

Полукоксование низкозольного коксующегося угля и специальные минеральные добавки, применяемые непосредственно на углеобогащительной фабрике для повышения качества кокса

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-92-97>



КОЗЛОВ Вадим Анатольевич
Канд. техн. наук, доцент,
главный технолог компании
«Коралайна Инжиниринг»,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: vak@coralina.ru



ГАРБЕР Владимир
Доктор техн. наук,
директор компании
FTT-Ing.-Büro Feuerungs
und Trocknungstechnologien
(технологии горения и сушки),
г. Дюссельдорф, Германия,
e-mail: dr.w.garber@gmx.de

В связи с дефицитом коксующихся углей в Российской Федерации планируется вовлекать в разработку труднодоступные в транспортном отношении месторождения угля. Исследования качественных характеристик коксующегося угля спекающих марок на некоторых новых крупных месторождениях выявили существенное ограничение их доли участия в шихте для коксования. Эти ограничения связаны с химическим составом и степенью метаморфизма угольного вещества. С одной стороны, имеются запасы таких коксующихся углей, исчисляемые миллиардами тонн, с другой стороны, имеются значительные ограничения в доли их использования в процессе коксования.

Проектно-конструкторская компания «Коралайна Инжиниринг» (Россия) со своим партнером – компанией Ing. Büro FTT (Германия) разработали способы физико-химического и термического преобразования концентратов из таких

углей с целью улучшения качества и увеличения объема сбыта продукции углеобогащительных фабрик. Способ физико-химического изменения состава угля основан на присоединении к низкозольному концентрату специальных минеральных добавок. Термический способ предполагает процесс полукоксования, в результате которого снижается содержание летучих веществ в угле до требуемых значений. Смесь концентрата спекающегося угля с полукоксом из этого же угля значительно улучшит такие показатели, как CRI и CSR в коксе, получаемом на коксохимических заводах. Это увеличит долю компонента в шихте для коксования и выпуск продукции углеобогащительной фабрикой, что особенно актуально для переработки углей с первоначально неблагоприятными физико-химическими характеристиками.

Ключевые слова: обогащение угля, стадия метаморфизма угля, коксующесть угля, шихта для коксования, полукоксы, зольность, выход летучих веществ, влага, сушка кипящего слоя

ВВЕДЕНИЕ

Определяющим условием для получения качественного кокса является подбор компонентов угольной шихты перед коксованием. Шихта составляется из углей различных марок, доля которых и определяет их востребованность на рынке кокса. В работе [1] предлагается при подготовке шихты пользоваться комплексными показателями ценности углей, входящих в шихту. Показатели технологической ценности углей рассчитываются на основе прочности кокса M_{25} , M_{40} и M_{10} [2], реакционной способности кокса CRI и прочности кокса после его реакции с двуокисью углерода CSR [3, 4]. Учитываются также петрографические характеристики углей: показатель отражения витринита $R_{o,r}$, содержание спекающих компонентов СК, выход летучих веществ V^{daf} , толщина пластического слоя u , зольность шихты A_{sh}^d и химический состав золы. По химическому составу золы вычисляется основность золы I_o как отношение содержаний основных и кислых оксидов в золе шихты. Основность золы тесно связана с показателями CRI и CSR.

Технологическая ценность углей определяется отклонениями их характеристик от значения показателя эталонной шихты. Например, эталонная шихта из углей Куз-

нецкого бассейна будет следующего состава по маркам [1]: Ж – 30%, ГЖ – 9%, К – 18%, КО – 17% и КС – 26%. Эта шихта имеет значения: $R_{or} = 1,158$; $S_R = 0,192\%$; $V_t = 66\%$; $V^{daf} = 26,5\%$; $y = 18$ мм и др.

Из базовой эталонной шихты получают в узкокамерных печах при периоде коксования 17 часов кокс с показателями $M_{25} > 89$; $M_{10} < 7,5$; $CSR > 60$ и $CRI < 30$, при мокром тушении кокса. При этом итоговые значения показателей CSR и CRI кокса имеют большое влияние на уровень закупочной цены угольных концентратов, являющихся компонентами этой шихты.

