

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗИФИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНОГО БАЛАНСА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

### **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы применения технологий газификации угля для решения проблем энерго- и ресурсосбережения, оптимизации топливного баланса металлургических предприятий с возможностью замены дорогостоящих высококачественных топлив на низкосортные угли. Проанализированы различные технологии газификации, влияние режимных параметров, состава и расхода газифицирующих агентов на характеристики получаемого синтез-газа и возможность использования его в технологических процессах. Отмечено, что при оценке экономической эффективности производства синтез-газа необходимо учитывать не только его характеристики и затраты на производство газа, но и количество выработанной энергии, а также ценность получаемых побочных продуктов (сера, зола и др.). На основании проведенного анализа с учетом экологических параметров сделан вывод о целесообразности применения высокотемпературных процессов поточной газификации угля.*

*Ключевые слова: технологии газификации, синтез-газ, теплота сгорания, экологические характеристики*

### **Abstract**

*Application questions of coal gasification technologies for the solution of energy and resource saving problems, optimization of fuel balance of the metallurgical enterprises with a possibility of replacement of expensive high-quality fuels by low-grade coals are considered. Various technologies of gasification, influence of regime parameters, the structure and an expense of the gasification agents on syngas characteristics and a possibility of its application in technological processes are analyzed. It is noted that for economic efficiency assessment of syngas production it is necessary to consider not only its characteristics and costs of gas production, but also amount of the developed energy, and also value of the received by-products (sulfur, ashes, etc.). On the basis of the carried-out analysis with taking into account ecological parameters the conclusion is drawn about expediency of application of high-temperature processes of the entrained-flow coal gasification.*

*Keywords: gasification technologies, syngas, heat value, ecological characteristics*

Проблемы эффективного использования органического топлива являются актуальными для любой отрасли. Выбор перспективной технологии конверсии топлива позволяет решить вопросы энерго- и ресурсосбережения, диверсификации топливных ресурсов.

Активное развитие современных производств на базе газификации угля относится к 1920-1940 гг., когда в Германии была начата масштабная программа углепереработки с производством моторных топлив, металлургического топлива, газов различного назначения и широкого спектра продуктов углехимии. В 70-х годах XX века первый нефтяной кризис вернул интерес мировой экономики к угольному топливу. Крупные энергомашиностроительные компании при поддержке правительств начали разработку технологий двойного назначения (энергетика и промышленность). Основными направлениями разработок стали:

1. Увеличение единичной производительности и энергетической эффективности реакторов за счет интенсификация тепломассообменных процессов.

2. Улучшение экологических характеристик.
3. Повышение гибкости и адаптивности к различным видам топлив.
4. Снижение удельных капитальных и эксплуатационных затрат.
5. Повышение эксплуатационной готовности и надежности, оснащение современными комплексами контроля и мониторинга.

В результате был создан ряд перспективных технологий [1; 2], отработанных на полномасштабных демонстрационных объектах, основными из которых являются:

– Процесс *Shell* высокотемпературной кислородной газификации пылевидного угля в восходящем потоке под давлением с жидким шлакоудалением – совместная разработка компании *Uhde* и *Shell*. Демонстрационная установка 7 т/ч создана в Гамбурге (Германия) в 80-х гг. Первая ПГУ с этим газификатором – ПГУ *Buggenum* (Нидерланды).

– Процесс *Siemens* (ранее *GSP*) – высокотемпературная кислородная газификация угольной пыли в нисходящем потоке под давлением для работы на топливах со сложной минеральной частью (засоленные угли). Первый поточный газификатор под маркой *Siemens* работает на ПГУ *Vresova* (Чехия) с 2007 г.

– Процесс *GE* (ранее – *Texaco*) кислородной газификации водоугольной суспензии под давлением в нисходящем потоке с жидким шлакоудалением и водяным охлаждением газа. Демонстрационная установка на ВУС производительностью 6 т/ч была создана в Германии в начале 80-х гг. XX века. ПГУ с газификаторами по технологии *Texaco GP* в США – *Cool Water* и *Polk*.

