германии (г. Цайц) методом прямой гидрогенизации перерабатывается примерно 0,5 млн т в год смолы полукоксования углей в компоненты моторных топлив, смазочные масла и парафин. В Эстонии жидкие продукты получают из смол газификации или пиролиза прибалтийских сланцев, а в России — из смол полукоксования каменного угля Черемховского месторождения. В ЮАР с 1983 г. действуют 3 завода САСОЛ с суммарной производительностью около 33 млн т/год по углю, или 4,5 млн т/год по моторным топливам. В основу технологии положена газификация угля по методу Лурги под давлением с последующим синтезом углеводородов по методу Фишера-Тропша.

В настоящее время наиболее интенсивно проводятся работы по созданию технологии гидрогенизации угля в Германии, Китае, США, Японии и России. Авторы [6] отмечают, что в середине 90-х гг. в Германии фирмами Veba Oil, Ruhrkohle A.G., Saarbergwerke A.G. и другими разработана и проверена в условиях опытно-промышленных установок «новая немецкая технология» гидрогенизации угля под давлением 20,0–30,0 МПа. Наиболее интенсивно работы по созданию технологии гидрогенизации III-го поколения в последние годы проводятся в Японии, где в рамках Государственной программы «Sunshain» фирмой Nippon Coal Oil Co., Ltd и корпорацией NEDO успешно эксплуатируется опытно-промышленная установка производительностью 150 т угля в сутки (г. Кашима). Процесс осуществляется под давлением 17–19 МПа в присутствии железосодержащего катализатора (3,0–5,0 % в расчете на сырье) [7].

Весьма перспективным методом получения жидких продуктов из углей — моторных топлив и сырья для органических синтезов — является прямая деструктивная гидрогенизация. Метод газификации угля в настоящее время остается единственным экономически приемлемым промышленным методом производства водорода, необходимого для гидрогенизации угля. Так, например, в Южно-Африканской Республике хорошо освоена технология САСОЛ, т.е. газификация угля и последующий синтез Фишера-Тропша для получения углеводородов, прежде всего жидких продуктов.

Такой путь очень дорог и мог быть реализован только в ЮАР, в условиях экономического эмбарго, когда госдотация на переработку угля достигала 19 долл. на тонну. Используя скрытый в этой дотации финансовый резерв, компания САСОЛ сумела развить химическое производство, снизив сегодня на 60 % производство синтетического бензина, который стал убыточным после снятия эмбарго. Его заменили дорогостоящие и выгодные для производства лаки, краски, пластики, волокна, взрывчатка и т.д. Понятно, что Казахстан не имеет возможности получать ежегодно около 500 млн долл. госдотации только на поддержание подобной технологии.

Эффективный путь использования молодых углей уже продемонстрирован в США. Для того чтобы сделать экономически целесообразной транспортировку углей на 2–3 тыс. миль из штата Вайоминг до потребителей, была разработана технология и в 1992 г. построен первый демонстрационный

завод по мягкому пиролизу 300 тыс. т угля в год. Эта технология позволяет получить бездымное высококалорийное твердое топливо и жидкое малосернистое топливо. Капитальные удельные вложения на уровне 65 долл. на тонну переработки и затраты на переработку, составляющие около 6 долл. на тонну, дают возможность иметь высокую рентабельность производства.

Привлекательность этой технологии настолько высока, что 12 проектов по внедрению технологии ведутся одновременно не только в США, но и в Китае, Индонезии, Австралии, Пакистане, Польше, Чехии, Филиппинах и даже в России. В США ведутся работы по строительству завода производительностью 4,5 млн т в год и планируется довести через 10 лет объем переработки до 75 млн т в год [6, 7].

На сегодняшний день выполнен значительный объем работ по проекту. Переработка угля по технологии мягкого пиролиза, или, как ее называют в США, — LPC, заключается в сушке и последующем нагреве угля до 550 °С в инертной среде. В результате получается бездымное высококалорийное топливо-полукокс, легкий мазут. Мазут может разделяться на бензин, крезол, дизтопливо и битум. Если раньше ставилась задача получить максимальный выход продуктов из угля, например бензина, то сегодня ставится задача получать оптимальное количество продукта при минимальных затратах. Главное условие этого подхода — что добавленная стоимость должна превышать сумму затрат на ее получение как минимум на 15–20 %.

