

Глубокая переработка угля: введение в проблему выбора технологии

ИСЛАМОВ Сергей Романович

*Директор
Энерготехнологической компании
«Сибтермо», г. Красноярск*

СТЕПАНОВ Сергей Григорьевич

*Директор филиала
ЗАО «Карбоника-Ф», г. Красноярск
Доктор техн. наук*

В последние годы нам приходится регулярно встречаться с владельцами и руководителями угледобывающих предприятий, которые озабочены проблемой сбыта своего угля. И чаще всего в сложившейся ситуации их взоры обращаются к глубокой переработке как к своеобразной панацее, с помощью которой можно легко решить эту сложную задачу. В силу того, что тема переработки угля до самого последнего времени находилась за пределами профессиональных интересов угольщиков, их представления о реальной эффективности тех или иных технологических процессов, как правило, далеки от реальности. Обычно мнение о технологии формируется на основе обрывочных сведений, полученных из самых разнообразных источников, многие из которых требуют критической оценки. В связи с этим представляется полезным выполнить укрупненный анализ перспектив и экономической эффективности основных технологических направлений переработки угля в виде своеобразного введения для инвестора, перед которым стоит проблема выбора технологии.

Действительно, сегодня мощности по добыче угля в значительной мере опережают спрос традиционного угольного рынка, т.е. внутреннего рынка энергетического угля. Увеличения его емкости следует ожидать только в долгосрочной перспективе за счет введения новых угольных электростанций, а также при переходе крупных потребителей природного газа на уголь. А на ближайшую перспективу производителям угля остается только жесткая конкуренция между собой. При этом главным инструментом конкурентной борьбы является снижение цен, т.е., по существу, демпинг. Экспорт давно уже не приносит ощутимой прибыли, так как из-за географической удаленности большинства добывающих предприятий от потенциальных зарубежных потребителей львиную долю прибыли приходится отдавать железной дороге, портам и прочим партнерам по доставке угля. Таким образом, назрела острая необходимость в развитии переработки угля, которая может обеспечить качественное изменение потребительских свойств продукции и соответственно увеличить ее рыночную цену, а самое главное — позволит выйти за пределы рынка энергетического угля.

БРИКЕТИРОВАНИЕ УГЛЯ

Наибольшей популярностью среди угольщиков пользуется идея создания брикетного производства, по-видимому, в силу сравнительной простоты технологического процесса и кажущейся очевидности применения конечного продукта. Эта технология не относится к области глубокой переработки угля, тем не менее она входит в традиционный ассортимент технологий, рассматриваемых инвесторами при формировании программ развития угледобывающих предприятий. Реальная ситуация на рынке брикетной продукции далеко не простая. Что каса-

ется собственно технологии, то на сегодняшний день имеется ограниченное количество связующих веществ для получения брикетов, приемлемых для промышленного использования: нефтебитум, меласса, лигносульфонаты, гораздо реже жидкое стекло и совсем редко цемент. Ни один из этих материалов не обеспечивает универсально положительного решения с точки зрения потребительских свойств конечного продукта. Использование каждого из них может быть оправданным только в отдельных специфических случаях. Так, например, неорганические связующие типа жидкого стекла и цемента могут быть приемлемы при брикетировании коксовой мелочи и некоторых марок углей, а также в производстве металлбрикетов и брикетов с рудными концентратами для последующего использования в металлургических производствах, которые допускают введение в технологический процесс значительного количества минеральных материалов. При производстве брикетов бытового назначения однозначно следует исключить из списка связующих нефтебитум и каменноугольную смолу, сгорание которых сопровождается образованием бензопирена и других вредных веществ. Сегодня на такую продукцию, по существу, нет спроса, тем более за рубежом. В XXI в. нужен бездымный, экологически чистый брикет. В принципе, брикеты на органическом связующем можно подвергнуть специальной термообработке. Однако это дополнительная и достаточно затратная технологическая операция, а рыночная цена такого продукта не столь велика. По большому счету угольные брикеты как товарный продукт оказываются в одной рыночной нише с сортовым углем при значительно большей себестоимости. Поэтому неудивительно, что, несмотря на большую популярность идеи брикетирования, можно по пальцам пересчитать эффективно работающие брикетные фабрики. Как правило, все они имеют специфического потребителя своей продукции, и их опыт не может быть рекомендован для широкого круга заинтересованных предприятий. Технологии термобрикетирования, основанные на пластификации и последующем связывании угольной массы за счет собственной смолы при нагреве до умеренных температур, несмотря на устранение проблемы связующего, не дают качественного скачка в изменении потребительских свойств продукта, который был бы соизмерим с понесенными затратами на переработку. Конкурентом этих брикетов по-прежнему остается сортовой уголь, имеющий более низкую себестоимость.