Во многих исследовательских работах отмечается, что показатели CRI и CSR сильно зависят от величины «индекса основности», расчет которого индийская фирма Tata Steel предлагает производить по следующей формуле [5, 6]:

$$I_o = 100 \cdot A_{ш}^d \cdot I_o / (100 - V^{daf}) = A_{к}^d \cdot I_o, \% \quad (1)$$

где: $A_{к}^d$ – приведенная зольность кокса; I_o – основность золы.

Для получения качественного кокса с $CSR > 65\%$ необходимо чтобы шихта имела индекс основности $I_o < 2,5\%$ ($I_o = 0,115$).

В работе [7] приводится удельный вес основных марок углей в структуре шихты, используемой при производстве кокса на коксохимических заводах России (см. таблицу).

В последние годы в коксохимической отрасли наблюдается дефицит углей спекающихся марок ГЖ, Ж, КЖ. В связи с этим проводятся исследования по их замене в шихте, например на нефтяные спекающие добавки типа гудрона. Но вовлечение в разработку новых месторождений коксующегося угля в Республике Тыва и в других районах РФ позволит восполнить недостаток спекающих компонентов шихты для коксования.

Оказалось, что угли некоторых участков новых месторождений, например Каа-Хемского и Межгегейского, находящихся в Республике Тыва, обладают неблагоприятным химическим составом золы и повышенным выходом летучих веществ. В работе [1] указывается, что для угля Каа-Хемского месторождения марок ГЖ и Ж основность золы $I_o = 0,944$, что значительно снижает ценность этого угля. Это значение в 8 раз превышает показатели для угля марок ГЖ и Ж, добываемых на шахтах «Распадская», «Осинниковская», «Полосухинская», «Абашевская», «Воркутинская», так как для эталонной шихты $I_o = 0,115$.

Так, для угля Каа-Хемского месторождения $CRI = 44,4\%$ и $CSR = 32,3\%$, что существенно хуже показателей эталонной шихты, для которой, как приводилось выше, $CRI < 30\%$ и $CSR > 60\%$.

Основные марки углей в структуре шихты, используемой при производстве кокса на коксохимических заводах России

| Коксохимическое предприятие | Доля марок угля в шихте, % | | | |
|-----------------------------|----------------------------|-------|----|----|
| | К, КС | Ж, ГЖ | СС | Г |
| Новолипецкий КХЗ | 21 | 34 | 15 | - |
| Кемеровский КХЗ | 42 | 25 | - | 17 |
| Алтайский КХЗ | 28 | 14 | - | 38 |
| Магнитогорский МК | 18 | 55 | 10 | - |
| Нижнетагильский МК | 18 | 52 | 22 | - |
| Челябинский МК | 43 | 23 | 17 | - |

Пробные коксования с участием спекающихся марок Каа-Хемского угля показали, что его использование в шихте не должно превышать 10%, чтобы существенно не ухудшить показатели кокса.

В аналитическом обзоре [8] работы угольной промышленности России за 2017 г. говорится, что в 2017 г. в России было обогащено 91,8 млн т коксующихся углей. Прогнозируется рост добычи и обогащения коксующихся углей в 2020 г. до 110 млн т, в 2025 г. – до 120 млн т, в 2030 г. – до 125 млн т. Выпуск концентрата коксующихся марок составил в 2017 г. 58,4 млн т. Из этого количества на коксохимические заводы России было поставлено 31,8 млн т. Учитывая долю спекающихся марок угля в шихте на уровне 30-50%, предполагаем, что потребность в 2018-2019 гг. в этих марках для коксохимических предприятий России составит 10-15 млн т.

Но упомянутые выше ограничения в доле участия в шихте для коксования угля Каа-Хемского месторождения предполагают объем реализации концентрата из этого угля на российском рынке на уровне не более 1,5 млн т в год и с сомнительными перспективами реализации на международном рынке. Запасы угля на этом месторождении исчисляются десятками млрд т, что обосновывает поиск способов «преобразования» этого угля в продукт более высокого качества. Технологические линии «преобразования» угля экономически целесообразно устанавливать на вновь строящихся горно-обогатительных предприятиях, чтобы снизить транспортные затраты на перевозку угля и увеличить прибавленную стоимость продукции углеобогатительных фабрик.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Учитывая вышесказанное, выбраны следующие три направления повышения качества коксующихся углей, аналогичных углям Каа-Хемского месторождения, на стадии проекта углеобогатительных фабрик, это:

1. Обогащение рядового угля до возможно низкой зольности концентрата, для чего в схемах обогатительных фабрик применять технологические процессы, позволяющие разделять уголь по возможно низкой плотности;
2. При поступлении на склад готовой продукции присадка к низкозольному концентрату специальных минеральных добавок [9], меняющих химический состав угля;
3. Полукоксование низкозольного концентрата, как вариант, в установках кипящего слоя с целью снижения летучих веществ.