Китай проводит широкомасштабные работы в области получения жидкого топлива гидрогенизацией углей. В Китае разработаны собственные технологии прямого ожижения угля с использованием оригинальных каталитических систем. Так, по технологии Shenhua выход масел достигает 57–58 % при достаточно высоком выходе более тяжелых продуктов, перерабатываемых в дизельное топливо. Группой Shenhua в 2004 г. в автономном округе Внутренняя Монголия на севере страны построено первое в мире промышленное предприятие по производству жидких топлив методом прямого ожижения угля мощностью 5 млн т угольной нефти в год. По имеющимся планам затем будут пущены еще 4 производственные линии, которые ежегодно будут перерабатывать 15 млн т угля [8].

Казахстан обладает значительным потенциалом развития угольной энергетики в этом направлении, имея объективные предпосылки:

– геологические запасы и прогнозные ресурсы углей Республики Казахстан оцениваются в 150 млрд т. Сейчас среди государств СНГ Казахстан идет на третьем месте по запасам (после России и Украины) и на первом — по добыче угля на душу населения;

– научные предприятия, оснащенные исследовательскими установками и уникальными оборудованьями и проводящие исследования в области каталитической гидрогенизации углепродуктов.

Однако сегодня республика заинтересована не только в его извлечении и экспортной продаже в качестве сырья, но и в сбыте продукции более высокого передела. В этом направлении Правительством, Министерством индустрии и новых технологий РК ведется целенаправленная работа по обеспечению трансферта и внедрению инновационных технологий глубокой переработки угля, разработке законодательных актов по стимулированию их внедрения в отрасли.

Проблемы эффективной утилизации тонкодисперсных отходов угольной промышленности. Экономическое состояние конкурентоспособности предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых во многом зависит от полноты использования ресурсов. В энергетике Казахстана применяют в основном низкосортные угли валовой добычи и отсева, низкая эффективность использования которых сдерживает объемы их реализации. Наряду с увеличивающейся зольностью и влажностью угля рост содержания мелкозернистых частиц в объеме поставляемого угля отрицательно влияет на его качество и, как следствие, на стоимость. Часть тонкодисперсных отходов представлена шламами обогащения, образующимися в процессах добычи и обогащения, отсевами, штыбами.

Существующая экологическая напряженность в добывающих и перерабатывающих регионах Казахстана во многом связана с местами складирования твердых горючих отходов. В угольной промышленности Казахстана ежегодно в результате добычи и обогащения каменных углей образуется значительное количество твердых и жидких углеродсодержащих отходов (шлам, отсев), складированных в отвалах и шламохранилищах, достигающих до 30 % от общего объема угледобычи. Кроме того, за последнее время выросла зольность добываемого угля, которая повысилась по Карагандинскому бассейну с 31,6 до 36,2 % [9,10]. Увеличение зольности угля вызвало уменьшение примерно на 10 % теплоты сгорания на ТЭС и соответствующий рост пылегазообразных выбросов. Для уменьшения этих негативных последствий требуется увеличение уровня переработки углепродуктов на обогащательных фабриках, который повысился в Казахстане с 25 до 36 %. Уровень переработки углеотхо-

дов ведущими странами составляет более 60 % — в США, 75 — в Австралии, 80 — в Германии, 90 % — в Великобритании [10].

Перспективы и проблемы комплексного использования углепродуктов. Одним из путей решения проблем комплексного использования продукции угледобывающих предприятий, на наш взгляд, является создание инновационных технологий глубокой переработки угля для получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Основными методами химической переработки углей остаются пирогенетические превращения, деструктивная гидрогенизация, термическое растворение, газификация и окислительная деструкция. Разработанные в Казахстане, России и других странах технологии дают возможность производить из низкосортного и бурого угля соответствующие современным европейским стандартам бензины, дизельное и реактивное топливо, продукты углехимии.

