

# РАЗДЕЛ V. ТЕХНОЛОГИИ. ХИМИЯ И ФИЗИКА МАТЕРИАЛОВ [TECHNOLOGY. CHEMISTRY AND PHYSICS OF MATERIALS]

УДК 662.7

DOI 10.24411/2658-4441-2020-10018

М.П. КУЛИКОВА

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

## СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОКСОВАНИЯ УГЛЕЙ

В статье рассмотрены технологии коксования угля, применяемые в России и за рубежом. Спрос на кокс и коксующийся уголь в мире в долгосрочной перспективе будет сохраняться, так как доменное производство продолжает оставаться основным процессом массового производства чугуна и стали в мире. На основе анализа обзора зарубежных и отечественных технологий коксования углей выделены современные технологии «Geo-Coal» (Индонезия), LiMax<sup>TM</sup>, печи SJ (КНР), ТЕРМОКОКС-С (РФ). При выборе технологии коксования преимуществом будут пользоваться современные технологии термической переработки углей, позволяющие регулировать физико-химические характеристики получаемого высококалорийного кокса и характеризующиеся низкими капитальными затратами и экологической безопасностью производства.

*Ключевые слова:* уголь, коксование, коксохимическое производство, экологическая безопасность.

Табл. 1. Библ. 14 назв. С. 70–76.

M.P. KULIKOVA

*Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

### THE STATE OF TECHNOLOGY FOR COAL PYROLYSIS

The article discusses the methods of pyrolysis of coal used in Russia and abroad. Demand for coke and coking coal in the world will remain in the long term, as blast furnace production continues to be the main process of mass production of pig iron and steel in the world. Based on an analysis of the review of foreign and domestic coal coking technologies, the modern technologies Geo-Coal (Indonesia), LiMax<sup>TM</sup>, SJ furnaces (China), and TERMOKS-S (Russia) are highlighted. When choosing a coking technology, the advantage will be the use of modern technologies for the thermal processing of coal, which allow regulating the physicochemical characteristics of the obtained high-calorie coke and are characterized by low capital costs and environmental safety of production.

*Keywords:* coal, pyrolysis, coke production, environmental safety.

Table 1. References 14. P. 70–76.

**ВВЕДЕНИЕ.** Уголь применяется в электрогенерации, металлургии, химической, строительной и газовой промышленности. Формирование рационального топливно-энергетического баланса РФ на период до 2030 г. будет осуществляться путём увеличения потребления угля на 8–9%, развития «чистых» угольных технологий и

производства газообразных и жидких продуктов глубокой переработки угля (Энергетическая..., 2010). В настоящее время из технологий глубокой переработки углей в промышленном масштабе реализована технология коксования. Развитие глубокой переработки углей должно базироваться на получении ценных продуктов за счёт технологии коксования углей.

Сегодня ~ 10 % каменного угля подвергается коксованию. Коксование — процесс термохимической переработки углей путём без доступа воздуха с получением кокса и побочных продуктов, востребованных в энергетической, химической и металлургической индустрии. В зависимости от конечной температуры коксования различают три группы процессов: низкотемпературное (500–700°C), среднетемпературное (700–900°C) и высокотемпературное коксование (свыше 900°C).. Кокс — стратегически важный продукт, его производят на коксохимических заводах в объёме 27 млн т в год, такое количество кокса требуется металлургической промышленности, так как около 75 % стали выплавляется с использованием металлургического кокса. Уголь, как сырьё для коксования, должен обладать комплексом свойств, обеспечивающих производство кокса требуемого качества. Качество коксующихся углей определяется их спекаемостью и коксуемостью, а также содержанием минеральных примесей, серы и фосфора. Для производства качественного кокса зольность угольной шихты должна составлять 8–10 %, выход летучих — 26–30 %, толщина пластического слоя (у) — не менее 15–17 мм, содержание серы — не больше 0,5–1 %. В шихте для коксования может использоваться 13 марок углей (ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, СС, ТС) (Комплексная..., 2007). В настоящее время коксохимические предприятия испытывают дефицит особенно ценных углей марок (КЖ, К, Ж, ГЖ, КО, ОС) для коксования из-за особенностей сырьевой базы и закрытия ряда шахт, добывающих ценные марки углей. На коксохимических предприятиях недостаток хорошо спекающихся углей компенсируют подшихтовкой менее дефицитных марок углей, для повышения качества кокса применяют эффективные технологии, позволяющие использовать для коксования слабоспекающиеся угли. На стадиях их переработки используют различные технологии: термическая подготовка шихты, избирательное дробление углей, повышение скорости коксования, уплотнение коксовых шихт, производство формованного кокса и др. (Комплексная..., 2007). Однако, на коксохимическом производстве состав угольной шихты стараются изменять только в особых случаях, так как это влияет на технологический режим процесса коксования.