Первое направление предполагает применение наиболее эффективного процесса обогащения на сегодняшний момент – тяжелосредного обогащения для крупного и мелкого угля в магнетитовой суспензии. На практике представляется возможным обеспечить работу обогатительных аппаратов на низкой плотности 1300-1350 кг/м³ с обеспечением условий стабилизации суспензии и полной автоматизации процесса поддержания ее плотности.

Второе направление предполагает техническое обеспечение присоединения к низкозольному концентрату коксующегося угля специальных минеральных добавок перед укладкой его на склад.

Третье направление предполагает вместо процесса сушки угля до равновесной влаги провести процесс полукок-

сования низкозольного концентрата с целью удаления из него влаги и летучих веществ. Процесс полукоксования предлагаем осуществлять в установках кипящего слоя.

Если первые два направления в практическом применении углеобогатителям, в общем, понятны, то на третьем направлении, относящемся к смежному коксохимическому производству, остановимся более подробно.

Полукоксование угля – это способ физико-химического изменения угля нагреванием до 500-550°C без доступа воздуха. Результатом этого процесса является: полукокк с выходом 50-70% от массы исходного топлива, первичная смола – 5-25%, горючий газ и подсмольная вода.

Получать полукокк можно непосредственно на углеобогатительных фабриках в сушильно-топочных отделениях при сушке угля на стандартных сушильных агрегатах. Производство полукоккса обеспечивает значительное расширение ассортимента товарной продукции углеобогатительным фабрикам с повышенными потребительскими характеристиками и стоимостью.

При получении полукоккса используется технология «кооперации ресурсов» (рис. 1), в которой имеются все преимущества двойного использования продуктов и оборудования УОФ и ТЭС, без дополнительного строительства.

Ресурс-1. Летучие компоненты, удаляемые из угля, сжигаются как газовое топливо в генераторах горячих газов для сушки угля и установках полукоксования, а также в камерах сгорания котельных установок как основное топливо.

Ресурс-2. Для очистки отходящих газов при получении полукоккса используется существующее оборудование тех-

нологических линий сушки угля или оборудование котельного агрегата.

Ресурс-3. При получении полукоккса в топке кипящего слоя котельного агрегата раскаленный полукокк передает свое тепло для нагрева воды или воздуха и производит подсушку влажного угля, который в то же время охлаждает полукокк при транспортировке на склад товарной продукции.

Технологии кооперации ресурсов реализуются с минимальными капиталовложениями на любой углеобогатительной фабрике (УОФ), тепловой электрической станции (ТЭС), в котельной, в угольных или мазутных котлах металлургических предприятий.

ТЕХНОЛОГИЯ КИПЯЩЕГО СЛОЯ НА БАЗЕ КОТЛОВ

Топки кипящего слоя энерготехнологических котлов можно использовать для получения полукоккса, который выводится из слоя через шлюз. Выделившиеся из угля летучие вещества, сжигаются как газовое топливо котла. В кипящем слое проходит интенсивный процесс теплообмена твердых частиц размером 5-30 мм, продуваемых снизу воздухом через сопла. В кипящем слое обеспечивается передача тепла в пять раз более интенсивно, чем конвекцией между горячими газами и твердыми частицами угля в движущемся неразрыхленном слое. Постоянное движение частиц угля в кипящем слое препятствует их спеканию между собой, исключается образование крупных спеков полукоккса.