Разрабатываются также нетрадиционные способы переработки угольного вещества с использованием, например, низкотемпературной плазмы или озона, получая при этом гамму ценных наноматериалов, среди которых полиароматические соединения для металлургии и фармацевтики.

На основе низкосортных углей предложены способы получения углеродных адсорбентов, на основе продуктов коксования — методы получения антрацена, фенантрена и карбазола для химической промышленности. Имеют перспективу разработанные способы использования золошлаковых отходов электростанций — продуктов горения топлива, для извлечения из них ценосферов, которые используют в производстве теплоизоляционных строительных блоков, микроконтейнеров для длительного хранения высокотоксичных, радиоактивных отходов. Увеличивается потребление углей для изготовления высокоуглеродистых, углеграфитовых, композиционных материалов, пластических масс.

Вопросами топливного и нетопливного использования углей, процессов обогащения, брикетирования, газификации, коксования углей и технологий по улучшению качества казахстанских углей занимаются многие предприятия и научно-исследовательские организации Республики Казахстан. Так, установлена возможность переработки углей Шубаркольского и Майкубенского месторождений в спецкокс для использования его в металлургической и фосфорной промышленности.

С целью организации производств моторного и котельного топлив, удобрений, стабилизаторов буровых растворов, активированных углей, ионитных сорбентов и других органических продуктов ищутся экономически выгодные и прогрессивные методы химической переработки углей. Наибольшее развитие в Казахстане получили исследования методов каталитической гидрогенизации и окислительной деструкции углей с целью получения моторных топлив и гуминовых веществ — продуктов широкого назначения.

Определяющую роль здесь играют инновационные способы модификации и переработки топливных ресурсов, позволяющие использовать достоинства угля, сводя к минимуму сложности его применения и экологические последствия использования в качестве топлива.

Исследования в данной области пошли по двум направлениям. Одно направление связано с разработкой специальных методов и технологий сухого измельчения угля, улучшающих возможность его сжигания. Прежде всего, это технология «микроугля», созданная в Институте теплофизики СО РАН [11, 12]. Преимуществами ультратонкого (35–40 микрон) помола являются значительное увеличение площади твердой поверхности, высокая интенсивность горения, эффект механической активации, снижение выбросов диоксида азота.

Возможные области применения микроугля: как основное топливо для небольших газомазутных котлов; использование вместо газа и мазута для воспламенения и розжига крупных котлов на твердом топливе; прямое сжигание в газотурбинных установках. Проблемами использования являются большие энергетические затраты на микропомол, малотоннажность существующих мельниц, взрывоопасность угольной пыли, высокая абразивность топлива. Вторым направлением является разработка методов и технологий производства водоугольного топлива (ВУТ).

Современные исследования и опытно-конструкторские разработки позволили создать новое угольное топливо — кавитационное водоугольное топливо (КаВУТ), имеющее небольшой размах дисперсности с модальной группой 75–150 микрон. Линия кавитационного водоугольного топлива различается, прежде всего, уровнем дисперсности твердой части топлива — угля и может быть доведена до ультрадисперсности с модальной группой менее 25–50 микрон до нановеличин, под условным названием «нануголь». Кавитационную технологию приготовления водоугольного топлива можно назвать революционной, поскольку меняется содержание технологий основных фаз полного угольного цикла в энергетике [13–15].

В последние годы активно исследуется возможность использования сверхкритических водных флюидов для утилизации в получении жидких углеводородов при конверсии низкосортных топлив (бурого угля) [16]. Эти процессы базируются на уникальных свойствах воды при сверхкритических параметрах ($T > 374$ °С, $P > 22,1$ МПа) — низкой вязкости, низкой диэлектрической проницаемости и высокой плотности. При $T > 374$ °С вследствие разрушения сетки водородных связей вода при давлении выше критического сохраняет газоподобное состояние и становится универсальным растворителем органических веществ и газов.

Вопросами топливного и нетопливного использования углей, процессов обогащения, брикетирования, газификации, коксования углей и технологий по улучшению качества казахстанских углей занимаются многие предприятия и научно-исследовательские организации Республики Казахстан. Так, установлена возможность переработки углей Шубаркольского и Майкубенского месторождений в спецкокс для использования его в металлургической и фосфорной промышленности. В регионе уже действует мини-завод по его выпуску [17].