За рубежом сейчас активно продвигается на рынок новая технология брикетирования широкой гаммы углей без использования связующих, разработанная под эгидой австралийской фирмы «White Energy». Процесс основан на использовании уникальных валковых прессов американской фирмы K. R. Komarek Inc., которые позволяют за счет специальным образом создаваемых сдвиговых деформаций формировать монолитный брикет из

высушенного и нагретого примерно до 100-120 °С угольного порошка. При этом добавленная стоимость составляет примерно 10-12 дол. США за 1 т конечного продукта. Капитальные затраты на предприятие мощностью около 1 млн т в год брикетов — порядка 30 млн дол. США. На наш взгляд, эта по сути революционная технология имеет большие перспективы и в России.

СИНТЕТИЧЕСКОЕ ЖИДКОЕ ТОПЛИВО

Рекордное количество обращений к специалистам по глубокой переработке угля связано с производством синтетического жидкого топлива (далее — СЖТ). Эта идея обладает поистине фантастической притягательностью для производственников, далеких от проблем химической технологии. Каждый из них однажды вдруг открывает для себя уникальную формулу «бензин из угля», которая почему-то очень часто затмевает здравый смысл. Хотя для начала достаточно было бы задаться простым вопросом: почему до сих пор никто в стране не реализовал такую очевидную и «прибыльную» технологию? Кстати, если уж говорить о производстве синтетического бензина, то наилучшим сырьем для него является природный газ, а степень готовности технологий для его переработки на порядок выше, чем для угля. Однако «Газпром», располагающий ни с чем не сравнимым инвестиционным потенциалом, не торопится строить заводы по производству бензина из газа. Это тоже серьезный аргумент для того, чтобы обратиться к более глубокому анализу проблемы. Встречными аргументами апологетов СЖТ являются пресловутые заводы SASOL в ЮАР, построенные в 1950-1980-е гг. в период действия эмбарго на поставку нефти в эту страну. Не оспаривая технических достижений в области глубокой переработки на этих предприятиях, все-таки следует отметить, что за последующие четверть века, несмотря на два мировых энергетических кризиса, ни в одной стране с нормально функционирующей экономикой не было построено ни одного коммерческого производства СЖТ из угля. Здесь не имеет смысла брать в расчет несколько американских крупных, тем не менее, пилотных предприятий, построенных в рамках государственных программ по обеспечению энергетической безопасности США. Точно так же слабым аргументом в пользу выбора этого направления для российских угледобывающих предприятий является программа по СЖТ, развиваемая в последние годы в Китае, на которую государство тратит десятки миллиардов долларов бюджетных средств. Масштаб рентабельного производства в этой области начинается с уровня примерно полумиллиона тонн жидких продуктов в год, т.е. порядка нескольких миллионов тонн в год по исходному углю. Потребность в инвестициях начинает свой отсчет от уровня порядка миллиарда долларов США при сроках окупаемости от 7-8 лет и выше. Совершенно очевидно, что такие проекты являются долгосрочным вложением капитала для игроков мирового уровня. Вряд ли к данной категории можно причислить российские угольные компании. В России у этого направления переработки угля есть еще одна проблема — в стране нет ни одной фирмы, способной спроектировать и построить под ключ промышленное предприятие по производству СЖТ из угля. Более того, фактически нет и технологий полного цикла, пригодных для немедленного промышленного внедрения (мы не берем здесь в расчет информацию из популярных СМИ и заявления отдельных энтузиастов). Что касается поставок заводов СЖТ под ключ от зарубежных фирм, то такое решение задачи, на наш взгляд, просто не адекватно инвестиционному потенциалу угольной компании среднего и даже крупного масштаба.

Для завершения обсуждения этой темы сделаем небольшой экскурс в область технологии производства СЖТ, чтобы потенциальный инвестор мог представить себе хотя бы в общих чертах, о каком уровне технологии идет речь. Во-первых, такое предприятие всегда будет иметь предельно высокий уровень взрыво- и пожароопасности.

Как известно, различают прямое и косвенное ожигание угля. В первом случае задача заключается во внедрении в химическую структуру угля атомов водорода с целью получения субстанции, отдаленно напоминающей нефть, из которой затем опять-таки с помощью водорода необходимо удалить кислородсодержащие соединения и серу (стадия гидроочистки). Перечислим только ключевые проблемы этой технологии. Прежде всего, в рамках завода требуется соорудить крупномасштабное производство водорода. В ряде технологий его заменяет какое-либо углеводородное соединение, которое играет роль донора водорода на стадии ожигания. Однако при этом остается потребность в водороде для стадий гидроочистки жидкого продукта. Производство водорода — достаточно сложная и недешевая задача. Основные технологические процессы осуществляются при давлениях, как минимум, порядка ста атмосфер. Непросто решается проблема отделения минеральной части угля от жидкой фазы с большой вязкостью. Тем более, если в процессе используется твердый катализатор, требующий регенерации.