При получении полукоккса, для подачи кускового угля в кипящий слой используют стандартное оборудование:

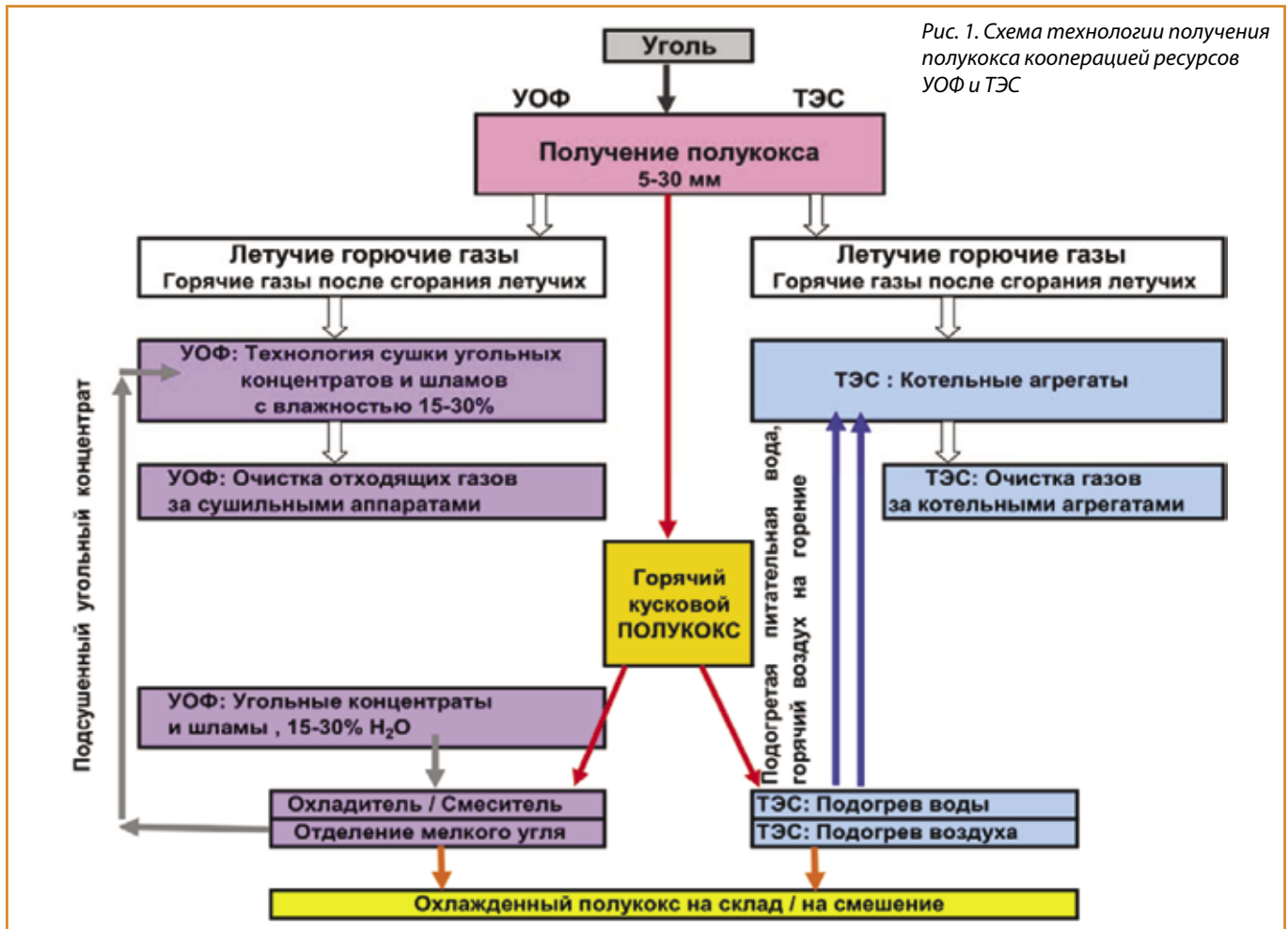


Рис. 1. Схема технологии получения полукоккса кооперацией ресурсов УОФ и ТЭС

забрасыватели, течи, шнеки и др. Основной элемент аппаратов кипящего слоя – подовая решетка с соплами, через которые снизу подается воздух. Старт топки кипящего слоя начинается с разогрева до 450-550°C инертного наполнителя – шлака или песка на решетке. Разогрев выполняется подачей снизу газов от стартовой камеры сгорания, на которой установлена стартовая горелка. После разогрева инертного наполнителя на него сверху подают первые порции топлива. Операция старта из холодного состояния занимает от 20 до 40 минут.