Будучи в течение 12 лет директором Химико-металлургического института академик Е.А.Букетов заложил основу исследования в области углехимии Казахстана [17]. Для своих исследований он выбрал высокозольный бурый уголь, нетронутые запасы которого в казахстанских недрах исчислялись несколькими десятками миллиардов тонн. Эти угли плохо сгорали в топках обычных котлов, их редко использовали в городских ТЭЦ. Как раз эти низкокалорийные угли, не востребованные производством, намеревались использовать для получения дешевого бензина путем их органического синтеза.

К лету 1983 г. в исследования внесли существенные коррективы. Суть их заключалась в том, что водород стали вдвухивать в горячие пробы угля, и поэтому все подготовительные операции, предусмотренные старой технологией, — то есть сушка угля, смешивание его с мазутом — вовсе отпали. Экономия? Конечно, многократная! Было уже известно, что жидкое топливо можно получать при 325 градусах. Это надо было доказать экспериментально, а потом уж разработать технологию, приближенную к производству. Самое главное — научились в большом количестве вырабатывать водород, причем экономически выгодным путем.

Исследования академика Е.А.Букетова нашли свое продолжение в Институте органического синтеза и углехимии РК (ИОСУ РК) по химической модификации угольных продуктов и получению жидких продуктов из угля. В 1983 г. в ИОСУ РК впервые в Казахстане была организована лаборатория химии угля, которая успешно претворяла в жизнь идеи получения моторного, котельного топлива из угля с участием тяжелых нефтяных остатков. Учеными института (проф. Б.Т.Ермагамбетов, М.И.Байкенов, М.Г.Мейрамов) разработаны оригинальные технологии каталитической гидрогенизации углей Центрального Казахстана и методы механохимической, кавитационной, высокочастотной активации компонентов угольного материала [18]. Впервые на основе Усть-Каменогорского титаномагниевого комбината разработаны новые катализаторы для использования в процессах получения котельного топлива из углей Шубаркольского разреза. Котельное топливо, получаемое в процессе каталитической гидрогенизации, по своим физико-химическим характеристикам приближается к мазуту М-40.

Новизна разрабатываемой в ИОСУ РК технологии каталитической гидрогенизации углей:

- применение нетрадиционных восстановителей взамен дорогостоящих катализаторов платиновой группы;
- использование отходов металлургических производств;
- получение наноструктурированных катализаторов на углеродном сорбенте;
- применение элементов кавитационной и микроволновой технологии;
- низкая себестоимость конечной продукции.

В процессе гидрогенизации тяжелого углеводородного сырья самая основная задача — это увеличение выхода жидких продуктов за счет передачи водорода в реакционную смесь. Такие соединения называются донорами водорода. В качестве донора водорода могут выступать различные растворители, фракции каменноугольной смолы, нефтепродукты, высоковязкая нефть и ее фракции. В этом плане перспективным оказалось использование в процессах гидрогенизации легкой фракции первичной каменноугольной смолы ТОО «Сары-Арка-Спецкокс» (к.к. 175 °С) в присутствии нанокатализаторов β -FeOOH, Fe_2O_3 и Fe_3O_4 в температурном интервале от 298 К до 1000 К. Удаление фенолов проведено экстракцией спиртовым раствором. Рассчитаны термодинамические функции, такие как теплоемкость процесса, энтропия, энтальпия и энергия Гиббса фракции первичной каменноугольной

смолы и обесфеноленной фракции первичной каменноугольной смолы. Термодинамические расчеты позволили установить оптимальную степень насыщенности водородом молекул доноров [19].

