

УДК 662.732; 665.7.032.54

Д.А. ЛОГИНОВ, С.Р. ИСЛАМОВ

Красноярск

**РАЗВИТИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЯ В КОТЛАХ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ**

На ближайшую перспективу правительственными документами о долгосрочной энергетической стратегии поставлена задача увеличения доли твердого топлива в энергетическом балансе страны. В то же время традиционные методы сжигания угля по существу достигли своего предела экономической и экологической эффективности. При действующей системе ценообразования на энергетическую продукцию сроки окупаемости инвестиций в типовые электростанции на угольном топливе приближаются к уровню 20 лет. Качественное изменение ситуации возможно только за счет развития новых способов энерготехнологического комбинирования. Поэтому сегодня, кроме классической схемы когенерации, многими зарубежными компаниями разрабатываются оригинальные варианты три- и даже квадроэнергетических систем. В этом свете значительный интерес представляет технология ТЕРМОКОКС-КС [1], которая обеспечивает качественное повышение энергоэффективности использования угля, а также предельно высокий уровень экологической безопасности.

Переработка угля осуществляется в модернизированном котельном агрегате с топкой кипящего слоя (рис. 1). В режиме частичной газификации (карбонизации) уголь перерабатывается в газовое топливо и высокорекреационный коксовый остаток [2]. Газовое топливо и пылевой унос из кипящего слоя дожигаются в надслоевом пространстве топочного объема за счет вторичного дутья. При этом сохраняются паспортные

энергетические характеристики типового котла, на базе которого организуется энерготехнологическое производство.

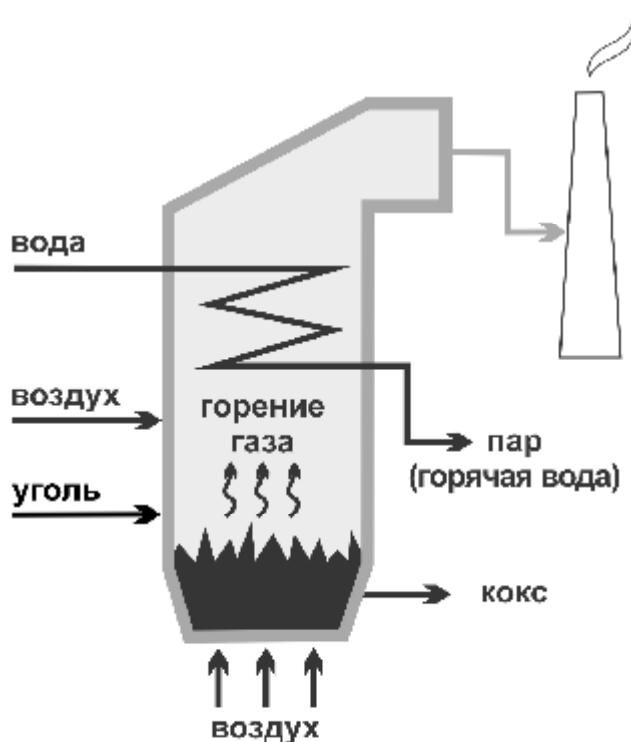


Рисунок 1. Принципиальная схема технологического процесса ТЕРМОКОКС-КС на базе типового энергетического котла

В новом исполнении котельный агрегат переводится в режим сжигания пылегазовой смеси (концентрация твердой фазы 6-8% по массе) с полным исключением образования шлака и радикальным снижением объема летучей золы. Дополнительный продукт – мелкозернистый 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 высокорекреционный заменитель отдельных марок классического кокса, в частности в электротермических процессах металлургии.

С целью подготовки исходных данных для проектирования энерготехнологических котлов типа ТЕРМОКОКС-КС была изготовлена 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. Сжатый воздух от воздуходувки подается через решетку колпачкового типа с высоким сопротивлением, что обеспечивает равномерное распределение дутья по горизонтальному сечению слоя. Загрузка угля осуществляется питателем с регулируемым расходом с одной стороны ванны кипящего слоя, а вывод твердого продукта – с противоположной стороны. Газообразные продукты и пылевой унос дожигаются в верхней части шахты. Для измерения температурного поля в объеме слоя размещено 5 хромель-алюмелевых термопар.

На стенде были выполнены исследования процесса карбонизации бурых углей Березовского (марка 2Б), Балахтинского (марка 3Б), Багануурского (Монголия) (марка 2Б) месторождений и каменного угля разреза «Черногорский» (марка Д). Характеристики углей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исходных углей

	Технический и элементный анализ исходного угля, %								Q_i^r МДж/кг
	W_i^r	A^d	V^{daf}	C^{daf}	O^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S_i^d	
Березовский	30,6	4,9	47,6	71,0	23,1	4,9	0,70	0,15	15,74
Балахтинский	20,1	4,2	45,2	75,3	18,66	5,0	0,87	0,17	21,4
Багануурский	36,5	12,6	44,0	70,0	23,7	5,0	0,70	0,52	13,7
Черногорский	9,6	19,2	45,3	75,9	17,92	3,8	1,73	0,53	20,0

В первую очередь, на монофракциях (3-5 мм, 5-8мм, 8-10мм, 10-15мм) было исследовано влияние фракционного состава на показатели

процесса карбонизации. В конечном итоге для промышленного процесса переработки рекомендовано использовать фракцию 0-15мм. Важнейшим технологическим параметром является температура кипящего слоя, при которой осуществляется термообработка угольных частиц. Поэтому на следующем этапе исследований для каждой марки угля были определены диапазоны температуры кипящего слоя, в пределах которых обеспечивается получение кокса с оптимальными потребительскими свойствами (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики полученных коксов

	Температура обработки, °С	Относительный выход по массе, %	A^d, %	V^{daf}, %
Березовский	700-750	25-30	8-10	6-10
Балахтинский	700-750	35-40	7-10	5-9
Багануурский	700-750	23-25	12-15	10-12
Черногорский	800-850	35-45	15-20	7-10

Как видно, для всех бурых углей рабочая температура находится в интервале 700-750 °С. Для каменного угля она примерно на 100 °С выше, что объясняется пониженной скоростью выхода летучих веществ в связи с более высокой степенью метаморфизма.