Общее время нахождения частиц угля в кипящем слое и камере сгорания может регулироваться в широком диапазоне в зависимости от требуемых характеристик полукокса. Это обеспечивает возможность получать полукоксы с различным остаточным содержанием летучих веществ, позволяет регулировать степень выгорания жидкой и летучей органики в исходных углях. Полукоксы удаляют вниз под решетку кипящего слоя через водоохлаждаемые шлюзы и водоохлаждаемую арматуру на охлаждающий конвейер или в смесительные устройства, где полукоксы смешиваются с влажным углем.

Кипящий слой используется также для удаления из угля серы. Добавление в кипящий слой молотого известняка позволяет связать серу и вывести часть ее из процесса в виде гипса в составе сухой золы.

Предлагаемая технология получения полукокса удовлетворяет самым высоким требованиям по защите окружающей среды, так как двухступенчатое сжигание летучих компонентов угля и смол обеспечивает низкое содержание окислов азота в отходящих газах.

Положительные моменты получения полукокса в кипящем слое топки энерготехнологического котла:

- потери с механическим недожогом не превышают 1,5%;
- расширяется предел регулирования температуры перегретого пара;
- расширяется диапазон регулирования – 30-100%;
- снижение в 2 раза, относительно слоевых и факельных топок, выбросов оксидов азота, когда за счет двухстадийного горения и низких температур слоя во всем регулируемом диапазоне нагрузок, при любых избытках воздуха в топке максимальная концентрация NOx не превышает 200 мг/м³;
- исключены значительные потери с химическим недожогом, концентрация окиси углерода за счет дожигания не превышает 100 ppm;
- часть используемого тепла будет отбираться через трубные экраны, расположенные в кипящем слое, где теплообмен, по меньшей мере, в пять раз интенсивнее, чем на поверхностях нагрева, контактирующих с газами.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУКОКСА В ГЕНЕРАТОРАХ ГОРЯЧИХ ГАЗОВ С ТОПКОЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

В технологии кипящего слоя используются генераторы горячих газов, работающие на угле (рис. 2). Генераторы горячих газов с температурами 500-1000°C при сжигании угля в топках кипящего слоя и сухим удалением 60-80% золы под решетку предназначены для цеха сушки углебогатительных фабрик (рис. 3). Такие газогенераторы позволяют не только сжигать низкокачественные угли и высокозольные отходы [10], но могут также использоваться при получении полукокса.

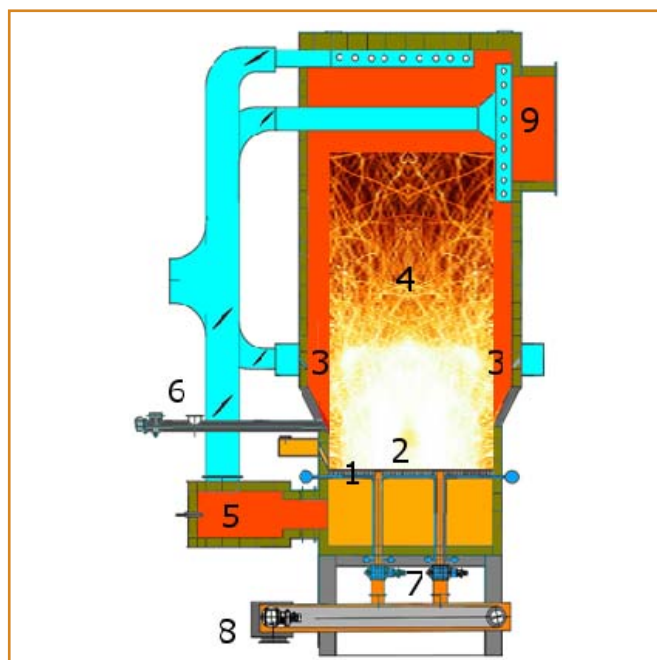


Рис. 2. Генератор горячих газов 30 МВт с топкой кипящего слоя для получения полукокса: 1 – воздушно-распределительная решетка; 2 – зона кипящего слоя; 3 – сопла подачи воздуха на дожигание; 4 – зона дожигания летучих веществ; 5 – стартовая камера сгорания; 6 – подача сырьевого угля; 7 – охлаждающие каналы выпуска полукокса; 8 – транспортер выгрузки полукокса; 9 – канал выхода горячих газов с регулируемой температурой

