



# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ежемесячный производственно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

РАО "ЕЭС РОССИИ", КОРПОРАЦИЯ "ЕДИНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС",  
НТФ "ЭНЕРГОПРОГРЕСС", РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
ЭНЕРГЕТИКОВ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ

**2** Февраль  
2008

Издается с августа 1944 года

Москва, НТФ "Энергопрогресс"

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Совершенствование экономического механизма хозяйствования</b>		
<b>Кузнецов А. В., Евстифеев И. В.</b> Об экономических рычагах управления процессом компенсации реактивной мощности . . . . .	2	
<b>Эксплуатация, монтаж и наладка</b>		
<b>Цырук С. А., Киреева Э. А., Лялин А. Б.</b> Повышение надежности электроснабжения потребителей котельного цеха . . . . .	6	
<b>Родионов О. С., Толкачев А. И.</b> Автоматическое регулирование напряжения в распределительных сетях 6 и 10 кВ . . . . .	9	
<b>Быстрицкий Г. Ф.</b> Установки автономного и резервного электроснабжения . . . . .	13	
<b>Кулагин А. Ю.</b> Увеличение диапазона устойчивой работы газовых горелок с нерегулируемыми параметрами при сжигании газов переменного состава . . . . .	23	
<b>Исламов С. Р.</b> Энерготехнологическая переработка бурого угля в типовом котельном агрегате . . . . .	25	
<b>Проекты и исследования</b>		
<b>Манусов В. З., Михеев П. А.</b> Сверхпроводниковые ограничители токов: области применения и требования к параметрам . . . . .	29	
<b>Пономаренко И. С., Бурковский А. Е., Сулин А. Г., Аксенов Д. А., Пономаренко М. И.</b> Применение регуляторов напряжения с целью экономии электроэнергии в системах освещения промышленных предприятий и городов . . . . .	34	
<b>Макаров А. Н.</b> Аналитическая модель факела для расчета теплообмена в печах, топках, камерах сгорания . . . . .	37	
<b>Электробезопасность</b>		
<b>Харечко Ю. В.</b> Международные и национальные стандарты, устанавливающие требования к автоматическим выключателям . . . . .	48	
<b>Справочник энергетика</b>		
Новая серия предохранителей от компании ИЭК	54	
Инфракрасные термометры для контроля состояния объектов диаметром от 1 мм, выпускаемые ЗАО "ТЕККНО" . . . . .	55	
Отвечаем на Ваши вопросы . . . . .	57	
<b>Информация ВТИ</b>		
Термическая утилизация твердых бытовых отходов с получением тепловой и электрической энергии	58	

# ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА БУРОГО УГЛЯ В ТИПОВОМ КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ

Исламов С.Р.

Компания «Сибтермо», г. Красноярск, Россия, termo@kr.ru

## Введение

Проблема энерготехнологического использования угля имеет уже достаточно долгую и, к сожалению, не очень успешную историю. В значительной мере развитию этого направления в разные периоды времени препятствовали объективные условия. В последние годы во многих странах структурная перестройка топливного баланса с целью уменьшения зависимости от нефти и газа возродила интерес к угольной тематике. В то же время возрос дефицит твердого технологического топлива металлургического назначения. При этом быстрое удовлетворение рыночного спроса практически невозможно из-за отсутствия готовых к немедленному внедрению новых технологических процессов. Обширный ассортимент способов комплексной переработки угля в большинстве случаев не вышел за пределы лабораторных или в лучшем случае пилотных установок. Для вывода этих технологий на уровень промышленного использования требуются значительные инвестиции и продолжительный период времени.