В технологиях косвенного ожигания на первой стадии уголь превращается в так называемый синтез-газ ($\text{CO} + \text{H}_2$ — смесь оксида углерода и водорода). Для этой цели используется процесс газификации угля на кислородном дутье. Для справки: удельные затраты кислорода на 1 т сухеного угля составляют от 0,7 т для бурого до 0,8 т для каменного угля. Следовательно, для переработки нескольких миллионов тонн угля требуется соорудить кислородный завод почти соизмеримой мощности и обеспечить его соответствующим количеством электроэнергии для извлечения кислорода из воздуха. Второй значительной статьей затрат является многоступенчатая химическая очистка синтез-газа от вредных примесей и его компримирование с помощью взрывобезопасных водородных компрессоров, как минимум до 80-100 атмосфер.

После такого краткого описания технологических особенностей процессов ожигания напрашивается очевидный вопрос: способно ли какое-то из угледобывающих предприятий принять в свою структуру производство такого масштаба и профиля.

ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ

Из других направлений переработки угля очень часто обращают внимание на технологию газификации. Этот класс процессов может быть интересен энергетикам и другим потребителям газообразного топлива, например при обжиге и сушке руд, кирпича и нерудных материалов. Особенно эффективно использование генераторного газа взамен мазута или природного газа, а тем более, дизтоплива. Естественно имеются в виду только те процессы и виды топливоиспользующего оборудования, которые допускают такую замену. Достаточно широко распространено ошибочное мнение, что можно достигнуть какого-то экономического эффекта при переводе угольной котельной на газ из угля. Это возможно только при наличии жестких экологических ограничений на выбросы, допустим в курортной зоне. Во всех других случаях необходимо отдавать себе отчет о том, что такая замена является переходом от одноступенчатого сжигания угля к двухступенчатому. Безусловно, улучшаются теплотехнические и экологические показатели работы котла. Однако заметно возрастают суммарные капитальные и эксплуатационные затраты при снижении суммарного КПД, который равен произведению КПД блока газификации угля на КПД котла. Здесь не следует смешивать обсуждаемую ситуацию с технологией внутрицикловой газификации угля для крупномасштабного производства электроэнергии, в рамках которой достигается повышение КПД электростанции.

Важный момент заключается в том, что газ из угля должен производиться вблизи места потребления. Поэтому в отрыве от потенциального потребителя генераторного газа эта технология не представляет экономического интереса для угледобывающих компаний.

ДРУГИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В различных обзорах можно встретить данные об огромной емкости рынка угольных сорбентов, которые, как правило, получены из источников, не известных специалистам этой отрасли. В настоящее время в России активированный уголь имеет крайне ограниченный спрос на уровне нескольких десятков тысяч тонн в год. В первую очередь такое положение дел обусловлено слабостью природоохранных законов — для многих оказывается дешевле их обойти, чем исполнять. Идеалистические планы выхода на международный рынок с угольным сорбентом пока никому не удалось осуществить. В этом направлении авторы также имеют многолетний отрицательный опыт.

Продукция в виде гуминовых удобрений из угля пока что не находит платежеспособного потребителя.

Не имеет смысла обсуждать и такое специфическое направление, как извлечение ценных элементов из минеральной части угля в силу крайней ограниченности его масштабов.

ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДОГО ОБЛАГОРОЖЕННОГО ТОПЛИВА

Это направление переработки угля, по нашему мнению, имеет наибольшую экономическую привлекательность на ближайшую и среднесрочную перспективу. Речь идет о производстве термически облагороженных твердых топлив и углеродистых восстановителей для уже существующего емкого и активно развивающегося рынка металлургического сырья и технологического топлива. Уровень цен за 1 т у. т. в металлургии в несколько раз выше, чем в энергетике, а объем потребления исчисляется десятками миллионов тонн и с каждым годом возрастает.

Объем этого сегмента рынка формируется за счет необходимости замещения:

- ✓ дорогостоящего кокса полукоксом из недорогих и дефицитных марок угля, потенциальный объем потребления СНГ — более 5 млн т в год;
- ✓ природного газа в доменном производстве пылеугольным топливом (ПУТ), потенциальный объем потребления СНГ — более 15 млн т в год.