– Процесс *BGL* (*British Gas Lurgi*) слоевой высокотемпературной кислородной газификации под давлением с системой жидкого шлакоудаления в процессе *Lurgi*. В промышленном масштабе технология реализована на газогенераторе, эксплуатировавшемся на газовом заводе *Schwarze Pumpe* (Германия). Разрабатываются проекты с газификаторами *BGL* для США, Китая, Индии, Монголии.

– Процесс *HTW* (*High Temperature Winkler*) – низкотемпературная двухстадийная газификация кислородом и воздухом в циркулирующем кипящем слое под давлением (с рециркуляцией летучей золы и угольной пыли). Демонстрационная установка производительностью 33 т/ч эксплуатировалась на заводе в период с 1986 по 1997 гг. Коммерческая реализация планировалась в проекте *KoBRA* (Германия), который не был осуществлен.

Одним из важных преимуществ технологий газификации угля является существенное снижение экологической нагрузки на окружающую среду и перспективность с точки зрения улавливания  $CO_2$ .

Применение газификационных технологий в металлургии позволяет использовать низкосортное топливо. При этом в собственно металлургическом процессе используется полученный в результате газификации угля синтез-газ, обладающий большей технологической универсальностью и эффективностью использования по сравнению с углем.

Технологии металлургического производства определяют минимальную теплоту сгорания синтез-газа не ниже 9–10 МДж/м<sup>3</sup>. Соответственно более экономичные по капзатратам варианты воздушной и паровоздушной газификации (~ на 15% ниже, чем при кислородном дутье), не позволяющие получить газ с такой теплотой сгорания, не могут быть применены, и необходимо использовать кислородную газификацию.

Для получения синтез-газа необходимого состава (с учетом восстановительных и окислительных компонентов в газе), важное значение имеет выбор и управление режимными параметрами процесса газификации. При использовании углей с высокой зольностью целесообразно использовать газогенераторы с жидким шлакоудалением (ЖШУ), что требует поддержания в реакторе температуры выше температуры плавления золы (1400-1600°C). Для управления составом получаемого синтез-газа необходимо оптимизировать расход кислорода и пара.

Для сравнения основных характеристик рассмотрим типичные основные технологии газификации твердых топлив (табл. 1).

Как видно из приведенных в таблице данных, с экологической точки зрения преимуществом обладают высокотемпературные процессы поточной газификации угля, так как в

этом случае в получаемом синтез-газе практически отсутствуют смолы и фенолы, индикатором наличия которых является присутствие метана  $CH_4$  в составе синтез-газа. Утилизация же подсмольных вод представляет серьезную экологическую проблему [3].

Таблица 1

Характеристики технологий газификации

Характеристики	<i>Shell</i>	<i>Siemens</i>	<i>GE</i>	<i>BGL</i>	<i>HTW</i>
Тип	поточный	поточный	поточный	плотный слой	кипящий слой
Топливоподача	сухая	сухая	водоугольная смесь	сухая	сухая
Температура, °С	1500-1600	1600-1800	1300-1400	1600-2000	800-1000
Давление, МПа	4,0	4,0	4,1	2,5	1,0
Состав газа, % об.					
$N_2$	4,2	3,5	1,3	2,8	7,3
$H_2$	28,8	27	36,1	29	31,5
$CO$	63,8	64	48,3	54,6	42,2
$CO_2$	2	2	12,9	2,4	13,6
$H_2O$	2	2	0,2	3,2	-
$CH_4$	0	0	0	7,1	5,4
$H_2S$ (ppm)	6	1	4	14	65
$SO_2$ (ppm)	0	0	0	0	0
Теплота сгорания синтез-газа, МДж/м <sup>3</sup>	10,9	11,0	9,1	12,1	8,6
Тип шлакоудаления	ЖШУ	ЖШУ	ЖШУ	ЖШУ	ТШУ
Кислород/уголь, м <sup>3</sup> /кг	0,7-0,8	0,7-0,8	0,85-0,95	0,45-0,55	0,45-0,48
Пар/уголь, кг/кг	0,02-0,15	0,15	-	0,3-0,4	0,55-0,58
Химический КПД, %	80-82	77-80	74-75	80	77-79