В конце прошлого года компания «Сибтермо» предложила концепцию использования типового котельного агрегата для энерготехнологической переработки бурого угля. Эта концепция радикальным образом разрешает проблему больших инвестиций и длительного поэтапного перехода от лабораторных установок к промышленному агрегату. Цель технологического процесса – производство тепловой энергии и буроугольного кокса (среднетемпературного кокса). Для его реализации предлагается использовать типовой котельный агрегат средней мощности, предназначенный для сжигания дробленого угля. Вариант исполнения топочного устройства (движущаяся колосниковая решетка или заторможенная с реконструкцией под кипящий слой и т.п.) не имеет значения, поскольку именно этот участок котла подлежит радикальной реконструкции.

Основное техническое решение заключается в сооружении под котлом реактора со свободным кипящим слоем угля, который работает в режиме окислительного пиролиза. За счет сокращенного времени пребывания в зоне высоких температур угольные частицы успевают подвергнуться только пиролизу и выводятся из реактора в виде буроугольного кокса. Летучие продукты и мелкодисперсный унос сгорают в надслоевом пространстве кипящего слоя. Выделяющееся тепло частично обеспечивает нагрев самого слоя, однако большая его часть отдается котельным поверхностям нагрева.

Новыми устройствами, ранее отсутствующими в типовом котельном агрегате, являются охладитель кокса и линия транспортирования охлажденного кокса от границы котельной ячейки до наружного бункера-накопителя, в качестве которого используется золоосадитель. И, соответственно, реактор-пиролизер в нижней части котла, в котором необходимо организовать процесс коксования угля, а также устройства вторичного дутья для обеспечения полного сжигания газообразных продуктов пиролиза и уноса.

*Использование типового котельного агрегата в качестве базового аппарата для энерготехнологической переработки угля существенным образом облегчает решение сложнейшего комплекса конструкторских задач, промышленной отработки технических решений, подбора материалов, комплектующего оборудования, а также разработки технологии изготовления элементов нового оборудования на машиностроительных заводах. По существу все эти задачи уже решены в применении к типовым котлам. Поэтому остается выполнить незначительную модернизацию агрегата, имеющего долгосрочную историю надежной эксплуатации в виде многих тысяч действующих*

*промышленных образцов. И сроки выполнения такой модернизации, и затраты по порядку величины близки к капитальному ремонту типового котла.*

Еще одним положительным следствием предложенной концепции является возможность использования **типового проекта котельной** в качестве прототипа энерготехнологического комплекса (ЭТК). В проекте ЭТК с минимальными изменениями могут быть использованы все архитектурно-планировочные и архитектурно-строительные решения типового проекта котельной:

- сооружения топливоподачи, включающие в себя ж/д. приемное устройство,
- расходный склад угля, узел дробления и галереи подачи угля;
- здание котельной с газоходами;
- дымовая труба;
- прочие внутриплощадочные сооружения, предусмотренные типовым проектом.

При этом естественно необходимо будет внести поправки на увеличенное примерно в два раза потребление угля. Новым дополнительным сооружением является склад готовой продукции, а также участок транспортирования полукокса (конвейерная галерея или пневмопровод). Номенклатура основного и вспомогательного оборудования на 90% остается без изменений. Типовое штатное расписание персонала изменяется незначительно.

Принятие за основу типового проекта позволяет радикально сократить стадию проектирования ЭТК, а также стадии комплектации, монтажа и пуско-наладки по сравнению с любым другим вариантом использования новой оригинальной технологии. Следует заметить, что нормативный срок строительства котельной средней мощности по типовому проекту равен 18 месяцам.

Принятие за основу типового проекта позволяет существенно повысить надежность проекта, а также сократить до минимума инвестиционно-финансовый риск за счет высокой точности расчета экономических показателей будущего производства.

