

УДК 662.732; 665.7.032.54

## **ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО НА ОСНОВЕ ЧАСТИЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ НИЗКОЙ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА**

*Михалев И.О., Исламов С.Р.*

*ООО «Сибтермо», г. Красноярск*

Долгосрочная энергетическая стратегия России ориентирована на увеличение доли твёрдого топлива в энергобалансе страны. При этом одной из важнейших проблем является совершенствование способов использования угля для обеспечения более высоких уровней экологической безопасности и энергоэффективности по сравнению с классическими методами сжигания.

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 счёт развития новых способов энерготехнологического комбинирования [1]. По этой причине сегодня, кроме классической схемы когенерации, многими зарубежными компаниями разрабатываются оригинальные варианты три- и даже квадログенерации.

В течение последнего десятилетия компания «Сибтермо» внедряет в практику новую концепцию энерготехнологического использования углей, в первую очередь, углей низкой степени метаморфизма (марки Б, Д). Ее суть заключается в следующем: с точки зрения экономической и экологической эффективности для газификации или сжигания целесообразно использовать главным образом летучие компоненты угля, а твердый остаток с высоким содержанием углерода – среднетемпературный кокс (термококс) – использовать как технологическое топливо с более высокой потребительской стоимостью, чем исходный уголь. В рамках данной концепции компания «Сибтермо» разработала серию энерготехнологических процессов комбинированного использования угля, объединенных под общей торговой маркой «ТЕРМОКОКС»<sup>TM</sup> (табл. 1).

Технологической основой процессов «ТЕРМОКОКС» является частичная газификация углей на воздушном дутье. В результате переработки исходный уголь разделяется на два продукта: газообразное топливо и коксовый остаток (термококс). Газовое топливо предназначается для сжигания на месте с получением тепловой энергии, а термококс поставляется на рынок как специализированное топливо широкого спектра применения: для печей обжига цементного клинкера и известняка, для печей спекания глинозема, для вдувания в доменные печи, в качестве агломерационного топлива и т.п. Термококс из низкотемпературных канско-ачинских углей, кроме низкой себестоимости, обладает целым рядом положительных физико-химических характеристик, важных для металлургии. В частности, это высокая реакционная способность в процессах восстановления металлов, благоприятный химический состав минеральной, органической части. В условиях непрерывного роста цен на классический кокс огромный интерес

представляет использование термококса в качестве металлургического топлива, а также углеродного восстановителя в бездоменных технологиях прямого получения железа.

Таблица 1. Технологические процессы серии «ТЕРМОКОКС»

Технология	Целевые продукты	Стадия реализации
«ТЕРМОКОКС-С» – частичная газификация в плотном слое, уголь 2Б	Углеродные сорбенты, горючий газ	Промышленное предприятие, с 1996 г., ЗАО «Карбоника-Ф», г. Красноярск
«ТЕРМОКОКС-СГ» – газификация угля в плотном слое, уголь 3Б	Горючий газ	Промышленная установка, с 2009 г., ЗАО «Балахтинский хлеб», пгт. Балахта, Красноярский край
«ТЕРМОКОКС-О <sub>2</sub> » – частичная газификация угля в плотном слое с кислородным дутьём, угли Б, Д	Термококс, синтез-газ	Опытная установка, с 2007 г., г. Красноярск
«ТЕРМОКОКС-КС» – частичная газификация угля в кипящем слое	Термококс, тепловая энергия (пар, горячая вода)	1) Опытно-промышленный комплекс, с 2007 г., ОАО «СУЭК», г. Шарыпово; 2) Модернизация действующей ТЭЦ-2 в г. Улан-Батор, 2011-2012 гг.

Исторически первыми разработками компании «Сибтермо» стали процессы газификации угля в плотном слое («ТЕРМОКОКС-С», «ТЕРМОКОКС-СГ») [2, 3]. Они осуществляются в аппаратах одинаковой конструкции, но при различных режимных параметрах. Радикальное отличие от классического процесса слоевой газификации заключается в том, что в данном случае не образуются побочные продукты в виде конденсированных вредных веществ (смолы, фусы, фенольные воды и т.п.). Причем они не уничтожаются в специальных устройствах, а отсутствуют в принципе. Это условие изначально снимает проблему утилизации отходов [4].