Другой группой ученых института (проф. З.Г.Акулова, А.К.Амерханова, А.Х.Жакина) на основе модифицированных углей разработаны новые эффективные катионнообменные и полиамфолитные сорбенты для очистки сточных вод и загрязненных почв от тяжелых металлов и для деминерализации шахтных вод. Широко изучены ионообменные и комплексообразующие свойства полученных продуктов модификации углей и гуминовых кислот [19–21]. К наиболее важным достижениям наших ученых в этой области можно отнести:

- гуминовые наноструктурированные композиционные полимерные материалы с участием наночастиц переходных металлов и углеродных нанотрубок (магнитные наносорбенты, нанодоброения, почвоулучшатели и др.);
- новые высокоэффективные ионитные реагенты из углей для очистки сточных вод гидрометаллургии, для деминерализации шахтных вод и детоксикации техногенно-загрязненных почв;
- флотореагенты для металлургической индустрии, ингибиторы коррозии металлов;
- полимерные составы для укрепления угольно-породного массива, брикетированные угольные материалы.

По признанию ведущих специалистов развитых стран нанотехнологии являются фундаментом научно-технического развития в XXI веке, одним из наиболее перспективных и востребованных направлений науки, технологий и промышленности. За последние 5–6 лет объемы государственного финансирования исследований и разработок в разных зарубежных странах увеличились примерно в пять раз. Промышленные круги мира постепенно убедились в том, что нанотехнология создает новые возможности для развития бизнеса и конкуренции. В соответствии с существующими прогнозами мировой объем производства в области нанотехнологий через 10–15 лет должен превысить 1 трлн долл., что приведет к созданию 2 млн новых рабочих мест.

Государственная поддержка в сфере наноауки и нанотехнологий в РК позволит создать полноценную инфраструктуру для проведения научно-исследовательских, а затем и опытно-конструкторских работ для того, чтобы существенно сократить путь от исследований до внедрения разработок в производство. Наличие такой инфраструктуры позволит повысить конкурентоспособность казахстанской науки и станет базой для регионального научно-технического и серьезного технологического развития.

Развитие углехимической промышленности, благодаря расширению производственной цепочки и широкому ассортименту продукции, может укрепить развитие базовой химической промышленности, промышленной тонкой химии, химии материалов в самом Казахстане, а также снизить степень зависимости от импорта, одновременно регулировать и оптимизировать промышленную структуру, уменьшить уровень удара от депрессии нефтяной экономики.

Список литературы

- 1 Концепция развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года. Разработана на основании Протокольного решения заседания Правительства Республики Казахстан от 7 сентября 2007 г. № 28. [ЭР]. Режим доступа: http://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000644_
- 2 Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Радиационно-плазменная технология переработки угля // Вестн. КазНУ. Сер. Химия. — 2012. — № 4(68). — С. 10–13.
- 3 Хорькова Н.Н. Синтетическое жидкое топливо на пороге 2000 года: Проблемы и их решения // Энергетика. Актуальные проблемы. — 1989. — № 2. — С. 64–70.
- 4 Кричко А.А., Малолетнев А.С., Хаджиев С.Н. Углубленная переработка угля и тяжелых нефтяных остатков // Рос. хим. журн. (ЖРХО им. Д.И.Менделеева). — 1994. — Т. 38, № 5. — С. 100–104.
- 5 Каирбеков Ж.К., Аубакиров Е.А., Емельянова В.С., Мылтыкбаева Ж.К. Производство жидких продуктов из угля по технологии нового поколения // Вестн. КазНУ. Сер. Химия. — 2012. — № 4(68). — С. 3–8.
- 6 Кричко А.А. Жидкое топливо из угля // Рос. хим. журн. (ЖРХО им. Д.И.Менделеева). — 1997. — Т. 8, № 6. — С. 16–22.
- 7 Малолетнев А.С., Шпирт М.Я. Современное состояние технологий получения жидкого топлива из углей // Рос. хим. журн. (ЖРХО им. Д.И.Менделеева). — 2008. — Т. LI, № 6. — С. 44–52.
- 8 Фундаментальные исследования и инновации по химической технологии угля в Китае (по материалам междунар. конф. «Наука об угле и технологии его переработки – 2007») // Кокс и химия. — 2008. — № 3. — С. 13–15.

