



# БЕЛОЕ ТЕПЛО ЧЕРНОГО УГЛЯ

*Всем нам хочется, чтобы в морозный зимний день по одну сторону нашего окна было тепло, а по другую – чисто. Что для этого нужно? Качественная во всех отношениях теплоэнергетика, эффективно генерирующая чистое тепло и не оставляющая после себя бесполезных и даже вредных отходов. Все это слабо ассоциируется с традиционными угольными котельными, до сих пор работающими в наших поселках и городах. Тем не менее природный уголь – это именно тот горячий материал, с глубокой переработкой которого связывает свои надежды малая энергетика не столь далекого будущего. Сибирские ученые вносят свой вклад в его приближение, предлагая оригинальную технологию комплексной переработки углей в чистый энергетический газ и обогащенный для последующей утилизации зольный остаток*

**Ключевые слова:** управляемая газификация, глубокая переработка, комплексное использование энергетического и химического потенциала, малая энергетика.  
**Key words:** controlled gasification, advanced processing, integrated use of energy and chemical potential, small-scale power generation

**С**оздание высокоэффективных, экологически чистых и малоотходных производств по переработке твердых топлив является в настоящее время приоритетной задачей мировой энергетической стратегии.

Сегодня в энергетике и химическом производстве доминируют нефть и природный газ, что приводит к стремительному росту их рыночных цен при быстром истощении мировых запасов этого сырья. Такая ситуация заставляет вспомнить о другом широко доступном и относительно дешевом горючем ископаемом – природном угле, который можно использовать в качестве достойной альтернативы нефти и природному газу. По экспертным оценкам, мировых запасов нефти и газа при сегодняшнем уровне потребления хватит только на 30–50 лет, тогда как угля – на 500 лет и более (Г.И. Грицко, 2006). По прогнозам, геологические запасы угля составляют порядка 90–97% общих ресурсов горючих ископаемых планеты.

После нескольких десятилетий относительного забвения уголь постепенно начинает возвращать себе ведущие позиции в мировой энергетике и химической промышленности (помимо тепловой и электрической энергии из него можно получать до 500 видов простых и сложных органических и минеральных веществ).

В настоящее время одной из актуальных задач научного сообщества является создание высокопродук-

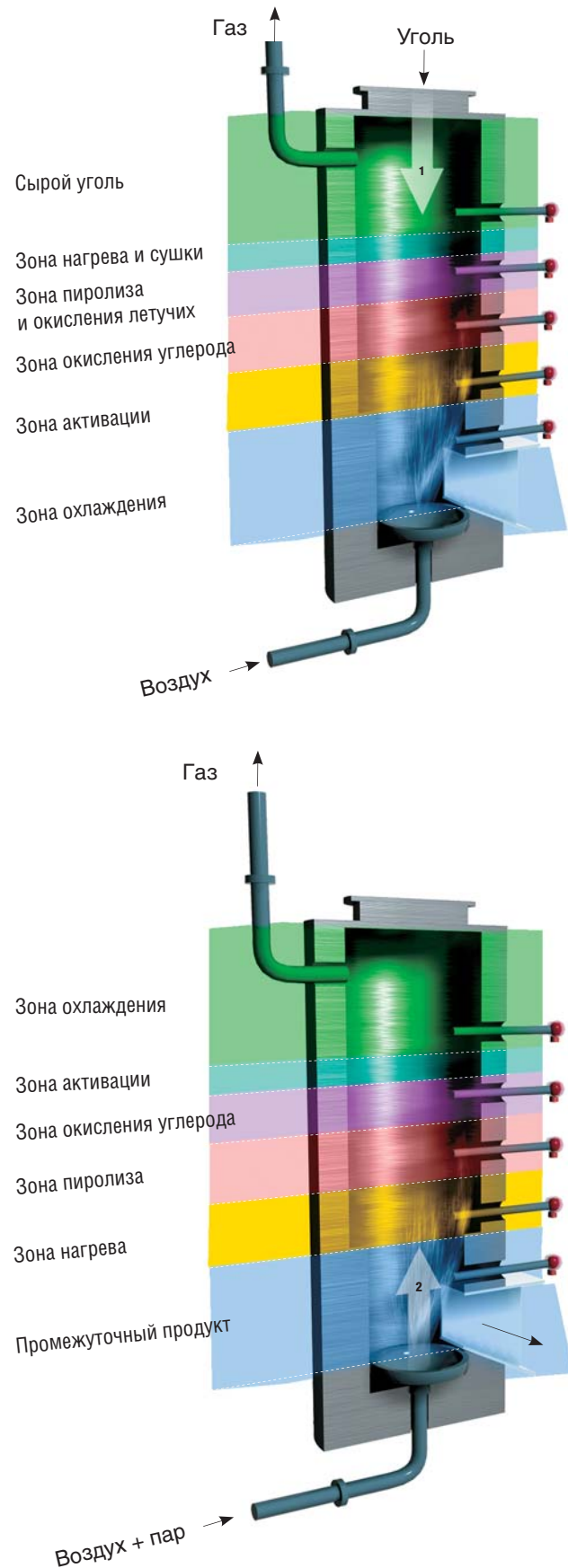
тивных углеперерабатывающих технологий с полным, комплексным использованием всего энергетического и химического потенциала ископаемых углей.