При оценке экономической эффективности производства синтез-газа необходимо учитывать не только его характеристики и затраты на производство газа, но и количество выработанной энергии, а также ценность побочных продуктов (сера, зола и др.). В процессе высокотемпературной газификации низкосортного угля образуется значительное количество расплавленной золы, являющейся, по сути, концентратом редких элементов (кремний, алюминий, цинк, германий, ванадий, свинец и т.д.). При этом концентрация этих элементов в шлаке в десятки раз превышает содержание их в исходном угле [4]. С учетом возможности использования такого концентрата эффективность комплекса по переработке угля может значительно повыситься.

**Список использованных источников**

1. В. Meyer. Development of synthesis fuels in Europe and South Africa// IEA-MOST Workshop «Advances in deployment of fossil fuel technologies», Beijing, June 24–25, 2014.
2. Материалы Четвертой Международной конференции по газификации. 3-6 мая 2010 г., Дрезден. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.gasification-freiberg.org](http://www.gasification-freiberg.org)
3. Технологии газификации в плотном слое; под ред. П.К.Сеначина. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 296 с.
4. Потапов Б.Б., Пинчук В.А., Порядин М.Б. Извлечение микроэлементов при высокотемпературной газификации углей // Металлургическая теплотехника: сборник научных

УДК 662.613.125

**К. А. Зельманчук, В. И. Матюхин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ МИНЕРАЛОВАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **Аннотация**

*Данная статья посвящена технологии утилизации твердых отходов минераловатного производства. Полученные углеродистые брикеты позволяют перерабатывать их в вагранке с большей эффективностью относительно цементных брикетов. Рассмотрена работа вагранки с применением брикетов.*

*Ключевые слова: брикеты, брикет, вагранка, минеральная вата, утилизация отходов, минераловатные отходы.*

### **Abstract**

*This article focuses on the development of technologies for utilization of mineral waste by briquetting. The resulting carbon briquettes can handle them in the cupola. Considered thermal performance cupola with bricks.*

*Keywords: briquettes, briquette, cupola, mineral wool, utilization waste, mineral waste.*

В условиях повышения требований в использовании и экономии энергетических ресурсов в сфере ЖКХ наблюдается увеличение объемов производства волокнистой изоляции на основе минерального сырья. На всех этапах его получения наблюдается образование твердых отходов, утилизация которых требует значительных усилий.

В исходном состоянии большая часть этих материалов отличается высокой пористостью (до 50–60%), неопределенностью формы кусков, плохой сыпучестью, повышенной упругостью при внешних механических усилиях. Состав исходного сырья представлен  $Al_2O_3$  – 9–13%,  $SiO_2$  – 40–50%,  $MgO$  – 12–15%,  $CaO$  – 18–23%,  $Fe_2O_3$  – 2–7%,  $R_2O$  – 4–6%.

Производимые промышленностью минераловатные брикеты на цементном связующем отличаются высокой температурой плавления, что требует увеличения энергозатрат на получение минерального расплава с ограничением прямого их использования в качестве компонента ваграночной плавки в количестве не более 10–15%. Для повышения эффективности их использования было предложено ввести в их состав некоторое количество твердого углерода с применением органического связующего.

Присутствие стадии упругопластической деформации при прессовании минераловатных отходов для получения брикетов требует их предварительного помола с применением шаровой мельницы, работа которой характеризуется удовлетворительной производительностью, простотой обслуживания, широкими возможностями относительно простого увеличения кратности помола за счет изменения времени осуществления процесса. При этом длительность помола не должна превышать 4–6 минут.

Возможность формирования требуемых механических и химических свойств брикетов, при введении в их состав дополнительных компонентов, при изготовлении открывает возможности для корректирования условий переплава минерального сырья в вагранках [1; 2].

Исследования закономерностей изменения газодинамики слоя минераловатной вагранки позволили ограничить размер производимых брикетов в пределах 40–50мм, а их ми-