- 9 Шувалов Ю.В., Тарасов Ю.Д., Никулин А.Н. Обоснование рациональных технологий получения топливно-энергетического сырья на основе твердых горючих углеродсодержащих отходов // Горный информационно-аналитический бюлл. — 2011. — № 8. — С. 243–247.
- 10 Шувалов Ю.В., Никулин А.Н. Ресурсосберегающие технологии получения тепловой энергии на основе переработки твердых горючих углеродсодержащих отходов // Записки горного института. — 2007. — Т. 170, Ч. 1. — С. 139–141.
- 11 Alekseenko S.V. Efficient production and use of energy: Novel energy rationing technologies in Russia. Chapter 3 // Sustainable Energy Technologies / Ed. K.Hanjalic, R.Van de Krol, A.Lekic. — Springer, 2008. — P. 51–74.
- 12 Алексеенко С.В., Бурдуков А.П., Чернова Г.В., Чурашев В.Н. Энергоэффективные и экологически чистые технологии при реконструкции и модернизации угольной теплоэнергетики // Изв. РАН. Энергетика. — 2003. — № 2. — С. 52–63.
- 13 Матузов С.В. Сжигание кавитационного водоугольного топлива в низкотемпературном кипящем слое // Горение твердого топлива: Материалы VIII Всерос. конф. с междунар. участием. Ин-т теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН, 13–16 ноября 2012. — С. 61.1–61.5.
- 14 Долинский А.А., Халатов А.А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе // Пром. теплотехника. — 2007. — Т. 29, № 5. — С. 70–79.
- 15 Ходаков Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. — 2007. — № 1. — С. 35–45.
- 16 Востриков А.А., Федяева О.Н., Псаров С.А., Дубов Д.Ю., Сокол М.Я. Превращение бурого угля под действием воды при сверхкритических параметрах // Химия твердого топлива. — 2007. — № 7. — С. 30–40.
- 17 Толымбеков М.Ж. Научные достижения учёных Химико-металлургического института имени Ж.Абишева // Наука и образование в Центральном Казахстане: Материалы междунар. науч.-практ. конф. — Караганда, 2013. — С. 16–21.
- 18 Фазылов С.Д. Институту органического синтеза и углехимии Республики Казахстан — 30 лет // Наука и образование в Центральном Казахстане: Материалы междунар. науч.-практ. конф. — Караганда, 2013. — С. 31–39.
- 19 Ахметкаримова Ж.С., Байкенов М.И., Ма Фэн Юнь. Гидрогенизация модельных объектов и фракции первичной каменноугольной смолы // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Химия. — 2013. — № 1(69). — С. 44–48.
- 20 Аккулова З.Г. Химические реакции гуминовых кислот и углей // Вестн. КазНУ. Сер. химия. — 2008. — № 2. — С. 77–86.
- 21 Патент № 24747 РК. Способ получения сорбентов для очистки растворов от тяжелых металлов / Аккулова З.Г., Амирханова А.К., Жакина А.Х., Утегенова А.С. // Опубл. 17.10.2011. Бюлл. № 10.

С.Д.Фазылов, М.А.Әбдіқалықов, О.А.Нұрқенов, М.Ғ.Мейрамов, А.Б.Татеева,
Ж.С.Ахметқарімова, Ж.Б.Сәтпаева, А.Е.Арынова, Н.Ж.Рахымжанова

Көмір өнімдерін кешенді пайдалану технологиялары көмір өндейтін кәсіп жұмыстарының экономикалық тиімділігін арттыру жолы ретінде

Мақалада Қазақстан көмірлерінің пайдалану тиімділігін жоғарлату мәселелері, мемлекеттің отынды-энергетикалық теңгерімі, мұнай сақтау бағытындағы проблемалар қарастырылған. Жақын және алыс шет ел өнеркәсіптердің сұйық өнімдерді көмірден алу технологиялары көрсетілген. Көмір өнеркәсібінің жұқа дисперсті шығындарын оңтайлы кәдеге жарату мәселелері, кең көлемді қатты отын шикізаттарды тиімді өнімдерге қайта өңдеу сұрақтары қарастырылған. Көмір өнімдерін кешенді пайдалану мәселелері мен келешегі айқындалып, оларды жаңа кәсіпке енгізу жолдары зерттелген.

