

А.А. Лебедев, студент гр.5ВМ5А (ТПУ)  
Научный руководитель А.И. Артамонцев, к.т.н., доцент (ТПУ)  
г. Томск

## Снижение вредных выбросов при сжигании углей под действием низкотемпературной плазмы

Одной из основных проблем тепловых электростанций (ТЭС) является эффективное использование энергетических углей низкого качества. В последнее время ухудшение качества угля наблюдается во всем мире. В связи с этим ТЭС вынуждены использовать дополнительное высокореакционное топливо (мазут) для растопки котлов и подсветки пылеугольного факела. Практика совместного сжигания углей с мазутом не успевает за вечно растущими современными требованиями эффективности топливоиспользования и не обеспечивает требуемых эколого-экономических показателей ТЭС. К тому же при совместном сжигании мазута и угля возникает ряд технических, экономических и экологических вопросов, таких как сложности хранения и использования мазута в зимних условиях; возрастающий мехнедожог угля (10-15%); снижение КПД (брутто) (на 4-5%); повышается выход оксидов азота (на 40-50%) серы и пентаоксида ванадия [1]. Исходя из этого очевидна необходимость снижения потребления мазута на ТЭС, которого можно добиться внедрением плазменных технологий для безмазутного розжига котлов и подсветки пылеугольного факела.

Разработка плазменных технологий получила свое начало из-за особых свойств низкотемпературной плазмы, позволяющие получить в малом объеме большое количество энергии при высокой концентрации активных ионов, атомов, электронов, радикалов, положительно влияющих на скорость термохимической подготовки и сгорания угольной пыли [1].

Работа системы безмазутной растопки котла основана на нагреве и воспламенении угольной пыли низкотемпературной плазмой – нагретым ионизированным газом с температурой 3000-5000 °С. В основе технологии плазменного безмазутного розжига лежит плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию осуществляемая в муфелизированном участке пылепровода перед горелкой. Часть потока пылеугольной аэросмеси, поступающей в горелку, взаимодействуя с плазмой, воспламеняется, и, окисляясь в первичном воздухе, нагревает остальную аэросмесь до температуры выхода летучих. В результате в топку котла поступает топливная смесь (горючий газ + коксовый остаток) с температурой 1200 К и выше, горение которой продолжается при взаимодействии с кислородом вторичного воздуха без использования растопочного топлива (мазута).

Низкотемпературную плазму получают в генераторах плазмы – плазмотронах. Накопленный в различных странах (США, Канада, Австралия, Россия и др.) опыт использования плазмотронов, используемых для безмазутной растопки котлов, стабилизации горения пылеугольного факела и выхода жидкого шлака, подтвердили высокую энергетическую и эколого-экономическую эффективность плазменно-энергетических технологий, в основе которых лежит применение низкотемпературной плазмы для термохимической подготовки топлив (ТХПТ) [2].

Рассмотрим подробнее экологическую составляющую использования плазменных технологий для безмазутного разжига пылеугольных котлов и подсветки факела. Впервые в мире опыт промышленного испытания плазменной подсветки проведены Ф. Блекборном (США) на блоке мощностью 200 МВт [2]. С тех пор во всем мире началась активная разработка и испытания применения плазменных технологий для различных углей. Разрабатывались различные опытные стенды, позволяющие моделировать процессы использования данной системы для определения различных показателей, в том числе и экологические. В основном эти опыты показывали содержание оксидов азота и несгоревших угольных частиц в дымовых газах.

В случае ТХПТ из органической массы углей получают высокореакционный синтез газ ( $\text{CO}+\text{H}_2$ ), свободный от оксидов азота и серы, а из минеральной части углей извлекаются ценные компоненты, такие как кремний, ферросилиций и др. Учитывая тот факт, что растопка котлов основана на сокращении потребления мазута или его полного отсутствия данная технология также сокращает выбросы пентаоксида ванадия. Это позволяет значительно сократить вредные пылегазовые выбросы в атмосферу [2].

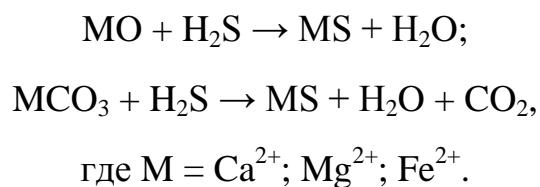
Плазменные технологии основаны на использовании углей, которые преимущественно содержат азот и серу в составе, в процессе их превращения происходит отделение функциональных групп, в которые входят азот и сера топлива. Которые в составе оксидов и загрязняют окружающую среду. Снижения вредных выбросов можно достигнуть различными путями: очисткой исходного сырья от вредных примесей, удалением оксидов серы и азота из газов и проведение процесса в условиях, когда вредные вещества образуются в меньшей степени. Третий путь решения проблемы сложен и требует глубокого понимания механизмов превращения сера- и азотсодержащих групп угля в различных процессах, таких как нагрева пылеугольной смеси низкотемпературной плазмой.

В угле сера содержится в виде пиритной серы ( $\text{FeS}_2$ ) и органической серы. Последняя содержится в количестве 30-50% от общей серы. При ТХПТ происходят сложные процессы разложения пирита и органических серосодержащих групп с выделением в основном сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) [2].

Распад чистого пирита активно идет при температуре выше 820 К, при этом образуется элементарная сера и сульфид железа. С большей скоростью пиритная сера реагирует с кислородом (при температуре 623-673 К и образует различные серосодержащие вещества (FeS, FeSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> и др.) [2].