Значительный потенциал расширения рынка сосредоточен в цементных, глинозёмных производствах и других крупных потребителях технологического топлива, которые также нуждаются в замещении природного газа или дорогостоящего высококачественного привозного угля высококалорийным полукоксом из местных низкосортных углей. Потенциальный объем потребления этого сегмента рынка в СНГ — более 30 млн т в год.

Подавляющее большинство промышленно освоенных технологий термической переработки угля (а также многие из предлагаемых к внедрению), в том числе традиционное коксование, основаны на применении аллотермических аппаратов, в которых нагрев угля осуществляется через стенку или за счет контакта с вводимым извне теплоносителем. Для этого используются дымовые газы, твердый зернистый теплоноситель (как правило, это — уже карбонизированный уголь) или оба вида теплоносителя.

У аллотермических технологий три принципиальных недостатка, которыми обусловлена высокая стоимость конечного продукта:

- ✓ низкая энергоэффективность, неизбежная при внешнем теплоподводе;
- ✓ токсичность и сложность переработки и утилизации побочных продуктов — смол, подсмольных вод и фусов;
- ✓ экологическая опасность производства.

Последний фактор обусловлен поступлением в окружающую среду отработанного теплоносителя и сточных вод, а вместе с ними — оксида углерода, канцерогенов, фенолов, пыли и пр. Токсичность и мутагенная активность продуктов переработки угля в сотни раз превосходят токсичность нефтепродуктов. Например, для приведения коксовой батареи в соответствие при-

родоохранными нормами требуется сооружение очистных систем, соизмеримых по стоимости с коксовой батареей. Так, при разработке проекта реконструкции Ангарского коксогазового завода, выпускавшего более 2 млн т среднетемпературного кокса в год, выяснилось, что затраты на сооружение систем газо- и водоочистки превысят стоимость самих печей. По этой причине в начале 1990-х гг. завод был остановлен и позже демонтирован. По аналогичным причинам было сокращено производство кокса и полукокса в США и Европе, в частности в Германии и ряде других стран производство полукокса прекращено полностью.

На сегодняшний день на первый план выходят автотермические способы переработки угля, в которых существенно выше интенсивность подвода тепла к углю, а «огневое обезвреживание» летучих продуктов пиролиза осуществляется непосредственно в процессе переработки угля внутри основного технологического аппарата.

Именно к этому классу технологий относятся процессы серии «Термокок», разработанные компанией «Сибтермо»¹. Кроме них единственной промышленной технологией термической переработки угля, использующей автотермический принцип нагрева, является коксование угля в кольцевой подовой печи. Этот процесс разработан в 1960-1970-е гг. в США компанией Salem Corporation и реализован в промышленном масштабе в 1980-е гг. в Германии (Rheinbraun AG) и Канаде (Luskar Ltd). В технологической схеме отсутствуют жидкие продукты пиролиза, определяющие экологическую опасность производства. Тепло, необходимое для термообработки угля, генерируется за счет сжигания летучих веществ. Единственный побочный продукт — дымовые газы, сбрасываемые в котел-утилизатор для генерации пара, направляемого на сушку исходного угля.

В 1990-е гг. кольцевая подовая печь была применена в США для низкотемпературного пиролиза угля с целью его термооблагораживания (установка ENCOAL, штат Вайоминг) с одновременным получением жидких продуктов.

К недостаткам технологии Salem следует отнести многостадийность, так как она включает в себя сушку, коксование и охлаждение твердого продукта в отдельных аппаратах, а также сложность аппаратного оформления. Вращающаяся высокотемпературная кольцевая печь большого диаметра (23 м — в печах Rheinbraun AG и Luskar Ltd, 46 м — в установке ENCOAL) сложна в изготовлении и ненадежна в эксплуатации. Обслуживание печи, включающее периодический ремонт приводов и замену опорных роликов, достаточно трудоемко и дорого, что послужило причиной того, что коксование в кольцевой подовой печи не получило широкого распространения. В настоящее время в Германии эксплуатируются только две печи (корпорация RWE) с общим объемом производства около 210 тыс. т в год бурого кокса. Достаточно дорогая продукция (стоимость 1 т такого кокса в зависимости от марки составляет от 200 до 450 евро) используется в основном в природоохранных технологиях в качестве сорбента для очистки сточных вод и дымовых газов. Однако объем производства не увеличивается.

