

---

**СВОБОДНАЯ ТРИБУНА**

---

УДК 662.33.749

**Состояние и перспективы процессов глубокой переработки углей**

Ю. Ф. ПАТРАКОВ

*Институт угля и углехимии Сибирского отделения РАН,  
ул. Рукавишниковая, 21, Кемерово 650610 (Россия)**E-mail: chem@kemnet.ru*

(Поступила 31.05.05)

**Аннотация**

Рассмотрены тенденции развития современных углехимических технологий топливного и нетопливного использования углей. На примере Кузбасса предложены некоторые направления глубокой переработки углей и углеотходов, практическое осуществление которых возможно уже в настоящее время во многих угледобывающих регионах России.

**ВВЕДЕНИЕ**

В современном мировом топливно-энергетическом комплексе уголь используется в основном в качестве универсального энергоносителя и сырья для производства металлургического кокса и химических продуктов коксования. Промышленная переработка угля для получения жидких продуктов топливного и химического назначения осуществляется в весьма ограниченном масштабе. Однако в связи с постоянно меняющейся конъюнктурой мировых цен на нефть и продукты нефтепереработки, истощением ее запасов проблема получения жидких углеводородов из угля приобретает актуальное значение. Исследования в области химической технологии ожижения углей получили особенно широкое развитие в 70–80-е гг. прошлого столетия после резкого увеличения цен на нефть на мировом рынке. В настоящее время во многих странах (Китай, Япония и др.), не располагающих крупными месторождениями нефти и природного газа, в целях обеспечения энер-

гетической независимости также интенсивно разрабатываются и испытываются в полупромышленных масштабах новые технологии получения из углей синтетических моторных топлив и сырья для органического синтеза [1].

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕЙ**

Мировое потребление угля составляет в настоящее время примерно 3.6 млрд т условного топлива, из которых 3 млрд т идет на производство электроэнергии, а 0.6 млрд т – на производство кокса. В течение первых десятилетий XXI века в зависимости от темпов роста мировой экономики прогнозируется повышение потребления ископаемых углей примерно на 1 млрд т [2, 3]. Возрастающий интерес к углю как главному ископаемому энергоисточнику обусловлен его огромными мировыми запасами, которых хватит с учетом перспективной потребности на последующие несколько сотен лет. Поэтому при ограниченных запасах нефти и газа, по-види-

тому, вполне вероятно переориентирование мировой энергетики преимущественно на уголь. Так, уже сегодня около 40 % мировой электроэнергии и 70 % стали производятся с использованием угля.

В последние годы за рубежом существенное внимание уделяется повышению качества угольной продукции, что обусловлено как ужесточением требований по защите окружающей среды при технологическом использовании углей, так и стремлением повысить эффективность процессов углепереработки и сжигания [1]. При переходе от сжигания в слоевых топках к технологиям глубокой комплексной переработки угля будет решена проблема экологической безопасности и экономической эффективности угольной энергетики. Технология использования углей для производства электроэнергии значительно усовершенствована за счет комбинирования с газификацией, использования псевдоожиженного слоя при атмосферном и повышенном давлении, сжигания угля в шлаковом расплаве, пылеугольных топках или в виде водоугольных суспензий. При этом минимизируются потери топлива от механического и химического недожогов, существенно снижаются выбросы в атмосферу оксидов азота и серы [4].

#### **ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ**

Помимо производства электроэнергии, газификацию можно использовать для получения химических продуктов. В настоящее время известно одно промышленное производство (г. Сасолбург, ЮАР) жидких продуктов с применением метода Фишера – Тропша из синтез-газа, получаемого газификацией угля. Известно о планируемых к реализации примерно 60 разработках по газификации угля, из которых, однако, не более 10 предназначены для химического производства.

Для получения энергетического топлива и технологического газа в СССР работало свыше 350 газогенераторных станций, на которых было установлено порядка 2500 газогенераторов [5]. С использованием различных видов топлива на этих станциях вырабатывалось 35 млрд м<sup>3</sup> в год энергетического и технологического газа. В последние годы вслед-

ствие интенсификации добычи нефти и природного газа работы по газификации углей практически прекращены.

Газификация в кипящем слое [6] рассматривается как эффективный способ защиты окружающей среды при энергетическом использовании углей и может служить основой для организации производств синтетических моторных топлив, спиртов и другого сырья для органической химии. Однако промышленных технологий комплексной переработки углей в России нет.

