

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБОНИЗАЦИИ БУРОГО УГЛЯ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ**

**Д.А. Логинов, С.Р. Исламов**

*Энерготехнологическая компания «Сибтермо» г. Красноярск  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

На ближайшую перспективу поставлена задача увеличения доли угля в энергетическом балансе страны за счет снижения потребления природного газа. Она закреплена правительственными документами о долгосрочной энергетической стратегии. Традиционные методы энергетического и технологического использования угля по существу достигли своего предела экономической и экологической эффективности. В связи с этим значительный интерес представляет разработка новых способов энерготехнологического комбинирования нескольких процессов в одном аппарате, которые обеспечивают качественное повышение энергоэффективности использования угля, а также предельно высокий уровень экологической безопасности. К этому классу относится технологический процесс ТЕРМОКОКС-КС, который заключается в частичной газификации (карбонизации) бурого угля в кипящем слое.

Переработка угля осуществляется в модернизированном котельном агрегате с топкой кипящего слоя, в который подается примерно удвоенное количество топлива. В интервале температур 700-800°С в условиях дефицита окислителя уголь перерабатывается газовое топливо и высокорекреакционный коксовый остаток. Газовое топливо и пылевой унос дожигаются в надслоевом пространстве топочного объема за счет вторичного дутья. При этом обеспечиваются паспортные энергетические характеристики котла. Среднетемпературный кокс выводится из кипящего слоя в коксоохладитель и далее по модернизированной линии золошлакоудаления направляется в накопитель. В таком исполнении котельный агрегат переводится в режим сжигания пылегазовой смеси с полным исключением шлака и радикальным снижением объема золы (только за счет циклонной очистки дымовых газов). Дополнительный продукт – мелкозернистый бурого угольный кокс имеет большие перспективы в качестве высококалорийного технологического топлива: вдувание в горн доменной печи, обжиг цементного клинкера, спекание глинозема и т.п. В брикетированном виде он может использоваться как высокорекреакционный заменитель отдельных марок классического кокса, в частности в электротермических процессах металлургии. По принятой классификации продукт, полученный в результате карбонизации угля в диапазоне 750-800°С, относится к среднетемпературному коксу.

Экологически чистое производство двух ценных продуктов (тепловая энергия и среднетемпературный кокс) из дешевого бурого угля существенным образом изменяет экономические показатели производства. По данной технологии с 2007 года в режиме опытно-промышленной эксплуатации работает модернизированный котел КВТС-20 (ОАО СУЭК, г. Шарыпово, Красноярский край), в котором используется бурый уголь Березовского месторождения.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований, положенные в основу технологического процесса ТЕРМОКОКС-КС.

### **Экспериментальная установка и основные задачи исследования**

В последние десятилетия широкое распространение получила технология сжигания низкосортных углей в кипящем слое. Процесс организуется таким образом, что-

бы обеспечить полное выгорание частиц угля в пределах топки котла. По мере сокращения времени пребывания частиц в кипящем слое возрастает недожог топлива. В результате целевого изменения режимных параметров процесса можно достигнуть такого уровня термической переработки угля, который соответствует оптимальным показателям процесса карбонизации, т.е. максимальному выходу коксового остатка с высокими качественными характеристиками.

С целью подготовки исходных данных для проектирования энерготехнологических котлов, предназначенных для переработки угля в кипящем слое, была сооружена стендовая установка производительностью до 200 кг/час по углю. Она представляет собой вертикальную шахту прямоугольного сечения. Зона кипящего слоя футерована шамотным кирпичом и имеет размеры в плане 520 x 55 мм. Для измерения температурного поля в объеме слоя размещено 5 хромель-алюмелевых термопар. Загрузка угля осуществляется питателем с регулируемым расходом с одной стороны ванны кипящего слоя, а вывод твердого продукта – с противоположной стороны (рисунок 1). Газообразные продукты и пылевой унос дожигаются в верхней части шахты. Сжатый воздух от воздуходувки подается через решетку колпачкового типа с высоким сопротивлением, что обеспечивает равномерное распределение дутья по горизонтальному сечению слоя.