В США в 1999 г. после шестилетней опытно-промышленной эксплуатации по причине экономической неэффективности была законсервирована установка ENCOAL. Полукокс с достаточно высоким выходом летучих (> 20%) оказался малоприменимым для металлургического использования и слишком дорогим для энергетики. В 1990-х гг. было предложено использовать эту технологию, известную в России как «мягкий пиролиз», в Кузбассе. Более того, она была включена (за неимением лучшего на тот момент) в Энергетическую стратегию России. Однако эта идея не получила дальнейшего развития.

Институтом ВУХИН в 1980-е гг. разработана технология коксования в котельном агрегате с движущейся цепной колосниковой решеткой. В 2003 г. опытно-промышленная установка по этой тех-

¹ Исламов С. Р. О новой концепции использования угля // Уголь. — 2007. — № 5. — С. 67-69

нологии сооружена на заводе ферросплавов в г. Аксу (Казахстан). В ходе трехлетней эксплуатации не удалось получить сколько-нибудь качественного продукта. Кроме неоднородного качества продукции, технология имеет ограничение по мощности единичного агрегата. В частности, в Евразийской промышленной ассоциации возлагали большие надежды на эту технологию, но неудача с ее реализацией заставила искать другие варианты и остановить выбор на устаревшей технологии полукоксования в шахтных печах.

Вернемся к технологии «Термококкс». Опытно-промышленные установки серии «Термококкс» действуют в Красноярске (ЗАО «Карбоника-Ф», 30 тыс. т угля в год, неполная газификация угля в плотном слое с получением горючего газа и активированного бурогоугольного кокса, действует с 2001 г.) и на промплощадке разреза «Березовский-1» (Красноярский край, неполная газификация угля в кипящем слое с получением бурогоугольного кокса и тепловой энергии при дожигании горючего газа в надслоевом пространстве, примерно 3,5 т/ч кокса и 20 Гкал/ч тепловой энергии).

Сопоставление характеристик кокса, произведенного по технологии «Термококкс», с аналогичной продукцией других известных нам предприятий позволяет сделать вывод, что продукция «Термококкс» по своему качеству не уступает, а по ряду определяющих параметров (калорийности (до 7000 ккал/кг), остаточному выходу летучих веществ (2-10 % для разных углей и режимных параметров), содержанию фиксированного углерода, реакционной способности) превосходит продукцию, полученную по другим технологиям. Поэтому она может быть успешно использована в качестве углеродного восстановителя, высококалорийного экологически чистого технологического и энергетического топлива, в качестве сырья для формованного кокса, металлобрикетов и ряда других ценных продуктов.

У такого продукта высокий экспортный потенциал. В 1990-е гг. после объединения Германии по экологическим причинам были закрыты заводы коксования бурого угля в Восточной Германии. ГДР была в Европе основным поставщиком углеродных восстановителей. Ныне металлургические предприятия Германии, Швеции, Норвегии и Англии испытывают острый дефицит в

углеродных материалах с высокой реакционной способностью. Данный сегмент рынка нами изучен мало, но потребность, например, только Норвегии в углеродных восстановителях — более 300 тыс. т в год. Большие объемы среднетемпературного кокса готовы покупать Китай и Южная Корея.

Для угольных компаний привлекательна возможность выхода на металлургию, цементную промышленность и других крупных потребителей топливно-энергетических ресурсов с продукцией более высокого качества и стоимости, чем рядовой исходный уголь. Речь идет о переработке прежде всего бурых (марок от 1Б до 3Б) и длиннопламенных (марки Д) углей.

Запасы таких углей огромны, но сбыт сегодня ограничен только энергетическим использованием с небольшим (несколько сотен километров) эффективным транспортным «плечом». Но самое главное в том, что предложение таких углей на рынке значительно превышает спрос.

Технологии «Термококкс» позволяют создать эффективный энерготехнологический комплекс (далее — ЭТК) для переработки низкосортных углей в высококачественный среднетемпературный кокс (полукокс) многоцелевого назначения и продукцию энергетического назначения. Затраты на генерацию электрической и (или) тепловой энергии при этом покрываются высокой ценой на основную коксовую продукцию, а дополнительных инвестиций в природоохранные мероприятия, которые необходимы при традиционных способах переработки и сжигания угля, не требуется.

Мультипликативный эффект реализации проекта создания ЭТК выражается в приросте масштабов добычи угля и в развитии смежных отраслей, что влечет за собой приросты занятости населения и валовых региональных продуктов.

Поскольку в процессах серии «Термококкс» из дешевых энергетических углей производится два высокорентабельных продукта, у производителя появляются широкие возможности по управлению отпускными ценами. В частности, экономические показатели позволяют устанавливать тарифы на отпускаемую энергию существенно ниже, чем при традиционном сжигании угля, мазута или природного газа.