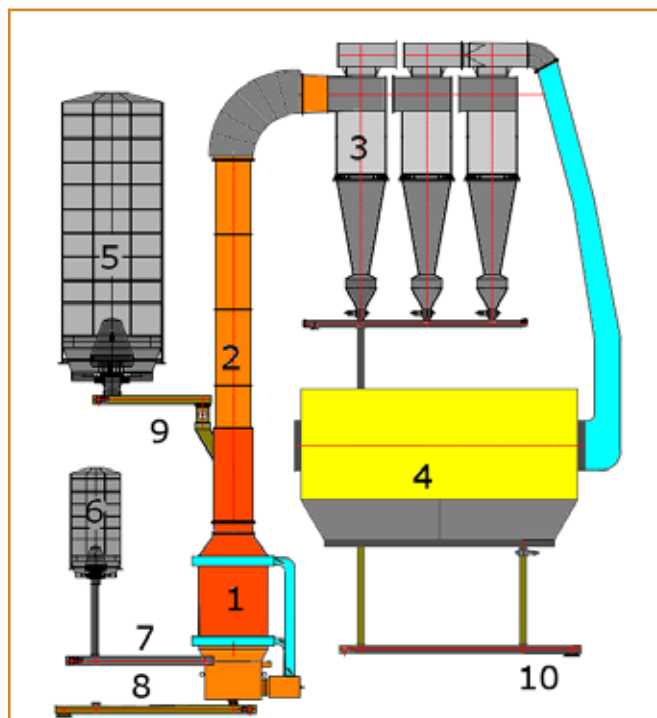


Рис. 3. Генератор горячих газов с топкой кипящего слоя для сушильной линии: 1 – генератор горячих газов; 2 – труба-сушилка; 3 – циклоны; 4 – рукавный фильтр; 5 – бункер влажного мелкого угля (шлама, концентрата); 6 – бункер кускового угля; 7 – подача угля в КС; 8 – выгрузка полукокса. 9 – подача угольного шлама на сушку; 10 – выгрузка угольного шлама после сушки материала

Использование генераторов горячих газов для получения полукокса повторяет работу топки котла с кипящим слоем. Полукокс после удаления летучих веществ выводится из кипящего слоя через шлюз. Горячие газы от сжигания летучих и смол направляются в сушильный аппарат, отходящие газы очищаются в газоочистке сушильной линии.

Комбинация сушки с получением полукокса обеспечивает чистые горячие газы, которые вносят минимальное количество золы в подсушиваемый продукт, аналогично сжиганию природного газа. Минеральные компоненты угля остаются в полукоксе, не превращаясь в летучую золу. В режиме возгонки и выжигания летучих веществ из угля генераторы, кроме горячих газов, производят нужный в металлургии полукокс при минимальном попадании золы в продукты сушки или гранулирования. Это позволяет использовать уголь в чистых технологиях, где попадание золы в продукты нежелательно.

В настоящее время полукокс применяется в следующих производствах:

- при получении ферросплавов с улучшением технических и экономических показателей;
- при подготовке шихты для коксования в количестве 20-30%, замещая тощие угли, обеспечивая получение кокса с повышенными показателями качества;
- при изготовлении коксобрикетов, полукокс как основной наполнитель;
- при вдувании в доменные печи пылеугольного топлива (ПУТ).

В технологии получения полукокса в кипящем слое раздельное выделение жидких и газообразных продуктов термического разложения не осуществляется, они сжигаются непосредственно в топке кипящего слоя. Это обеспечивает минимальные инвестиции и максимальную простоту процесса по сравнению с другими способами полукоксования с переработкой газов и смол в химическую продукцию высокой товарной стоимости, представляющими собой сложные химические производства.