В процессах «ТЕРМОКОКС-С/СГ» используется схема газификации угля с обращённым дутьём, в рамках которой окислитель и топливо подаются прямо-током, а первичное зажигание производится со стороны выхода продуктового газа. В отличие от классической схемы с прямым дутьём, производимый в данном процессе газ не содержит конденсированных продуктов пиролиза угля. Кроме того, схема с обращённым дутьём позволяет осуществлять процесс газификации с контролируемой степенью конверсии. Путем изменения режимных параметров можно производить только генераторный газ или термококс и попутный генераторный газ. Перечисленные технологические особенности обеспечивают высокий уровень экологической безопасности и экономической эффективности процесса слоевой газификации с обращённым дутьём.

Общая схема слоевой газификации угля с обращённым дутьём показана на рисунке (рис. 1). В построенных до настоящего времени установках процесс осуществляется при атмосферном давлении, однако нет никаких препятствий для использования повышенного давления. В вертикальный реактор шахтного типа загружается стационарный слой угля. Первичное зажигание осуществляет-

ся сверху с помощью электрических нагревателей, установленных в крышке аппарата. Дутьевой воздух подается снизу через колосниковую решетку, при этом формируется высокотемпературная зона физико-химических превращений (ФХП), которая перемещается по высоте слоя угля от участка зажигания навстречу газовому потоку (волна ФХП). Возможен вариант исполнения реактора с непрерывной подачей угля и выводом твёрдого продукта. В зависимости от режимных параметров процесса осуществляется частичная газификация (карбонизация) угля с получением термококса и горючего газа либо полная газификация с получением в качестве полезного продукта переработки только горючего газа, а также зольного остатка в качестве отхода.



Рис. 1. Схема процессов слоевой газификации угля с обращённым дутьём «ТЕРМОКОКС-С/СГ»

Отдельного упоминания заслуживает специальная версия процесса газификации бурого угля с обращённым дутьём, в которой в качестве дутья вместо воздуха используется кислород [5], – процесс «ТЕРМОКОКС-О<sub>2</sub>». В этом случае продуктами переработки угля, как и в процессе «ТЕРМОКОКС-С», являются термококс и горючий газ, однако при сохранении общей схемы процесса (рис. 1) скорость волны ФХП возрастает до 10 раз с соответствующим повышением производительности реактора. Производимый сырой газ по классическим технологиям легко преобразуется в синтез-газ, широко используемый в химической промышленности. Комбинированное производство термококса и синтез-газа делает данный технологический процесс с экономической точки зрения радикально эффективнее, чем классические процессы газификации угля типа «Lurgi».

Первое промышленное предприятие на основе процесса «ТЕРМОКОКС-С» для производства буроугольного кокса и энергетического газа было построено компанией «Сибтермо» в 1996 году в г. Красноярске. Это – завод активированных углей ЗАО «Сорбентуголь» мощностью около 40 тыс. тонн угля в год (с 2000 года – ЗАО «Карбоника-Ф»). В 2008 году был сдан в эксплуатацию демонстрационный цех завода по производству бытовых топливных брикетов из сред-

нетемпературного кокса в Монголии. На основе процесса «ТЕРМОКОКС-СГ» с 2009 г. работает установка мощностью около 4 МВт по газу для сушки зерна в пгт. Балахта (Красноярский край).

Наиболее перспективным для промышленной теплоэнергетики является процесс «ТЕРМОКОКС-КС» – комбинированная переработка угля в модифицированном котельном агрегате с топкой кипящего слоя (рис. 2) [6, 7]. В режиме карбонизации уголь перерабатывается в газовое топливо и высокорреакционный коксовый остаток. Газовое топливо и небольшое количество пылевого уноса из кипящего слоя дожигаются в надслоевом пространстве топочного объёма за счёт вторичного дутья. Котельный агрегат, сохраняя паспортные энергетические характеристики, имеет улучшенные экологические показатели по газовым выбросам, а вместо золошлаковых отходов производит второй ценный продукт – термококс.

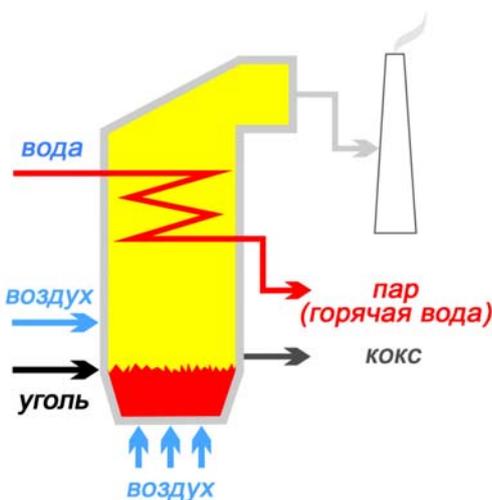


Рис. 2. Схема процесса карбонизации угля в псевдоожиженном слое «ТЕРМОКОКС-КС»

Последнее условие качественным образом изменяет экономические показатели энерготехнологического производства на базе угольной котельной или ТЭЦ. При этом технология не накладывает специальных ограничений на влажность и зольность исходного угля. В кипящем слое одновременно с термической переработкой угля осуществляется сепарация пустой породы, что обеспечивает возможность получения твёрдого топлива с теплотой сгорания значительно более 6000 ккал/кг. Поэтому для целого ряда углей процесс «ТЕРМОКОКС-КС» можно рассматривать как новый способ гравитационно-термического обогащения.