**1. Крупные коксохимические предприятия.** Коксохимическое производство — основное направление нетопливного использования каменных углей при их термической переработке в металлургический кокс для получения чугуна и стали в доменном процессе. В металлургии к коксу предъявляются высокие требования по механической прочности и по тепловым характеристикам кокса. Основными критериями качества кокса является горючесть и реакционная способность. Горючесть характеризует скорость воспламенения и горения кокса, реакционная способность указывает на скорость восстановления им двуокиси углерода. Кокс производится из коксующихся углей в батареях коксохимического производства — группе коксовых печей, работающих в едином технологическом режиме, объединённых общими фундаментами, устройствами для подвода отопительных газов и воздуха, отвода продуктов сгорания и коксования. В РФ несколько крупных коксохимических предприятий, входящих в состав различных холдингов: Череповецкий металлургический комбинат, «Алтай-Кокс», ПАО «Кокс», ОАО «Губахинский кокс», «Мечел-кокс», АО «Москокс», Новолипецкий металлургический комбинат, ОАО «Уральская сталь», «Евраз Кокс-Сибирь», НПО «УралМеталИнвест» и др.

Череповецкий металлургический комбинат (ПАО «Северсталь»), производящий до 15 % кокса и 20 % стали в России — один из ведущих металлургических предприятий РФ. Череповецкий металлургический комбинат включает четыре вида производств: коксоаглодоменное, сталеплавильное, производство сортового проката, производство плоского проката. Кокс производится на восьми коксовых батареях.

ОАО «Алтай-Кокс» (Алтайский край) — одно из крупнейших коксохимических предприятий России, производящий 13 % всего кокса в России. Производственная мощность «Алтай-Кокс» составляет 4,4 млн т кокса в год. Производство включает все технологические процессы: от переработки угольного концентрата до производства кокса и химической продукции. На предприятии 5 коксовых батарей, современная коксовая батарея № 5 не имеет аналогов в России и странах СНГ, при проектировании батареи были реализованы принципиально новые технические решения, использующие передовой российский и зарубежный опыт.

ПАО «Кокс» (Кемерово) — крупный производитель и экспортёр металлургического кокса с производственной мощностью 3 млн т кокса в год.

ОАО «Губахинский кокс» (Пермский край) — высокотехнологичный комплекс с полным коксохимическим циклом (2 коксовые батареи), производственная мощность завода — 1,3 млн т кокса в год. Продукция ОАО «Губахинский кокс»: кокс металлургический и химические продукты коксования.

«Мечел-кокс» (Челябинск) вырабатывает металлургический кокс, коксохимическую продукцию на восьми коксовых батареях.

АО «Москокс» (Московская область) с 2006 входит в компанию «Мечел», производственная мощность составляет 1,1 млн т кокса в год (4 коксовые батареи).

Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК) — металлургическая компания с активами в России, ЕС и США. На НЛМК производится 40–45 % необходимого для компании кокса, остальная часть поступает с ОАО «Алтай-Кокс», данные производства работают в рамках единого технологического пространства.

ОАО «Уральская сталь» (Оренбургская область) – металлургическое предприятие, которое имеет коксохимическое и агломерационное производство.

«Евраз Кокс-Сибирь» (Новокузнецк) — крупное коксохимическое предприятие производит высококачественный кокс для нужд Западно-Сибирского металлургического комбината. Производственная мощность составляет 5235,8 тыс. т кокса в год. Побочная продукция: промпродукт, нафталин, бензол, толуол и ещё более 20 наименований.

НПО «УралМеталИнвест» (Челябинск) в своём составе имеет коксохимическое производство.

Действующий парк коксовых батарей на коксохимических предприятиях имеет высокий физический износ (свыше 60 %) и требует обновления. При эксплуатации старых коксовых батарей из-за их износа снижается производственная мощность, повышаются эксплуатационные затраты, увеличивается количество вредных выбросов в окружающую среду. Программами технического перевооружения и развития металлургических комбинатов предусматривается перекладка ряда коксовых батарей, остановка или вывод наиболее изношенных агрегатов из производства. Обновление действующих коксовых батарей проводится на Новолипецком, Череповецком, Челябинском заводах и др.