При температурах ниже 1073 К FeS<sub>2</sub> реагирует с оксидом углерода с образованием FeS и COS. Также пирит взаимодействует с некоторыми органическими веществами, в том числе и с углем, при температурах около 973 К. А, в свою очередь, сера, которая содержится в органической массе угля входит в основном в состав тиофеноых (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S и CH<sub>4</sub>S) и сульфидных (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>S, C<sub>7</sub>H<sub>7</sub>S и C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>S) групп.

При нагреве сероводород взаимодействует с минералами угля в восстановительной атмосфере по реакциям:

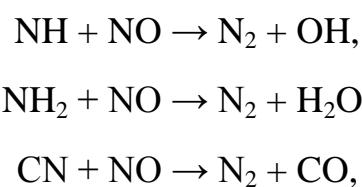


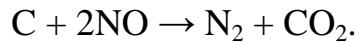
Протекание этих реакций объясняет то, что после термической обработки угля в коксе остается значительное количество серы [2].

Резюмируя все выше изложенное, можно сказать что в условиях ТХПТ проходит ряд сложных реакций с участием серы и фиксация их в коксовом остатке. Наибольшее количество серы выделяется при температурах около 1073 К (полное разложение Fe<sub>2</sub>S); При температурах в районе 973 К сероводород реагирует с минералами и остается в коксе.

Азот, в отличие от серы, входит лишь в состав органической части угля, в золе он не содержится. Азотсодержащие соединения выделяются из угля после образования примерно 10% летучих. Количество выделившегося азота зависит от температуры, скорости нагрева и типа угля. К примеру, при повышении температуры от 770 до 1170 К количество азота, выделившегося в виде летучих, увеличивается от 20 до 80 % [2].

Основное снижение вредных выбросов азота происходит за счет превращения оксида NO в молекулярный азот N<sub>2</sub>. Оксид азота образуется в основном за счет окисления азота, содержащегося в коксе. Превращение NO в азот происходит в результате следующих реакций:





Получается, что процесс переработки азота угля строится, в основном, на превращении  $NO \rightarrow N_2$ , а соотношение  $NO: N_2$  основано на составе, марке угля и условиях проведения процесса (температурой и соотношением топливо: окислитель). Чем меньше это соотношение в конечных продуктах, там лучше будет экологическая составляющая.

Для математического моделирования процессов влияния плазмотронов на изменение состава используется универсальная программа АСТРА-4. Данную программу используют для расчетов состава, теплофизических и термодинамических характеристик газовых смесей. Она основана на принципе максимума энтропии изолированных термодинамических систем, находящихся в состоянии равновесия [3].

По результатам этой программы для ЭУ, составом  $C = 41,3\%$ ,  $O = 6,47\%$ ,  $H = 2,81\%$ ,  $N = 0,67\%$ ,  $S = 0,75\%$ , было выявлено, что концентрация горючих компонентов нарастает с увеличением температуры процесса, составляя 50 - 70 % от газовой фазы ( $T = 900 - 1200$  К). Теплота сгорания горючего газа высока и равна 8,5-10,5 МДж/кг. Азот в основном показан как молекулярный. А концентрация его оксидов не превышает 1-5 мг/нм<sup>3</sup> во всем интервале температур. Оксиды серы практически не образуются, и концентрация не превышает 1 мг/нм<sup>3</sup>, а выходят в газовую фазу в виде сероводорода с концентрацией менее 1 % [2].

Опытные проверки проводились на экспериментальных стендах для различных углей (канского-ачинских КАУ, экибастузских ЭУ, донецких антрацитов АШ, борлинских БУ и кузнецких КУ) показывает значительные результаты по снижение потерь тепла с меxнедожогом ( $q_4$ ), а именно для АШ снижается с 15 до 4,5 %, для ЭУ – с 3,5 до 1,3 % и для БУ – с 7 до 3 %. Выход оксидов азота также уменьшается. Для ЭУ концентрация оксидов азота снизилась с 1100 до 550 мг/нм<sup>3</sup>, для БУ с 700 до 340 мг/нм<sup>3</sup>, для АШ – с 520 до 340 мг/нм<sup>3</sup> [3].

Исходя из изложенного можно сделать вывод о пользе использования плазменных технологий в плане экологических аспектов топливосжигания по сравнению с традиционными при использовании мазута. Использование ТХПТ приводит к снижению меxнедожога в 2 - 3 раза, снижению оксидов азота в 1,5 – 2 раза. К тому же исключение мазута из технологического процесса растопки позволяет снизить выбросы пентаоксида ванадия на 90 - 95%.

#### Список литературы:

1. Плазменноэнергетические процессы и аппараты для безмазутного розжига и подсветки пылеугольного факела: исследования и опыт

эксплуатации / Е.И. Карпенко, С.Л. Буянуев. – Сборник научных статей. Серия: технические науки, 1995. – 10 с.

2. Введение в плазменно-энергетические технологии использования твердых топлив / Е.И. Карпенко, В.Е. Мессерле. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1997. – 119 с.

3. Равновесный состав, теплофизические и термодинамические параметры элегаза и смесей элегаза с азотом / С.Л. Буянуев, В.Е. Мессерле, Д.Е. Цыдыпов, Е.Ф. Маллаева. – Сборник научных статей. Серия: технические науки, 1995. – 4 с.

4. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факел / М.Ф. Жуков, Е.И. Карпенко, В.С. Перегудов и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 304 с.