В качестве отдельного направления процесса газификации можно рассматривать подземную газификацию и подземное сжигание углей. В 1950-е гг. в СССР этот процесс получил распространение в промышленных масштабах, в стране функционировало несколько установок. Однако из-за низкой рентабельности и причин экологического характера их использование практически прекратилось. В настоящее время технология подземной газификации в промышленных масштабах осуществляется только в Узбекистане (Ангренская станция) и рассматривается как перспективная для условий Кузбасса [7]. Согласно прогнозам, возможно создание рентабельного производства экологически чистого газообразного энергоносителя, используемого для получения горячей воды, пара и электрической энергии непосредственно на месте его производства.

#### **ОЖИЖЕНИЕ УГЛЕЙ**

Процессы прямого гидрогенизационного ожижения углей в настоящее время не используются в промышленном масштабе по ряду причин, связанных со сложностью технологии и трудностями дальнейшей переработки жидких продуктов. Однако в различных странах работало более 80 опытных установок ожижения угля для получения синтетического жидкого топлива. Разработанная в Институте горючих ископаемых (Москва) технология прямой гидрогенизации угля при относительно низком давлении водорода также обеспечивает получение широкого спектра жидких топлив: автобензинов, дизельного топлива, авиакеросинов, топлива для судовых двигателей, печного и котельного топлив [8].

Следует отметить, что процессы гидрогенизации угля, реализуемые во всех известных технологиях, все еще недостаточно совершенны, и получаемые в опытно-промышленных установках искусственные жидкие топлива неконкурентоспособны с нефтепродуктами [9]. Современный уровень разработок технологии химической переработки углей с учетом сырьевой базы и научно-технического потенциала позволяет думать, что промышленное производство синтетического жидкого топлива из углей может быть осуществлено в течение последующих 15–25 лет.

Одним из перспективных путей перевода углей в “жидкое состояние” следует считать приготовление угольных нанодисперсий в смеси со спиртами, тяжелыми остатками нефтепереработки, другими органическими отходами и водой. Наиболее проработаны технологии подготовки и транспорта водоугольных топлив [10].

#### **КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

Коксохимическая промышленность производит не только кокс, коксовый газ, но и широкий спектр ценных химических продуктов. Технология слоевого коксования угля в печах камерного типа с улавливанием попутных химических продуктов достигла практически предельного уровня технического совершенства, и возможности дальнейшего развития этой технологии, по существу, исчерпаны.

В настоящее время наметился переход от оптимизации традиционного процесса слоевого коксования угля в многокамерной системе периодического действия к разработке процессов нового поколения, отвечающих таким требованиям высоких технологий будущего, как непрерывность, полная автоматизация, экологическая безопасность, ресурсо- и энергоэкономичность [11]. Обычная технология переработки коксового газа на коксохимических предприятиях нерентабельна, особенно с учетом ужесточения экологических требований. В Германии, например, разрабатываются новая технология обработки и использования сырого коксового газа, а также структура коксового завода будущего. По этой технологии коксовый газ будет подвергаться крекингу с

получением восстановительного газа, содержащего более 60 % водорода и более 30 % оксида углерода (II). Основные продукты коксового завода, металлургический кокс и восстановительный газ, будут использоваться в качестве источника энергии или восстановительного агента в процессах прямого получения железа.

В США в последние годы стали возрождаться технологии коксования угля в печах без улавливания химических продуктов. С целью повышения эффективности они скомбинированы с установками для утилизации тепла отходящих газов процесса коксования [12].

Коксохимическое производство металлургического комплекса России осуществляют четыре коксохимических завода и восемь металлургических комбинатов. При переработке сырого бензола и смолы на отечественных коксохимических предприятиях в качестве чистых веществ выделяют однокольчатые ароматические углеводороды и нафталин. Расширение ассортимента продукции с выделением индивидуальных соединений и повышение ее качества позволит значительно повысить рентабельность производства, сделать его более гибким и конкурентоспособным. Однако на большинстве предприятий условия в действующих цехах улавливания химических продуктов коксования не соответствуют требованиям экологической и промышленной безопасности; переработка сырого бензола осуществляется в цехах ректификации, использующих технически и морально устаревшую технологию серноокислотной очистки, которая может быть заменена высокоэффективными каталитическими процессами гидроочистки и гидродеалкилирования [13]. В целом современное состояние коксохимического производства характеризуется низким объемом инноваций, внедрение ведется только там, где не требуется значительных инвестиций. Стратегия развития коксохимической промышленности Российской Федерации как одно из направлений включает реализацию новых схем улавливания и обработки коксового газа, ликвидацию производства недефицитных продуктов, а также выполнение специальной технико-экономической проработки для создания

коксовых производств без химического крыла с получением топочных газов и электроэнергии [14].