К настоящему времени эта технология прошла стадию опытно-промышленной апробации. Первый энерготехнологический котёл успешно эксплуатируется на разрезе «Берёзовский-1» (ОАО «СУЭК-Красноярск») с 2007 года. Он сохранил паспортную производительность по тепловой энергии (горячей воде) и дополнительно производит около 2,5 т/ч среднетемпературного кокса из угля марки 2Б Берёзовского разреза, который после брикетирования поставляется на металлургические предприятия в качестве заменителя классического кокса. В частности, к настоящему времени выполнена серия успешных промышленных тестов по использованию брикетированного термококса на ферросплавных предприятиях Урала. Этот продукт обладает рядом исключительно выгодных

свойств для электротермической металлургии – высокая реакционная способность и высокое электрическое сопротивление, кратно превосходящие по величине аналогичные показатели классического кокса.

Мелкозернистый буроугольный кокс прошел успешное тестирование как углеродный восстановитель в технологии прямого восстановления железа iTmk3 японской фирмы Kobe Steel.

В ближайшее время будет завершена модификация двух котлов БКЗ-75 по технологии «ТЕРМОКОКС-КС» на ТЭЦ-2 г. Улан-Батора (Монголия) и строительство брикетного комплекса по производству 210 тыс. т/год бездымного бытового топлива.

В заключение необходимо затронуть проблемы, препятствующие более активному внедрению эффективных процессов серии ТЕРМОКОКС. Отчасти они обусловлены повторяющимися кризисными явлениями в экономике. Одной из главных причин является низкая инвестиционная активность по отношению к инновационным технологиям в базовых отраслях промышленности. Отрицательную роль играет сложившаяся тарифная политика в области производства тепловой и электрической энергии, которая, по сути, противодействует снижению себестоимости энергетических продуктов и, в первую очередь, в жилищно-коммунальном секторе. Ежегодный прирост тарифов в разных регионах составляет 15-25%. В сложившихся экономических условиях производители по естественным соображениям просто отторгают новые технологии, направленные на производство дешевых энергетических продуктов.

## Литература

1. Исламов, С.Р. Энерготехнологическая переработка угля / С.Р. Исламов // Красноярск: «Поликор», 2010. – 224 с.
2. Евразийский патент 007798. МПК С10В 49/10 Способ слоевой газификации угля / С.Р. Исламов, С.Г. Степанов, А.Б. Морозов (РФ). – № 200801920; Заявлено 25.10.2005; Оpubл. 27.02.2007, Бюл. ЕАПО 1.
3. Евразийский патент 008111 МПК С10В 47/04, С10В 53/08, С10J 3/20 Устройство для переработки твердого топлива / С.Р. Исламов, С.Г. Степанов, А.Б. Морозов (РФ). – № 200501921; Заявлено 25.10.2005; Оpubл. 27.04.2007, Бюл. ЕАПО 2.
4. Исламов, С.Р. О новой концепции использования угля / С.Р. Исламов // Уголь. – 2007. – № 5. – С. 67–69.
5. Пат. 2345116 РФ. МПК С10В 57/00, С10J 3.02 Способ получения кокса и синтезгаза при переработке угля / С.Р. Исламов, С.Г. Степанов, И.О. Михалев (РФ). – № 2007131530; Заявлено 21.08.2007; Оpubл. 27.01.2009, Бюл. 3.
6. Пат. 2359006 РФ. МПК С10В 49/10 Способ переработки угля / С.Р. Исламов, С.Г. Степанов (РФ). – № 2008117266; Заявлено 05.05.2008; Оpubл. 20.06.2009, Бюл. 17.
7. Евразийский патент 007801. МПК С10В 49/10 Способ получения металлургического среднетемпературного кокса / С.Р. Исламов, С.Г. Степанов (РФ). – № 200801917; Заявлено 25.10.2005; Оpubл. 27.02.2007; Бюл. ЕАПО 1.