**2. ТЕХНОЛОГИИ КОКСОВАНИЯ УГЛЕЙ.** В мировой коксохимии накоплен большой опыт, реализуются результаты многолетних разработок по технологии производства кокса. (Сысков, Мощенко 1973; Химические..., 1980; Грязнов, 1983; Хоффман, 1983; Кузнецов, 1996; Школлер, 2001; Страхов и др., 2007; Комплексная..., 2007; The LiMax<sup>TM</sup>Coal: Электрон. ресурс; The First Industrial Scale: Электрон. ресурс и др.). В РФ проводятся исследования и разрабатываются перспективные технологии коксования с целью вовлечения в топливно-энергетический баланс страны низкосортных углей, известно множество вариантов перспективных технологий переработки молодых углей в высококалорийное твёрдое топливо. (Степанов, 2003; Комплексная..., 2007; Страхов, 2008; Исламов, 2009 и др.). Способы подвода тепла к перерабатываемому сырью разнообразные, используется внутренний и внешний подвод тепловой энергии, например, вертикальные и наклонные металлические камеры (реторты) с внутренним и внешним обогревом, туннельные и камерные печи. Из-за невысокой производительности некоторые установки для коксования углей не используются на

практике. В *таблице 1* представлен обзор российских и зарубежных разработок в области технологий полукоксования.

Таблица 1. Обзор технологий коксования углей

Страна	Производительность	Технологии. Установки.
Зарубежные разработки		
США	300 тыс. т угля в год	Технология «ENCOAL» (опытно-промышленная апробация)
Германия, США		Коксование в печах Лурги с внутренним автотермическим обогревом для полукоксования кускового фракционированного угля Недостаток: невозможность использования мелкой фракции и углей с низкой термической прочностью
КНР (провинция Шаньси)	100 тыс. т полукокса в год (2 печи)	Коксование угля в печах типа SJ Недостатки: низкая экологическая безопасность производства, переработка только каменных углей
КНР	1 млн т в год	Технология «LiMax™» Полностью удаляется влага из низкосортного угля и получают сушёный уголь с развитой пористой структурой Низкие капитальные и эксплуатационные затраты
КНР	1,33 млн т кокса в год	Технология «Shanxi Sinochem Wonder Industries Company LTD» Для коксования уголь в пресс-форме трамбуется до размеров 1265×3300×1050 мм, плотность его составляет 1,1 г/см <sup>3</sup>
Индонезия		Технология «GEO-COAL» Из низкосортных углей удаляют влагу, летучие вещества и получают карбонизат с повышенными гидрофобными характеристиками Недостаток: низкая структурная прочность продукта
США		Технология коксования угля в кольцевой подовой печи «Salem Corporation»
Германия	~ 210 тыс. т кокса в год (2 печи)	Энергетическая корпорация «RWE»
Казахстан		Опытно-промышленная установка по технологии коксования (ВУХИН) в котельном агрегате с движущейся цепной колосниковой решёткой
Япония, Австралия		Установка по получению формованного кокса из термически подготовленных углей
Российские технологии полукоксования		
		Технология Энергетического института (ЭНИИ), близка к технологии «Lurgi-Ruhrgas». Бурый уголь нагревался газовым теплоносителем на 1 стадии, далее полукоксование под воздействием твёрдого теплоносителя
Казахстан	опытно-промышленная установка для получения углеродистых материалов из углей Шубаркольского разреза (2003)	Полукоксование на цепных колосниковых решётках (разработка МХТИ им. Менделеева, ВУХИН) Пиролиз в окислительном режиме за счёт сгорания над слоем угля выделяющихся летучих веществ. В промышленном масштабе технология не применяется, исключение — производство полукокса на котельных Кузбасса и Алтайского края
		Полукоксование в туннельных печах Печь — обжигательный канал прямой, кольцевой или П-образной формы со стабильными тепловыми зонами
		Полукоксование в печах вертикального типа с электрообогревом. (разработка МГИ). Опытно-промышленные испытания
		Технологии серии ТЕРМОКОКС В зависимости от параметров процесса основной продукт: полукокс или горючий газ. ( Сырьё — мелкозернистое угольное сырьё).

На основе анализа обзора зарубежных и отечественных технологий коксования углей можно выделить современные технологии «Geo-Coal» (Индонезия), LiMax™, печи SJ (КНР), ТЕРМОКОКС-С (РФ). Данные технологии коксования углей — эффективные, но обладают и недостатками, препятствующими их широкому распространению для термической переработки углей с высоким содержанием летучих веществ.