#### **КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕЙ И УГЛЕОТХОДОВ КУЗБАССА**

Кузнецкий бассейн характеризуется разнообразием и уникальностью марочного состава углей, развитой энергетической и транспортной инфраструктурой, наличием углеперерабатывающей (обогащение, полукоксование, коксование, подземная газификация) и развитой химической промышленности, а также сохранившихся еще квалифицированных кадров углехимиков. Учитывая эти факторы, он мог бы стать своеобразным полигоном для отработки и внедрения большинства известных и разрабатываемых процессов комплексной переработки углей в высококалорийные и экологичные твердое, жидкое и газообразное топлива, широкий спектр ценных химических продуктов нетопливного назначения, строительных материалов.

Кузнецкий угольный бассейн, в котором добывается около 70 % коксующихся углей России, должен и в перспективе сохранить позиции основного их поставщика, а для этого необходимо строить новые угольные предприятия, расширять производственные мощности по сортировке, обогащению и подготовке готовых угольных шихт для коксования. Для повышения экономического потенциала области и эффективности использования данных углей, по-видимому, целесообразно увеличить выпуск конечного товарного продукта – металлургического кокса, одновременно развивать коксохимию и производство всего ассортимента дефицитной, традиционно коксохимической продукции (бензол, фенол, нафталин, полиароматические соединения, азотистые основания, углеграфитовые материалы и др.).

Относительно низкое качество (влажность, зольность, гранулометрический состав) рядовых энергетических углей обуславливает целый ряд экономических, транспортных и экологических проблем, снижает возможность их экспорта. Для чего, в первую очередь, необходимо развивать технологии пер-

вичной переработки углей (обогащения, сортировки по классам крупности, утилизации высокозольных отходов углеобогащения). Последнее предполагает также возможность организации высокотехнологичных, наукоемких производств по извлечению редких и редкоземельных элементов из углей и углеотходов [15].

Приобретает актуальность и задача повышения энергетического потенциала низкосортных углей – создание производства высококалорийного твердого топлива (термоуголь, термобрикеты, полукокс) с обязательной комплексной переработкой смол пиролиза и получением дефицитных химических продуктов, компонентов моторного и котельного топлив, органического связующего для углеликетных производств и дорожного строительства, электродных материалов.

Крупномасштабное производство жидких углеводородов, альтернативных нефтяным, в ближайшем будущем, по-видимому, останется еще неконкурентоспособным. Однако возможно расширение объемов коксохимической продукции, дефицит которой уже ощущается (чистый бензол, нафталин, антрацен, сырье для производства лекарственных субстанций, каменноугольный пек и др.).

Помимо запасов ценных марок углей, Кузбасс располагает месторождениями некондиционных твердых горючих ископаемых (торф, бурый и сапромикситовый угли, горючие сланцы, окисленные каменные угли), которые могли бы в перспективе найти квалифицированное применение. Так, на примере некоторых отечественных разработок можно предложить примерную схему комплексной переработки ряда низкосортных углей и углеотходов Кузбасса [16]. Торф и бурые угли северо-восточных месторождений области, не имея существенного энергетического значения, могут при относительно простой предварительной термической [17], химической модификациях [18] или высокоинтенсивной механохимической обработке [19] служить сырьем для рентабельного производства ценных экстрагируемых продуктов (горный воск, торфо- и буроугольные смолы, гуминовые препараты), а твердые остатки экстракции – для производства дешевых адсорбентов и органоминеральных удобрений.

Сапромикситовый уголь и горючий сланец, будучи уникальными по химическому составу органического вещества, могут быть переработаны путем щелочного гидролиза, термического растворения и пиролиза в ценные химические продукты: алифатические карбоновые кислоты [20], флотореагенты [21], компоненты моторного и котельного топлив, органическое связующее [22]. Твердые углеродсодержащие остатки термического растворения и пиролиза вместе с отсевами энергетических углей могут быть газифицированы с образованием энергетического газа или синтез-газа для последующего синтеза на основе оксида углерода ценных химических продуктов и получения водорода для использования при гидрогенизационных процессах и в качестве перспективного экологичного топлива для автомобильного транспорта и энергетики [23].