Смесь угольного концентрата спекающихся марок с полукоksom будет иметь более высокую стоимость на рынке, на 30-50 дол. США за 1 т выше, чем стоимость низкосольного концентрата коксующегося угля, а для качественного полукокса цена будет больше на 50-150 дол. США за 1 т. Полукокс может заменить коксовый орешек ценой 230 дол. США за 1 т, крупнокусовой полукокс заменяет литейный кокс ценой 430-450 дол. США за 1 т, а пылеугольное топливо (ПУТ) из полукокса при вдувании в доменные печи заменяет в шихте более 15% доменного кокса ценой 350-400 дол. США за 1 т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получение полукокса является первым шагом к технологиям глубокой термической переработки углей в химические продукты высокой стоимости с устойчиво растущим спросом. Термическое разделение угля на твердый полукоксостаток и горючие летучие газы для сжигания или дальнейшей комплексной переработки является процессом с хорошими экономическими показателями и окупаемостью инвестиций за 2-2,5 года.

2. Предлагаемая технология кооперации ресурсов обеспечивает возможность постепенного наращивания про-

изводства полукокса, начиная с малых объемов, без значительных инвестиций. Технология кипящего слоя является одним из вариантов реализации экономичного производства полукокса.

3. Для самих углеобогатительных фабрик и ГОКов это обеспечит:

- повышение суммарной стоимости товарной продукции УОФ до 2 раз;
- сокращение транспортных расходов вследствие усадки угля при полукоксовании и снижение массы транспортируемой влаги;
- обеспечение стабильного качества продукции по влаге, зольности, содержанию серы, калорийности, а в случае коксующихся углей – также по основным показателям качества кокса;
- повышение объема сбыта продукции УОФ вследствие повышенной калорийности и стабильных показателей качества коксующихся углей;
- получение до 50% готовой шихты для коксования от одного поставщика, использующего смеси коксующихся углей спекающихся марок с полукоksom. Например, для угля Каа-Хемского месторождения предлагаемая технология позволит увеличить потенциал сбыта продукции для производства кокса до 15 млн т в год.

Список литературы

1. Станкевич А.С., Золотухин Ю.А. Комплексный показатель характеристики технологической ценности углей и концентратов углеобогатительных фабрик // Черная металлургия. 2015. № 9. С. 15-25.
2. ГОСТ 5953-93 (ИСО 556:1980). Кокс с размером кусков 20 мм и более. Определение механической прочности. М.: ИПК изд-во стандартов, 1996.
3. ГОСТ Р 54250-2010 (ИСО 18894:2006). Кокс. Определение реакционной способности кокса (CRI) и прочности кокса после реакции (CSR). М.: Стандартинформ, 2011.
4. ГОСТ 32248-2013. Кокс каменноугольный с размером кусков 20 мм и более. Определение прочности после реакции с двуокисью углерода. М.: Стандартинформ, 2014.
5. Prasad H.N., Singh B.K., Chattejee A. Production of High CSR Coke by Stamp Charging-Possibilities and limitation // Cokemaking International. 1999. N 2. Pp. 50-59.
6. Улановский М.Л., Лихенко А.Н. Изменение минерального состава углей при обогащении и коксовании // Кокс и химия. 2009. № 6. С. 13-20.
7. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / Под общей ред. В.М. Щадова. Сост. Г.С. Головин, А.С. Малолетнев. М.: НТК «Трек», 2007. С. 292.
8. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. URL: <http://www.ugolinfo.ru/bgdev/Jour/032018.pdf> (дата обращения: 15.11.2018).
9. Патент РФ № 2530109. Способ подготовки угля, в том числе высокосернистого, к коксованию. Авт. Козлов В.А., Новак В.И. 2013.
10. Гарбер В., Козлов В.А. Сжигание высокосольных шламов как путь к безотходной технологии обогащения углей // Уголь. 2017. № 8. С.140-145. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (дата обращения 15.11.2018).

UDC 622.7:622.794.42:622.742 © V.A. Kozlov, W. Garber, 2018
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, № 12, pp. 92-97

Title
SEMI-COKING OF LOW-ASH COKING COAL AND THE SPECIAL ASH ADDITIVES USED DIRECTLY AT THE COAL PREPARATION PLANT TO IMPROVE THE QUALITY OF COKE

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-92-97>

Authors

Kozlov V.A.¹, Garber W.²

¹ "Coraline Engineering" LLC, Moscow, 105005, Russian Federation

² FTT-Ing.-Büro Feuerungs- und Trocknungstechnologien (Combustion and Drying Technologies), Düsseldorf, Germany