В Китае производится наибольшее количество кокса в мире. Для производства кокса используют технологии коксования без улавливания химических продуктов, что является существенным недостатком технологий из-за низкой экологической безопасности производств по термической переработке углей. Завод полукоксования углей (провинция Шаньси) успешно применяет вертикальные печи типа SJ с внутренним обогревом. В результате термической переработки каменных углей производят полукокс достаточно высокого качества, который используется при производствах ферросилиция, ферромарганца и карбида кальция, а также при производстве фосфора. К преимуществам переработки углей в вертикальных печах типа SJ относятся: компактность установки; высокая производительность; простота в обслуживании и лёгкость управления процессом; высокое качество полукоксованного углеродистого восстановителя (Страхов и др., 2007).

Технология коксования угля «LiMax™» также китайская, разработчик — корпорация «ГО БАН», один из лидеров индустрии Китая по переработке низкосортных углей в высококалорийное топливо. Корпорация «ГО БАН» запустила углеперерабатывающий завод во Внутренней Монголии мощностью 1 млн т в год, с расширением производства до 4 млн т в год. В процессе термической переработки по технологии «LiMax™» удаётся полностью удалить влагу из низкосортного угля и получать сушёный уголь с развитой пористой структурой. Летучие вещества, выделяющиеся во время пиролиза, испаряются и используются в качестве топлива для выработки тепла и электроэнергии. Данная технология характеризуется низкими капитальными и эксплуатационными затратами, себестоимость переработки составляет от 5 до 10 долларов за тонну продукта (при мощности завода в 1 млн т. угля в год). Стоимость завода мощностью 1 млн т. угля в год составляет примерно 25–30 млн долларов. (The LiMax™ Coal: Электрон. ресурс). К недостаткам относятся ограничения по классу крупности и маркам угля, низкая экологическая безопасность производства.

Технология «GEO-COAL» разработана в Индонезии. Суть технологии заключается в следующем: в процессе термической переработки из низкосортных углей удаляется влага и большая часть летучих веществ, в результате получают высококалорийный карбонизат. Технология характеризуется низкими капитальными и эксплуатационными затратами, высокими тепловыми характеристиками получаемых видов топлив. К недостаткам технологии относится низкая структурная прочность продукта, что будет препятствовать широкому применению данной технологии.

Концепция, объединяющая процессы серии ТЕРМОКОКС, является одной из перспективных для переработки бурых углей в буроугольный полукокс. В зависимости от выбора процесса для переработки угля и рабочих параметров основным продуктом термообработки угольного сырья может являться полукокс (термококс) или горючий газ. Карбонизации бурых и длиннопламенных углей для производства термически облагороженных твёрдых топлив и углеродистых восстановителей для рынка металлургического сырья и специализированного технологического топлива, бездымного топлива является актуальным направлением переработки на ближайшую и среднесрочную перспективу (Исламов, 2010). Уровень цен за 1 т. условного топлива в металлургии в несколько раз выше, чем в энергетике, а объём потребления исчисляется десятками миллионов тонн и с каждым годом возрастает.

Процесс пиролиза представляет собой совокупность множества параллельных и последовательных необратимых реакций, усложнённых пространственными затруднениями: теплопередачей, диффузией парогазовых веществ, массопереносом при

формировании надмолекулярных образований и твёрдой фазы и др. Исследователи используют различные подходы к изучению влияния определённого набора параметров на процесс карбонизации угля, а соответственно и на свойства получаемого продукта. К основным критериям эффективности технологий коксования относятся: низкие удельные капитальные затраты, простота обслуживания, операционные затраты и минимальное воздействие на окружающую среду в процессе переработки углей. Различные факторы влияют на решение о выборе технологии коксования, напр., размер участка и доступность энергетических ресурсов, модульность металлургических предприятий, потребителей энергии, проблемы защиты окружающей среды, стоимость оборудования и, естественно, срок окупаемости.

На основе анализа обзора зарубежных и отечественных технологий коксования углей высокотемпературной карбонизацией в кокс, полукокс и другие ценные продукты углехимии сформулированы следующие выводы:

1. Несмотря на то что, использование угля негативно воздействует на объекты окружающей среды во многих странах, особенно развивающихся, уголь рассматривается в качестве удобного и доступного ресурса, который обеспечивает энергетическую безопасность и поддерживает экономический рост. Спрос на кокс и коксующийся уголь в мире в долгосрочной перспективе будет сохраняться, так как доменное производство продолжает оставаться основным процессом массового производства чугуна и стали в мире.
2. Следует выделить современные технологии коксования: «Geo-Coal» (Индонезия), LiMax<sup>TM</sup>, технологии, использующие печи SJ (КНР), ТЕРМОКОКС-С (РФ). Технологии коксования углей, разработанные китайскими корпорациями — эффективные, существенным недостатком их является низкая экологическая безопасность производств по термической переработке углей, что препятствует их широкому распространению для термической переработки углей с высоким содержанием летучих веществ.
3. При выборе технологии коксования преимуществом будут пользоваться современные технологии термической переработки углей, позволяющие регулировать физико-химические характеристики получаемого высококалорийного кокса и характеризующиеся низкими капитальными затратами и экологической безопасностью производства