Рассмотренные на примере Кузбасса варианты направлений комплексного использования твердых горючих ископаемых различной природы, в принципе, осуществимы и в других угледобывающих регионах России с учетом особенностей их инфраструктуры и марочного состава углей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ближайшей перспективе углю отводится роль только энергетического сырья, и все вновь разрабатываемые процессы переработки углей ориентируются в основном на производство различных видов топлива. Однако с исчерпанием основных мировых запасов нефти и газа уголь будет приобретать значение основного источника органического сырья для химической промышленности. Следовательно, нетопливные пути использования ископаемых углей нуждаются в существенной разработке, технико-экономической оценке и широкой практической реализации. Это потребует основательного пересмотра возможностей комплексного использования природного потенциала углей России, как с позиций фундаментальной науки об угле [24], так и с позиций наиболее

оптимальных путей промышленной переработки углей для каждого угледобывающего региона страны. В настоящее время существуют все технологические и экономические предпосылки для повышения качества добываемых в России углей, вовлечения в добычу и глубокую переработку низкосортных и некондиционных твердых топлив и утилизации твердых отходов угледобычи и углепереработки, что позволит получать дополнительно ценную углехимическую продукцию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Д. А. Цикарев, *Кокс и химия*, 9 (2004) 42.
- 2 В. П. Гребенщиков, С. М. Гусев, *Уголь*, 12 (2001) 64.
- 3 С. Г. Гагарин, *Кокс и химия*, 7 (2001) 32.
- 4 С. Г. Гагарин, Там же, 5 (1999) 40.
- 5 А. А. Кричко, В. В. Лебедев, И. Л. Фарберов, Нетопливное использование углей, Недра, Москва, 1978.
- 6 Ю. П. Корчевой, А. Ю. Майстренко, А. Н. Дудник и др., *Промышленная теплотехника*, 4 (1998) 33.
- 7 С. Н. Лазаренко, Е. В. Крейнин, Подземная газификация углей в Кузбассе: настоящее и будущее, Наука, Новосибирск, 1994.
- 8 А. С. Малолетнев, А. А. Кричко, А. А. Гаркуша, Получение синтетических жидких топлив гидрогенизацией углей, Недра, Москва, 1992.
- 9 И. П. Крапчин, Е. Ю. Потапенко, *ХТТ*, 5 (2004) 59.
- 10 Г. С. Ходаков, *Изв. РАН. Энергетика*, 2 (2000) 104.
- 11 В. И. Рудыка, В. П. Малина, Е. Т. Ковалев и др., *Кокс и химия*, 11–12 (2000) 17.
- 12 Г. С. Ухмылова, Там же, 8 (1999) 39.
- 13 В. В. Заманов, А. А. Кричко, А. А. Озеренко и др., *ХТТ*, 3 (2005) 67.
- 14 М. Ю. Посохов, В. И. Сухоруков, Л. Я. Рытников, *Кокс и химия*, 3 (2001) 10.
- 15 Б. Н. Нифантов, В. П. Потапов, Н. В. Митина, Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки, изд. Ин-та угля и углехимии СО РАН, Кемерово, 2003.
- 16 Ю. Ф. Патраков, Н. И. Федорова, *Уголь*, 2 (2000) 60.
- 17 В. А. Михеев, Г. И. Петрова, М. И. Бычев, Трансформация бурых углей в гуминовые вещества при тепловом воздействии, Якутск, 2002.
- 18 С. И. Жеребцов, В. И. Лозбин, М. Ф. Полубенцева, *ХТТ*, 2 (2003) 8.
- 19 О. И. Ломовский, А. А. Иванов, О. А. Рожанская и др., *Химия в интересах устойчивого развития*, 12 (2004) 355.
- 20 Ю. В. Рокосов, Там же, 4 (1996) 525.
- 21 Н. В. Бодоев, С. В. Денисов, А. А. Байченко, *ХТТ*, 1 (1989) 76.
- 22 Н. Н. Уланов, Там же, 5 (1992) 17.
- 23 А. Л. Дмитриев, *Int. Sci. J. Alternative Energy Ecology*, 1 (2004) 14.
- 24 А. М. Гюльмалиев, Г. С. Головин, Т. Г. Гладун, Теоретические основы химии угля, Изд-во Московского горного ун-та, Москва, 2003.