Всем современным требованиям в полной мере отвечает наиболее перспективный термохимический способ углепереработки – газификация углей.



*Всем нам хочется, чтобы в морозный зимний день по одну сторону нашего окна было тепло, а по другую – чисто.*





### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ

Угли газифицируются посредством управляемого термохимического процесса в режиме тепловой волны. Полный перевод органической массы углей в газообразные продукты (со степенью газификации не менее 97%) осуществляется в две стадии.

На первой стадии процесса в газовую фазу переводятся летучие вещества, образуемые из насыщенных низкомолекулярных органических соединений. Газификация проводится на воздушном дутье различной интенсивности в режиме обратной тепловой волны (воздух подается в реактор снизу и проходит через угольный слой навстречу волне). Розжиг угля осуществляется сверху.

Максимальная температура процесса удерживается в пределах 750—850 °С, что исключает образование вредных газообразных оксидов азота и серы, происходящее при более высоких температурах.

Полная газификация углей с попутным обогащением минерального остатка проводится на второй стадии процесса. Теперь в газовую фазу переводятся высокомолекулярные органические компоненты, образующие «жесткий каркас» из конденсированных ароматических ядер. Процесс осуществляется на паровоздушном дутье различной интенсивности в режиме прямой тепловой волны (фронт горения перемещается снизу вверх вместе с потоком воздушно-паровой смеси).

Максимальная температура в реакторе не превышает 800—900 °С. При таком режиме добавление пара в дутье препятствует шлакообразованию и спеканию минерального зольного остатка, снижает улетучивание легкоплавких полезных минеральных включений

### Газ уголь точит

Способность природных углей при термическом разложении выделять горючий газ известна человечеству с XVII века. Первая технология угольной газификации появилась в XIX веке в Европе и применялась для получения горючего газа, используемого в основном в газовых фонарях для ночного освещения городских улиц.

Во второй половине XIX века У. Рамзаем в Англии и Д. И. Менделеевым в России была выдвинута и обоснована идея подземной газификации углей. В 50—60-х гг. прошлого века в Советском Союзе еще действовало около полутора десятков станций, созданных на основе этой идеи.

Схема устройства слоевого газификатора периодического действия для стадийной газификации угля: 1 – обратная тепловая волна при воздушном дутье (1-я стадия), 2 – прямая тепловая волна при паровоздушном дутье (2-я стадия)

### АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Для отработки режимов и демонстрации возможностей предложенной технологии глубокой переработки углей создан экспериментально-демонстрационный стендовый комплекс.

Основу экспериментальной части комплекса составляет слоевой газификатор периодического действия на базе реактора вертикального типа с верхней загрузкой угля. В нижнюю часть реактора производится регулируемая подача газифицирующего агента. Температурные режимы процесса газификации контролируются зонными термодатчиками в комплекте с многоканальным терморегулятором-регистратором. Состав получаемого в процессе переработки энергетического газа и образующихся при его сжигании выбросов отслеживается зондовым газоанализатором.

На демонстрационной части стенда представлен водогрейный газовый котел-утилизатор для сжигания получаемого горючего газа, образующий вместе с радиаторами контур автономной системы водяного отопления.

Отработка технологии проводилась на кузбасских каменных углях с высоким металлосодержанием (минеральная часть в основном представлена глиноземом, кремнеземом, сульфидами, карбонатами, сульфатами, фосфатами, солями и оксидами различных металлов).

С 20-х годов XX века начались работы по газификации углей для производства синтетических химических веществ и жидких топлив.

В связи с освоением гигантских месторождений более технологичных природных углеводородов – нефти и газа, дальнейшие исследования и практическое использование газификации углей в 60-е годы были приостановлены. Потребовалось не так много времени, чтобы понять, что темпы мирового потребления нефти и газа вкупе с их природными запасами не сулят человечеству долгих и радужных перспектив их безоглядного использования. Уже в 90-е годы во всем мире возобновился интерес и начался стремительный рост числа исследований и практического применения различных способов газификации твердых топлив.