Пониженный выход кокса из монгольского бурого угля обусловлен его относительно высокой зольностью по сравнению с канско-ачинскими углями, а также аэродинамической сепарацией пустой породы в кипящем слое. Как следствие, зольность коксового остатка оказалась не намного выше зольности исходного угля. Этот же эффект проявился при переработке каменного угля. Таким образом, угли, содержащие пустую породу в дезагрегированном виде, одновременно с термической

переработкой в кипящем слое подвергаются гравитационному обогащению.

На основе результатов стендового цикла исследований в 2007 году была выполнена модернизация типового энергетического котла КВТС-20 (ОАО СУЭК, г. Шарыпово, Красноярский край), работающего на буром угле Березовского месторождения. Производительность котлоагрегата по коксу составляет примерно 2,5 т/час при средней температуре кипящего слоя около 750°С, по горячей воде – 14,5 Гкал/час. В данном случае тепловая мощность котла была снижена из-за ограниченного отпуска тепла потребителю. Трехлетний период эксплуатации опытно-промышленной установки подтвердил работоспособность принятых технических решений. При этом была доказана практически полная воспроизводимость всех технологических показателей, достигнутых на уровне стендовой установки. Единственным исключением оказался выход кокса, который снизился в промышленных условиях примерно на 5% за счет повышенного истирания, обусловленного более продолжительным пребыванием угля в ванне кипящего слоя. Мелкозернистый кокс поставляется на уровне опытно-промышленных партий для тестирования в различных металлургических процессах. В 2010 году будет сдана в эксплуатацию линия брикетирования кокса с получением продукции класса «коксовый орех» для поставки на электротермические предприятия металлургии.

За счет эффекта совместного производства двух продуктов на базе энерготехнологического котла достигается качественно новый интегральный результат, включающий в себя повышенные технологические, экологические и экономические показатели.

Интересно выполнить сравнение экономической эффективности технологии ТЕРМОКОКС-КС с классической схемой когенерации. В таблице 3 представлены показатели, рассчитанные для двух технологий при одинаковом расходе исходного угля.

Таблица 3 – Сравнение технико-экономических показателей

Показатели	Когенерация	ТЕРМОКОКС-КС
Подача бурого угля в котел	50 т	50 т
Теплота сгорания потока угля	190 Гкал	190 Гкал
Тепловой КПД котла	92%	92%
Суммарное производство полезной энергии	175 Гкал	175 Гкал
Доля полезной энергии в виде электроэнергии и кокса	35%	55%
Тепловой эквивалент электроэнергии и кокса	71304 кВт·час = = 61,25 Гкал	96,25 Гкал = = 112050 кВт·час
Отпуск тепловой энергии	113,5 Гкал	78,75 Гкал
Отпускная цена эл.энергии и кокса	0,4 руб/ кВт·час = = 465 руб/Гкал	8000 руб/т = = 1142 руб/Гкал
Отпускная цена тепловой энергии	400 руб/Гкал	400 руб/Гкал
Объем продаж	73,88 тыс. руб.	141,4 тыс. руб.
Удельные капитальные затраты	54 тыс. руб/кВт	9 тыс. руб/кВт
Экологические показатели	<ul style="list-style-type: none"> – выброс продуктов сгорания 50 т угля; – летучая зола; – шлак 	<ul style="list-style-type: none"> – выброс продуктов сгорания <i>газовой компоненты</i> угля; – незначительное количество летучей золы; – отсутствие шлака.

Не вызывает сомнения, что энерготехнологический котел с кипящим слоем в связке с брикетным производством значительно надежнее и проще

в эксплуатации, чем классический энергоблок (паровой котел + турбина + генератор). Удельные капитальные затраты приняты по укрупненным показателям для сооружаемого энергоблока 270 МВт на Красноярской ТЭЦ-3, и энерготехнологического котла КВТК-100Э с брикетным цехом. Сравнение показывает, что комбинированное производство бурого угольного кокса и тепловой энергии имеет значительно более высокую экономическую и экологическую эффективность, чем классическая схема когенерации.

В 2010 году начаты проектно-конструкторские работы по модернизации двух котлов БКЗ-75 на ТЭЦ-2 г. Улан-Батор (Монголия) с целью перевода на энерготехнологический режим работы. Бурый угольный кокс будет использоваться для изготовления бытового бездымного топлива (брикеты). На ТЭЦ-2 в г. Красноярске в 2011 году запланировано построить новый энерготехнологический котел на базе конструкции типового водогрейного котла КВТК-100. Коксовая продукция предназначена для металлургических предприятий страны.

Список литературы

1. *Пат. 2359006 РФ*. Способ переработки угля / Исламов С.Р., Степанов С.Г.; опубл. 26.06.2009, Бюл. № 17.
2. *Исламов С.Р.* Энерготехнологическая переработка бурого угля в типовом котельном агрегате // *Промышленная энергетика*. 2008. № 2. С. 25-28.