### **Выбор прототипа из действующих котлов с кипящим слоем**

Котельная практика накопила достаточно богатый опыт модернизации типовых котлов для сжигания угля в кипящем слое. Для решения нашей задачи было совершенно естественно использовать эти технические решения. В результате критического анализа известных нам схем сжигания в кипящем слое в качестве прототипа был выбран вариант низкотемпературного кипящего слоя (НТКС), который разработан Научно-исследовательским центром «Бийскэнергомаш» (г. Барнаул). Суть данной технологии определяется конструкцией топки со свободным низкотемпературным кипящим слоем, которая вписывается в профиль типового котла. Кипящий слой организован в специально сооруженном подтопке, примыкающем к топочному объему, огражденному экранными поверхностями котла. Псевдоожигание частиц угля осуществляется путем подачи воздуха через водоохлаждаемую колпачковую решетку. Топка НТКС имеет высокую скорость псевдоожигания, сравнимую со скоростью в топках с циркулирующим кипящим слоем. Под решетку подается только 50-60% воздуха, участвующего в горении, остальной воздух подается через сопла вторичного дутья с организацией вихревого движения в надслоевом пространстве кипящего слоя.

Данная схема имеет следующие преимущества в приложении к процессу переработки угля.

Во-первых, здесь сохраняется специфический для традиционного кипящего слоя способ регулирования расхода твердой фазы. Или, с точки зрения процесса термообработки угля,

– способ регулирования времени пребывания частиц в слое. Расход угля, подаваемого в пиролизер, ограничивается только технологическим условием – необходимым временем термообработки частиц при данной температуре слоя. Регулирование расхода топлива осуществляется изменением подачи угля через загрузочное устройство. Скорость вывода продукта из топки автоматически подстраивается к скорости подачи за счет «псевдожидкостных» свойств свободного кипящего слоя.

Во-вторых, подача вторичного дутья в надслоевое пространство с организацией вихревого движения благоприятна для эффективного сжигания продуктов пиролиза и уноса. Кроме того, эта схема позволяет направить часть лучистого потока от горящего вихревого ядра к поверхности кипящего слоя, в котором происходит интенсивное поглощение тепла (процессы сушки и пиролиза угля).

В варианте энерготехнологической модернизации типового котла производительность агрегата ограничивается только условиями охлаждения дымовых газов в хвостовых поверхностях.

*Таким образом, схема низкотемпературного, свободного кипящего слоя наилучшим образом отвечает основным требованиям к конструкции агрегата для организации процесса коксования угля в кипящем слое.*

Поэтому она была принята для дальнейшей проработки в соответствии с поставленной задачей создания опытно-промышленного энерготехнологического агрегата на базе типового котла.

### **Экспериментальное исследование процесса пиролиза бурого угля**

С целью получения исходных данных для разработки промышленного процесса пиролиза угля в кипящем слое был изготовлен экспериментальный стенд производительностью около 200 кг/час угля. Размер ванны с кипящим слоем 520x55x370 мм, воздухораспределительная решетка – колпачкового типа с индивидуальной регулировкой подачи воздуха на колпачок. Для измерения температурного поля в объеме слоя размещены 5 термопар. Вывод кокса из слоя осуществляется через сливной патрубок с верхнего уровня кипящего слоя в герметичную водоохлаждаемую емкость с инертной атмосферой. На стенде был выполнен обширный объем исследований по коксованию березовского бурого угля. Первый этап включал в себя поисковые работы на узких фракциях угля с целью максимизации выхода кокса приемлемого качества при разных расходах реагентов и температурах обработки. Следующий этап включал в себя работу в том же направлении с промышленной полифракцией 0-25 мм, которая используется для сжигания в котлах котельной Березовского разреза. В конечном итоге были получены зависимости изменения свойства конечного продукта от времени пребывания в кипящем слое (т.е. производительности по углю) и от температуры в слое, которая регулировалась преимущественно подачей воздуха в пределах от 700 до 900<sup>0</sup>С.

При использовании промышленной полифракции наблюдался существенный вынос мелких фракций, что было обусловлено сравнительно высокими скоростями ожигения и фракционным составом угля (доля фракции 0-3мм составляла около 35%). Поэтому для дальнейших экспериментах использовался только отсеянный уголь с размером частиц более 5мм. Независимо от верхнего предела размеров частиц полученный кокс имел фракционный состав в интервале примерно 1-7мм, что обусловлено эффектом термодробления крупных частиц влажного угля при попадании в горячий кипящий слой, а также вследствие истирания непрочного буроугольного кокса.