К настоящему времени в мире разработано более 70 процессов газификации углеродсодержащих материалов (от биомассы до антрацитов). Наиболее активно этими вопросами занимаются в ЮАР, США, Германии, Китае, Индии и Австралии. В разных странах сейчас работают сотни газификационных производств. К 2015 году ожидается мировой прирост мощностей промышленной газификации углей на 70%.

Газификация углей позволяет получать широкий спектр газообразных, жидких и твердых продуктов. Так, используя при продувке воздух, кислород, водяной пар, водород, углекислый газ или их смеси, можно получать синтез-газ для химической промышленности, восстановительный газ для металлургии, заменитель природного газа, энергетический газ различной калорийности, а также чистый водород, азот, аргон, водяной пар и многое другое.

### Сжечь по полной программе

Современной промышленностью созданы и совершенствуются три основные технологические схемы газификации углей и углесодержащих материалов, в соответствии с которыми процесс переработки происходит в плотном стационарном слое (слоевая газификация), в кипящем слое (включая циркулирующий и вихревой) или в псевдооживленном слое.



Отсев каменного угля марки «Д» крупностью 3—20 мм для исходной загрузки в газификатор (вверху); твердый коксовый остаток после 1-й стадии газификации (промежуточный продукт – в центре); обогащенный зольный остаток после 2-й стадии газификации (внизу)





В основу разработанной в Институте горного дела СО РАН технологии глубокой углерепереработки положена полная стадийная газификация органической части углей в плотном стационарном слое, проведенная в едином технологическом цикле с целенаправленным обогащением негорючей минеральной части для ее последующей утилизации. Свыше 1% минеральной угольной массы составляют черные, цветные, редкие, редкоземельные, благородные, радиоактивные и другие металлы (по оценкам специалистов стоимость содержащихся в углях металлов, используемых в промышленности, в 100–150 раз превышает стоимость самих углей).

Вся органическая угольная масса, состоящая в основном из соединений углерода, водорода, кислорода, азота и серы (до 98% этой массы составляют горючие компоненты – углерод и водород), переводится в энергетический газ. На первой стадии переработки в газовую фазу переходит до 35–40% всей органической массы угля. Анализ полученного летучего продукта показывает, что это низкокалорийный и экологически чистый энергетический газ, при сжигании которого

помимо тепловой энергии образуется молекулярный азот и углекислый газ.

Полученный твердый коксовый остаток подвергается дальнейшей газификации с одновременным обогащением. Образующаяся в итоге негорючая минеральная составляющая угля представляет собой гранулированную зольную фракцию (без участков спекания и шлакообразования), пригодную для последующего извлечения из нее ценных металлов и других полезных веществ.

Важным достоинством такой переработки является возможность использования любого углеродсодержащего сырья – это может быть биомасса, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы, битумы, «тяжелые» мазуты и маслоотработки, низкосортные спекающиеся угли и отходы угледобычи и обогащения.

*Описанная технология разработана и апробирована в рамках программы Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 94.*

*Редакция благодарит сотрудника ИГД СО РАН И.Н. Хорсова за помощь в работе над статьей*

Предложенная технология глубокой переработки углей исключает вынос в атмосферу летучей золы за счет использования рыхлого угольного слоя в качестве зернистого фильтра, а также практически исключает выбросы вредных оксидов азота и серы. Помимо экологических преимуществ, использование в теплоэнергетике полученного из угля энергетического газа более чем в 1,5–2 раза эффективнее прямого сжигания угля в котельной, поэтому данная технология удобна и выгодна для применения в малой теплоэнергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Газогенераторы с угольной загрузкой от 30–50 кг до 1–3 т могут отапливать небольшие поселки и производства, санатории и базы отдыха, гаражные кооперативы. Предварительные теплотехнические расчеты показывают, что одна установка по газификации угля с объемом загрузки в 1 т способна качественно отапливать 200-квартирный жилой дом в течение 12 ч.

*Литература*  
Шиллинг Г.-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. М: Недра, 1986.

*Равич Б.М., Окладников В.П., Лыгач В.Н.и др. Комплексное использование сырья и отходов. М: Химия, 1988.*

*Русьянова Н.Д. Химия угля. М: Химия, 2003.*

*Грицко Г.И. Комплексные проблемы перспективного развития угольной промышленности. //6-я Всеросс. конф. Горение твердого топлива. Новосибирск, 2006. Т. 1.*

*Исламов С.Р. Глубокая переработка угля: введение в проблему выбора технологии. // Уголь, 2007. № 10.*

*Степанов С.Г. Газификация угля: возврат в прошлое или шаг в будущее? // Новости теплоснабжения, 2007. № 1.*

*Д.т.н., проф. А.Н. Анушенков, вед. инж. В.И. Сапронов (Институт горного дела СО РАН, Новосибирск)*