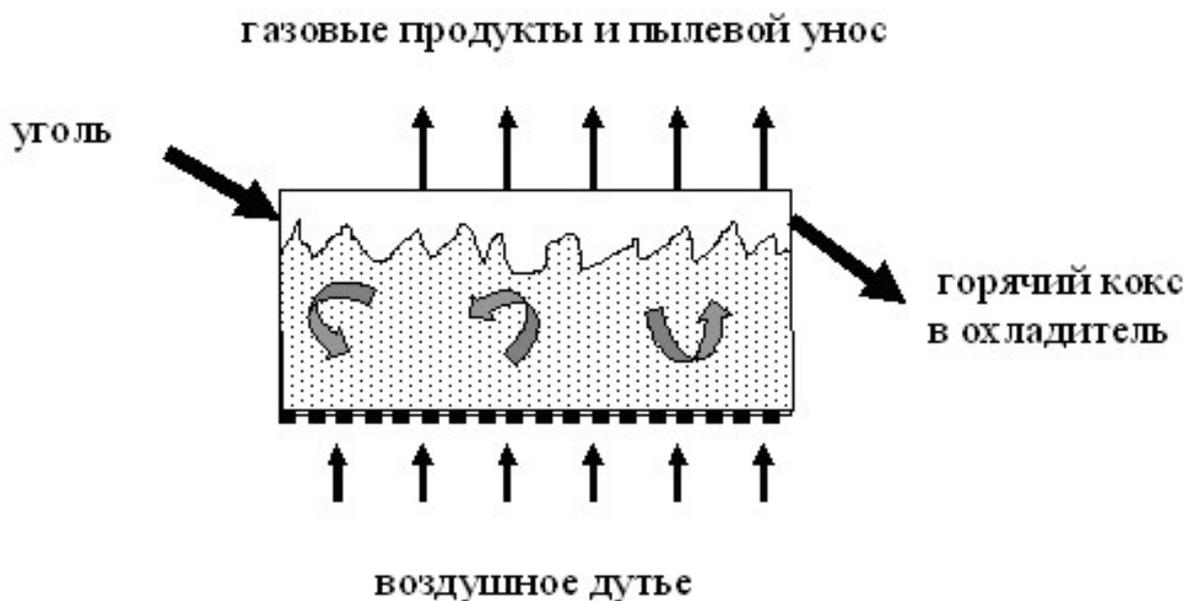


Рис. 1. Принципиальная схема установки для переработки угля в кипящем слое

На стенде выполнено исследование процесса карбонизации угля в широком диапазоне изменения режимных параметров. В качестве сырья использовался бурый уголь Березовского месторождения – характерный представитель углей Канско-Ачинского бассейна. Именно угли этого бассейна, отличающиеся низкой зольностью ( $A^{\text{dry}} \approx 5-8\%$ ) и незначительным содержанием серы ( $S^{\text{dry}} \leq 0,2\%$ ), являются перспективной сырьевой базой для процессов карбонизации угля.

На первом этапе были выполнены поисковые работы на узких фракциях угля. Главная цель заключалась в определении условий максимального выхода кокса приемлемого качества при разных расходах реагентов и температурах обработки, а также

оценка влияния размера частиц на основные показатели процесса. На следующем этапе эта работа была продолжена с широкой фракцией угля, которая рекомендуется для использования в промышленном процессе. Анализ угля и коксовых продуктов выполнялся в аккредитованной испытательной лаборатории ОАО «Сибирский ЭНТЦ», г. Красноярск.

### Результаты исследования

Для исследования использовался бурый уголь Березовского месторождения, характеристики которого приведены в таблице 1.

Табл. 1.

Технический и элементный анализ исходного угля, %								$Q_i^r$ МДж/кг
$W_t^r$	$A^d$	$V^{daf}$	$C^{daf}$	$O^{daf}$	$H^{daf}$	$N^{daf}$	$S_t^d$	
30,6	4,9	47,6	71,0	23,1	4,9	0,70	0,15	15,74