S.D.Fazylov, M.A.Abdykalykov, O.A.Nurkenov, M.G.Meyramov, A.B.Tateyeva,
Zh.S.Akhmetkarimova, Zh.B.Satpaeva, A.E.Arinoва, N.Zh.Rakhimzhanova

Technology integrated use of coal products as a rational way to increase the economic efficiency of coal enterprises

The questions of efficiency of Kazakh coal, the problem of restructuring the energy balance of the country in the direction of saving oil is review in this article. Near and far abroad technology production of liquid products from coal is submitting. The problems of effective utilization of fine coal waste industry, processing of vast reserves of solid fuels into useful products. The presents the prospects and problems of complex use of coal products, the development and introduction of new advanced technologies to process them.

References

- 1 *The concept of development of the coal industry of the Republic of Kazakhstan for the period up to 2020.* Developed based on the protocol decision of the meeting of the Government of the Republic of Kazakhstan dated September, 7, 2007, No. 28, http://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000644_

- 2 Messerle V.E., Ustimenko A.B. *KazNU Bulletin. Chemical series*, 2012, 4(68), p. 10–13.
- 3 Khorkova N.N. *Energy. Actual problems*, 1989, 2, p. 64–70.
- 4 Krichko A.A., Maloletnev S.A., Hajiyeu S.N. *Russian Chemical Journal (J. Rus. Mendeleev's Chem. Society)*, 1994, 38, 5, p. 100–104.
- 5 Kairbekov Zh.K., Aubakirov Ye.A., Emel'yanova V.S., Myltykbaeva Zh.K. *KazNU Bull. Chemical series*, 2012, 4(68), p. 3–8.
- 6 Krichko A.A. *Russian Chemical Journal (J. Rus. Mendeleev's Chem. Society)*, 1997, 8, 6, p. 16–22.
- 7 Maloletnev A.S., Shpirt M.Ya. *Russian Chemical Journal (J. Rus. Mendeleev's Chem. Society)*, 2008, LII, 6, p. 44–52.
- 8 *Coke and Chemistry*, 2008, 3, p. 13–15.
- 9 Shuvalov Yu.V., Tarasov Yu.D., Nikulin A.N. *Mountain information-analytical bull.*, 2011, 8, p. 243–247.
- 10 Shuvalov Yu.V., Nikulin A.N. *Notes of Mining Institute*, St. Petersburg: SPGGI, 2007, 170, 1, p. 139–141.
- 11 Alekseenko S.V. *Sustainable Energy Technologies*, Ed. K.Hanjalic, R.Van de Krol, A.Lekic, Springer, 2008, p. 51–74.
- 12 Alekseenko S.V., Burdukov A.P., Chernova G.V., Churashev V.N. *Izvestiya RAN. Energy*, 2003, 2, p. 52–63.
- 13 Matuzov S.V. *The burning of solid fuels: Proc. of VIII All-Russian conf. with international participation*, Institute of Thermophysics S.S.Kutateladze SB RAS, November, 13–16, 2012, p. 61.1–61.5.
- 14 Dolinskiy A.A., Khalatov A.A. *Prom. Firing*, 2007, 29, 5, p. 70–79.
- 15 Hodakov G.S. *Thermal Engineering*, 2007, 1, p. 35–45.
- 16 Vostrikov A.A., Fedyaeva O.N., Psarov S.A., Dubov D.Yu., Sokol M.Ya. *Chemistry of solid fuel*, 2007, 7, p. 30–40.
- 17 Tolymbekov M.Zh. *Science and Education in Central Kazakhstan: Proc. of Int. Scient. Conf.*, Karaganda, 2013, p. 16–21.
- 18 Fazylov S.D. *Science and Education in Central Kazakhstan: Proc. of Int. Scient. Conf.*, Karaganda, 2013, p. 31–39.
- 19 Akhmetkarimova Zh.S., Baikenov M.I., Ma Fengyun. *Bull. of the Karaganda University. Ser. Chemistry*, 2013, 1(69), p. 44–48.
- 20 Akkulova Z.G. *KazNU Bull. Chemical series*, 2008, 2, p. 77–86.
- 21 Akkulova Z.G., Amirkhanova A.K., Zhacina A.Kh., Utegenova A.S. *Patent number 24747 RK. Method for producing sorbents for cleaning solutions from heavy metals*, Publ. 17.10.2011, Bull. No. 10.