Качество кокса контролировалось по содержанию остаточных летучих и зольности. Исходный уголь имел влажность  $W_t^r = 32-33\%$ , выход летучих на уровне  $V^{daf} = 47\%$ , зольность  $A^d$  – около 5%. В лучших образцах буроугольного кокса эти показатели были

снижены соответственно до  $V^{daf} = 9 - 10\%$ ,  $A^d = 8 - 9\%$ . В качестве оптимальной области рабочих параметров были выбраны: температура кипящего слоя  $700-750^{\circ}\text{C}$ , удельный расход воздуха  $0,9-1,0 \text{ м}^3/\text{кг}$  угля. При этом выход кокса составлял около 30% по массе. Калорийность полученного кокса  $Q^r_i$  составляла 28-29 МДж/кг (6700-7000 ккал/кг). В тепловом балансе калорийность кокса достигала 55% от теплоты сгорания входящего потока угля.

### Модернизация типового котла КВТСВ-20

На основе исходных данных, полученных в результате стендовых исследований, по заказу компании «Сибтермо» НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» (г. Барнаул) разработал проект модернизации типового котла КВТСВ-20 для энерготехнологической переработки березовского бурого угля. Топка с движущейся колосниковой решеткой заменена ванной с кипящим слоем угля с секционированным подводом воздуха. Из нее раскаленный кокс перетекает в первую секцию охлаждения – кипящий слой с дымовыми газами в качестве оживающего агента, далее – во вторую секцию, которая представляет собой кожухотрубчатый теплообменник вертикального типа с плотным движущимся слоем кокса. Охлажденный кокс конвейером подается в наружный бункер за пределами котельного цеха, ранее использовавшийся в качестве золоосадителя. Система золоудаления исключается из-за отсутствия золошаковых отходов. Общий вид модернизированного котла представлен на рис.1 Проект был реализован в конце 2007 года в котельной Березовского разреза (Шарыповский район, Красноярский край). В связи с ограниченным теплосъемом по местным условиям мощность котла была снижена до 15 Гкал/час.