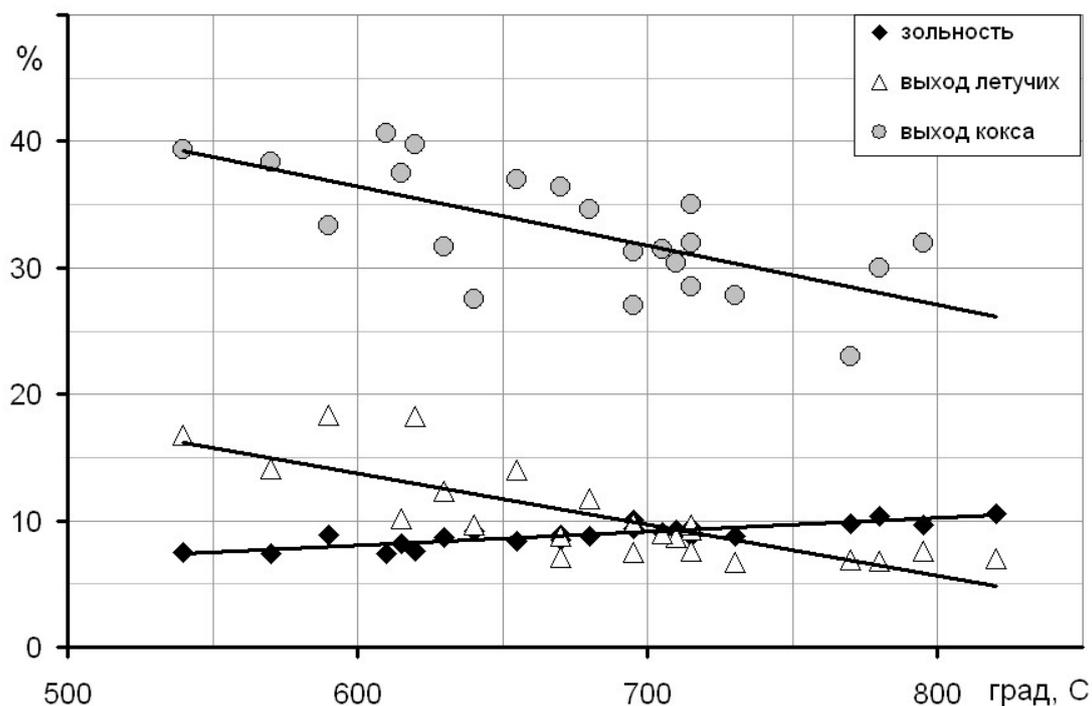


Рис. 2. Зависимость показателей качества и выхода кокса от температуры слоя для полифракции 0-15 мм.

### Обсуждение результатов

Важнейшим показателем технологического процесса переработки угля является выход кокса. Он определяется в виде процентной доли продуктового кокса от расхода исходного угля:  $G_{\text{кокс}}/G_{\text{уголь}} * 100\%$ . Согласно материальному балансу из 1 тонны угля с характеристиками, представленными в таблице 1, выход кокса с остаточным содержа-

нием летучих  $V^{\text{daf}} \approx 10\%$  должен составлять примерно 42%. Специфика термической переработки бурого угля в кипящем слое заключается в том, что резкий нагрев частиц крупнее 5-7 мм приводит к их дроблению за счет разрыва вскипающей влагой. Мелкодисперсные частицы, которые образуются в результате термодробления или изначально присутствуют в широкой полидисперсной фракции угля, выносятся из кипящего слоя и дожигаются в зоне подачи вторичного дутья. Кроме того, часть кокса расходуется на гетерогенное реагирование с кислородом дутья (горение), а также с  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  (газификация).

В результате анализа данных, представленных на рисунке 2, для промышленного технологического регламента был рекомендован режим переработки бурого угля в интервале температур 700-750°C, который обеспечивает сравнительно высокие качественные показатели буроугольного кокса, а также приемлемый из экономических соображений выход кокса.

Сопоставляя результаты, полученные в экспериментах с полифракцией 0-15 мм (рисунок 2), а также фракционный состав продуктового кокса (2-8 мм), можно сделать вывод, что определяющий вклад в формирование показателей процесса переработки полифракции вносят частицы размером 2-8 мм. Более мелкие частицы выносятся из слоя и не попадают в состав продуктового кокса. А более крупные частицы подвергаются дроблению, в результате которого образуются мелкие частицы, пополняющие основную фракцию, а также мелкодисперсный унос.

На основе результатов исследований, часть которых представлена в настоящей работе, в 2007 году была выполнена модернизация типового энергетического котла с переводом его в режим карбонизации Березовского бурого угля (фракция 5-25 мм). Производительность котлоагрегата по коксу составляет примерно 2,5 т/час при средней температуре кипящего слоя около 750°C. Фракционный состав кокса оказался существенно мельче, чем в лабораторных экспериментах – от 0 до 3 мм. Как следствие, выход кокса снизился до 23-24%. Эти результаты связаны с более протяженным размером ванны кипящего слоя (2,1 м. против 0,52 м. в лабораторном стенде). Поэтому для обеспечения эквивалентного времени пребывания частиц в зоне высоких температур используется повышенный по сравнению с лабораторным стендом расход дутья и соответственно повышенный расход угля. В совокупности это приводит к существенному усилению еще одного эффекта, присущего кипящему слою – истиранию сравнительно непрочных из-за высокой пористости коксовых частиц.

## **Выводы**

На основе выполненной серии экспериментов было установлено, что оптимальная температура кипящего слоя для воздушной карбонизации бурого угля (фракция 0-15 мм) находится в диапазоне 700-750°C. Полученный при этом буроугольный кокс имеет зольность и содержание остаточных летучих не более 10%.

Полученные результаты были использованы для проектирования опытно-промышленной установки производительностью 2,5 т кокса/час. В течение двухлетнего периода эксплуатации качество продукта и показатели технологического процесса оставались стабильными и в полной мере соответствовали проектным параметрам.

Буроугольный кокс рекомендуется для использования как специальное технологическое топливо в самых разных приложениях: высокорреакционный восстановитель (пылевидный и брикетированный) в металлургических процессах, компонент твердого топлива для вдувания в домы, технологическое топливо для цементных и глиноземных печей, для производства бездымного бытового топлива.