Authors' Information

Kozlov V.A., PhD (Engineering), Associate Professor, Chief Technologist Coal Department, e-mail: vak@coralina.ru

Garber W., Doctor of Engineering Sciences, Managing Director, e-mail: dr.w.garber@gmx.de

Abstract

In connection with the deficit of coking coals in the Russian Federation, it is planned to involve hard-to-reach coal deposits in the development. Investigations of qualitative characteristics of coking coal of sintering grades in some new large deposits have revealed a significant limitation of their share in the coal blend for coking. These limitations are related to the chemical composition and degree of metamorphism of coal matter. On the one hand, there are reserves of such coking coals, estimated in billions of tons, but on the other hand there are significant limitations in the share of their use in the coking process. The design and engineering company "Coraline Engineering" (Russia) together with its partner Ing. Büro FTT (Germany) have developed methods for physicochemical and thermal conversion of concentrates from such coals in order to improve the quality and increase the sales volume of the products of coal preparation plants. The method of physicochemical changes in the composition of coal is based on the addition of special mineral additives to the low-ash concentrate. The thermal method involves a semi-coking process, which reduces the content of volatiles in coal to the required values. A mixture of sintered clean coal with semi-coke from the same coal will significantly improve CRI and CSR factors in coke produced at coke plants. This will increase the share of components in the coal blend for coking and CPP output, which is of great importance when preparing coal with initially unfavorable physicochemical characteristics.

Keywords

Coal preparation, Coal metamorphism rang, Coal coking ability, Coal Blend, Semi-coke, Ash content, Volatile matter yield, Moisture, Fluidized bed drying.

References

1. Stankevich A.S. & Zolotukhin Yu.A. Kompleksnyj pokazatel' kharakteristiki tekhnologicheskoy tsennosti uglej i kontsentratov ugleobogatitel'nykh fabrik

[Complex indicator of the technological value of coal and clean coal of coal preparation plants]. *Chernaya metallurgiya – Ferrous Metallurgy*, 2015, No. 9, pp. 15-25.

2. GOST 5953-93 (ISO 556: 1980). Coke from the sizes of pieces of 20 mm and more. Determination of mechanical strength. Moscow, IPK Ed. Standards Publ., 1996.

3. GOST R 54250-2010 (ISO 18894: 2006). Coke. Determination of the reactivity of coke (CRI) and coke strength after the reaction (CSR). Moscow, Standartinform Publ., 2011.

4. GOST 32248-2013. Coal coke with the size of pieces of 20 mm and more. Determination of strength after reaction with carbon dioxide. Moscow, Standartinform Publ., 2014.

5. Prasad H.N., Singh B.K. & Chattejee A. Production of High CSR Coke by Stamp Charging-Possibilities and limitation. *Cokemaking International*, 1999, No. 2, pp. 50-59.

6. Ulanovskiy M.L. & Likhenko A.N. Izmenenie mineral'nogo sostava uglej pri obogashhenii i koksovaniy [Change in the mineral composition of coals during enrichment and coking]. *Koks i khimiya – Coke and Chemistry*, 2009, No. 6, pp. 13-20.

7. *Kompleksnaya pererabotka uglej i povyshenie ehffektivnosti ikh ispol'zovaniya*. Katalog-spravochnik [Complex processing of coals and increasing the efficiency of their use. Manual]. Under the general ed. V.M. Shchadov. Comp. G.S. Golovin, A.S. Maloletnev. Moscow, NTK "Track" Publ., 2007, p. 292.

8. Tarazanov I.G. Itogy raboty ugol'noy promishlennosti Rossii za yanvar – dekabr 2017 [Russia's coal industry performance for January – December 2017]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 3, pp. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/bgdev/Jour/032018.pdf> (accessed 15.11.2018).

9. Patent of the Russian Federation No. 2530109. The method of preparing coal, including high-sulfur, for coking. Authors: Kozlov V.A., Novak V.I., 2013.

10. Garber W. & Kozlov V.A. Szhiganie vysokozol'nykh shlamov kak put' k bezotkhodnoj tekhnologii obogashheniya uglej [Burning of high ash sludge as a way to waste-free technology of coal preparation]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 8, pp. 140-145. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (accessed 15.11.2018).