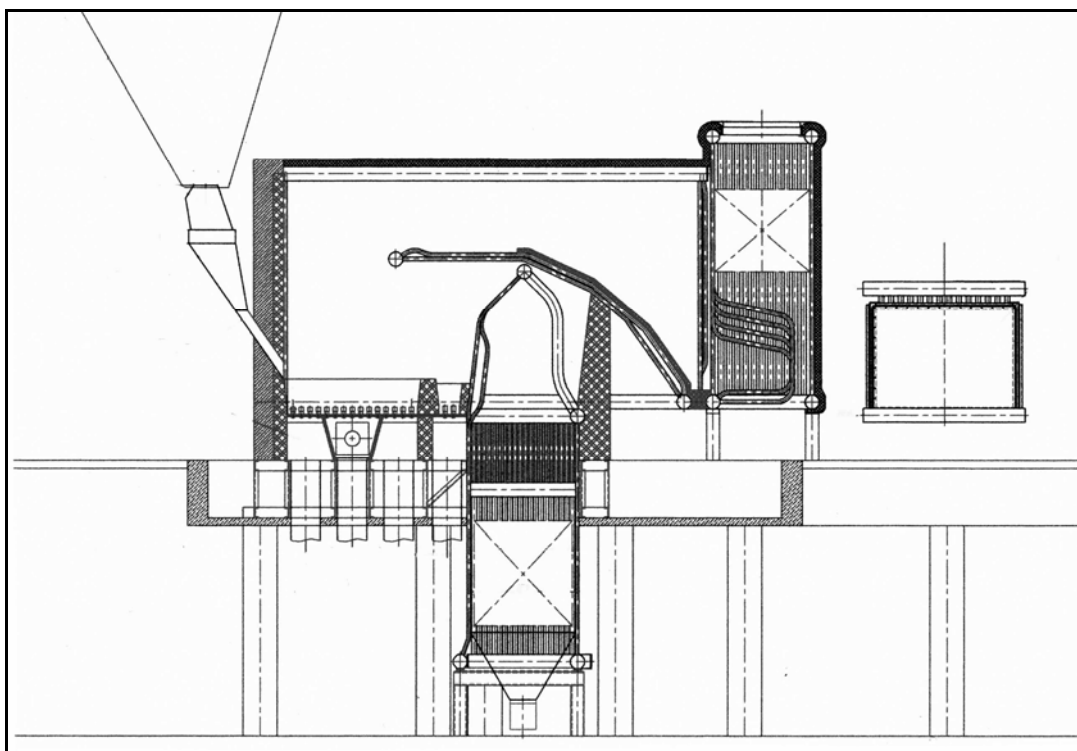


Рис.1. Схема модернизации типового котла КВТСВ-20 для энерготехнологической переработки бурого угля

Основные показатели, достигнутые в режиме его опытно-промышленной эксплуатации, приведены в таблице 1. Физико-химические и теплотехнические характеристики кокса полностью соответствовали показателям, достигнутым на экспериментальном стенде.

Следует отметить улучшение экологических показателей котельного агрегата по выбросам, поскольку в топочном объеме сжигаются газообразные летучие и тонкодисперсный унос.

Высокореакционный среднетемпературный кокс из бурого угля имеет широкие перспективы использования как технологическое топливо и, в первую очередь, как заменитель природного газа в таких отраслях как доменное производство чугуна, цементная промышленность, производство глинозема.

Таблица 1

### Основные показатели модернизированного котла

<b>Общее потребление угля:</b>		
Расход угля		10,16 т/час
Теплосодержание угля (3700 ккал/кг)		37,6 Гкал/час
<b>Производство энергетической продукции:</b>		
Горячая вода		14,5 Гкал/час
Тепловой КПД-брутто котла		83%
Расход угля на производство тепла (3700 ккал/кг)		4,72 т/час
Удельный расход угля, тонн/Гкал		0,325
<b>Производство буроугольного кокса:</b>		
Теплосодержание производимого полукокса (6900 ккал/кг)		16,56 Гкал/час
Выход кокса		2,4 т/час
Расход угля на производство полукокса (при КПД 83%)		5,4 т/час
Удельный расход угля, тонн/т кокса		2,25
<b>Всего полезной продукции</b>	<b>(100%)</b>	<b>31,06 Гкал/час</b>
в том числе:		
горячая вода	(46,7%)	14,5 Гкал/час
теплосодержание полукокса	(53,3%)	16,56 Гкал/час
Энергетический КПД производства в целом		83 %

Экономические оценки показывают, что прямая себестоимость производства 1 тонны кокса примерно равна стоимости угля, расходуемого на его получение, т.е. 2,25 тонн. В данном случае это около 500 руб/т. Однако несложно заметить, что продажа тепловой энергии (300-500 руб/Гкал) компенсирует все эксплуатационные затраты, включая общий расход угля на котельный агрегат. Поэтому, с точки зрения общих экономических показателей, модернизированный котельный агрегат при сохранении номинальной тепловой мощности производит в качестве побочного продукта буроугольный полукокс с нулевой себестоимостью.

**Таким образом, за счет эффекта совместного производства двух продуктов на одном агрегате достигается новый качественный результат, как в технологическом, так и в экономическом аспекте. Подобные установки на базе типовых котлов могут найти широкое применение с последующим использованием буроугольного кокса в качестве технологического топлива для широкого спектра металлургических процессов, а также в цементной промышленности.**