## ЛИТЕРАТУРА

- Грязнов Н.С. Пиролиз углей в процессе коксования. – М.: Металлургия, 1983. – 184 с.
- Исламов С.Р. Энерготехнологическая переработка углей: Монография. – Красноярск: Поликор, 2010. – 224 с.
- Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования / Сост.: Головин Г.С., Малолетнев А.С. – М.: НТК «Трек», 2007. – 292 с.
- Кузнецов Б.Н. Новые подходы в химической переработке ископаемых углей // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – № 4. – С. 50–57.
- Степанов С.Г. Разработка автотермических технологий переработки угля: Дис. докт. техн. наук: 05.04.14. – Красноярск, 2003. – 389 с.
- Страхов В.М., Суrowцева И.В., Дьяченко А.В., Меньшенин В.М. Технология производства и качество полукокса из вертикальных печей типа SJ Китая // Кокс и химия. – 2007. – № 5. – С. 17–24.
- Страхов В.М. Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса для электротермических производств // Кокс и химия. – 2008. – № 9. – С. 44–49.
- Сысков К.И., Моценков О.Н. Термоокислительное коксование углей. – М.: Металлургия, 1973. – 176 с.
- Химические вещества из угля / Под ред. И.В. Калечица; пер. с нем. – М.: Химия, 1980. – 616 с.
- Хоффман Е. Энерготехнологическое использование угля. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 328 с.
- Школлер М.Б. Полукоксование каменных и бурых углей. – Новокузнецк: Инженерная академия России, Кузбасский филиал, 2001. – 232 с.

- Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Энергетическая политика: Прил. к обществ.-дел. журн. – М.: ГУ Институт энергетической стратегии, 2010. – 184 с.*
- The First Industrial Scale, Commercially Operating Coal Upgrading Plant in the World [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://gbce.com/en/projects\\_yield.php](http://gbce.com/en/projects_yield.php), свободный.*
- The LiMax<sup>TM</sup> Coal Process Technology (—LCP||) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://gbce.com/en/technology\\_process.php](http://gbce.com/en/technology_process.php), свободный.*

УДК 546.19

DOI 10.24411/2658-4441-2020-10019

М.О. МОЛДУРУШКУ

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

## ПРОБЛЕМЫ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

В статье приведены способы консервации мышьяксодержащих отходов. Устойчивой формой для хранения является железистая шпейза. Рассмотрены области применения мышьяка.

*Ключевые слова:* мышьяк, консервация отходов, железистая шпейза, деревообработка, биоцид.

Библ. 11 назв. С. 76–78.

M.O. MOLDURUSHKU

*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

### THE ARSENIC-CONTAINING PRODUCTION WASTE ISSUE

The article presents the methods of arsenic-containing waste conservation. It was found that the stable form of storage is a ferrous speiss. Scopes of arsenic application are considered.

*Keywords:* arsenic, waste conservation, ferrous speiss, woodworking, biocide.

References 11. P. 76–78.

При переработке мышьяксодержащих руд мышьяк выводится в отвалы, поскольку что потребность в нём в промышленности ничтожно мала и составляет всего лишь 2,5% от добываемого сырья. Мышьяковые отходы, накопленные в огромных количествах в хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов, представляют серьёзную угрозу для окружающей среды. Поэтому одним из важных направлений решения проблемы мышьяка является консервация мышьяксодержащих отходов, обеспечивающая их изоляцию от окружающей среды.

Для стабилизации отходов используются различные противофильтрационные экраны, обеспечивающие гидроизоляцию хранилищ: глиняные уплотнения, плёночные и вяжущие материалы (битумные составы, бетон, и др.), от ветровой эрозии — различные травянистые покрытия (Копылов, Каминский, 2004). Наиболее приемлемыми материалами для оболочек отвалов являются бетонные, грунтово-глиняные покрытия. Новосибирским оловокомбинатом было сооружено хранилище из монолитного железобетона для хранения мышьяксодержащих отходов, которое соответствует всем требованиям безопасности. Однако его высокая стоимость вынудила искать более дешёвые способы консервации отходов. Опытным цехом Усть-Каменогорского металлургического комплекса «Казцинк» (Казахстан) была проведена работа по введению арсенатных отходов в твердеющие закладочные смеси на ос-