

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ

3.2. Системы золошлакоудаления ТЭС

3.2.2. Золоудаление

3.2.2.11. Гидрозолошлакоудаление ТЭС – технология прошлого

P. Kaydхпу, T. Шрёттер, Clyde Bergemann Materials Handling Ltd, Англия

АННОТАЦИЯ

В силу различных ограничений, связанных с законодательством, требованиями охраны окружающей среды и использованием водных ресурсов, на тепловых электростанциях по всему миру произошел переход от технологий гидрозолоудаления к технологиям сухого удаления золы. Применение технологий сухого золоудаления имеет ряд преимуществ, наиболее значимыми из которых являются значительное снижение водопотребления и эксплуатационных расходов. Устраняется необходимость в золоотвалах, водохранилищах, системах рециркуляции и подготовки воды, что приводит к меньшему воздействию на окружающую среду. Сухую золу также легче использовать при производстве цемента, растворов и т.д.

Поскольку для производства тепловой энергии используются разные виды угля в сочетании с котлами различной конструкции, получаемая из них зола также отличается. К двум основным типам производимой золы относятся топочная зола (шлак) и летучая зола. В пылеугольных котлах топочная зола собирается под котлом. Стандартные системы в прошлом включали шлаковую ванну и погруженный скребковый транспортер. В последние несколько лет произошел переход на сухие технологии, в которых для охлаждения топочной золы используется атмосферный воздух. Кроме того, тепло от горячей золы передается воздуху, поступающему в котел, что повышает его КПД.

С другой стороны, в некоторых странах мира удаление летучей золы в сухих системах успешно осуществлялось на протяжении более 30 последних лет. В силу температурных, хороших воздухоудерживающих свойств и проблем, связанных с пылеобразованием, ленточные транспортеры не используются для удаления летучей золы. Другие механические системы ограничены короткими расстояниями, и, как правило, летучая зола переносится на расстояние 100...1000 м. Для массового переноса летучей золы всегда были предпочтительными системы пневмотранспорта. Летучая зола образуется в различных местах на ТЭС: подогревателе, экономайзере, электрофильтре, тканевом фильтре, дымовой трубе и т.д. Свойства данной золы существенно отличаются. Обобщить данные свойства и спроектировать систему пневмотранспорта для удаления всех типов летучей золы может быть проблематично. Данная работа дает представление об основных параметрах проектирования для выбора наиболее подходящей системы сухого золоудаления.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Топочная зола

Гидравлическое удаление топочной золы до сих пор является предпочтительным во всем мире методом для пылеугольных котлов, но в результате растущего осознания экологических проблем и возросшей нехватки водных ресурсов происходит сдвиг в сторону сухих систем. Кроме того, системы гидрозолошлакоудаления требуют постоянного технического обслуживания и подвергаются постоянной коррозии и засорению. Системы со шлаковой ванной наиболее широко используются на устаревших электростанциях. Они включают водонаполненные ванны с погруженными дробилками для разбивания больших кусков на мелкие, которые водоструйный эжектор выводит в сборный резервуар. Отсюда зола перекачивается с помощью шламовых насосов в отстойники золы. Более современные системы используют погружные скребковые транспортеры, которые состоят из цепного транспортера, погруженного в воду под котлом, и последующей наклонной секции для подъема золы на более высокий уровень. Наклонная секция также выполняет роль обезвоживателя перед выгрузкой золы в бункер для хранения. В данных системах вода используется в меньших объемах, чем в системах со шлаковой ванной. В гидравлических системах для охлаждения золы используется вода, что обуславливает необходимость систем водяного охлаждения и рециркуляции воды и увеличивает стоимость эксплуатации данных систем. В сухих системах используется небольшое отрицательное давление в пылеугольных котлах для перегонки воздуха над слоем горячей золы. Воздух движется в направлении обратном по отношению к золе и производит эффект дожигания. Это сокращает уровень механического недожога и высвобождает дополнительную тепловую энергию, которая возвращается в процесс парообразования внутри котла. Данная схема повышает КПД котла, сокращает потребление угля и уровень выбросов CO₂.

1.2. Летучая зола

Сухое удаление летучей золы представляет собой развитый рынок по сравнению с сухим удалением топочной золы, а технология хорошо себя зарекомендовала, но в некоторых странах до сих пор используются системы гидравлического удаления

летучей золы. На рынке представлено несколько различных типов систем сухого удаления летучей золы. Самой распространенной технологией, используемой в настоящее время для удаления летучей золы, является пневматическая транспортировка. Успех системы данного типа по сравнению с другими механическими сухими системами объясняется рядом причин, одной из которых является требование к компактности и простая организация внутри существующей станции. Вторым фактором являются физические и химические свойства летучей золы, поскольку она очень абразивна, что создает проблему износа для механических систем.

В отличие от механического оборудования золоудаления на системы пневмотранспорта влияют физические свойства летучей золы. Самыми важными являются гранулометрический состав и форма частиц, особенно для пневмотранспорта в плотной фазе, поскольку они оказывают огромное влияние на скорость передачи, достигаемую системой.

1.3. Параметры классификации золы

1.3.1. Объемная плотность

Большинство систем золоудаления работают исходя из объемов, что делает объемную плотность очень важным фактором. Объемная насыпная плотность используется для определения объема установки, а объемная плотность в уплотненном состоянии используется для конструктивных расчетов.

1.3.2. Гранулометрический состав

Это один из самых значимых параметров, поскольку он определяет пригодность оборудования для определенной золы. В топочной золе могут присутствовать большие куски, поэтому как в системе сухого, так и гидравлического золоудаления требуется раздробление кусков до допустимой крупности < 25 мм. Мелкая летучая зола может иметь широкий диапазон размеров частиц, который меняется в зависимости от типа оборудования. Рукавные фильтры имеют одинаковый размер частиц на всех выходах, но электрофильтр обычно имеет более крупные частицы на первой ступени.

Мелкая летучая зола делится на четыре группы в зависимости от размера ее частиц.

Мелкая летучая зола	d ₅₀ = 30 – 50 мкм
Крупная летучая зола	d ₅₀ = 70 – 90 мкм
Мелкое зерно	d ₅₀ = 130 – 160 мкм
Крупное зерно	d ₅₀ = 580 – 620 мкм

Рис. 1. Пример летучей золы разделить на 4 группы

При пневматической транспортировке все указанные классы проявляют разные свойства. Диапазон размеров частиц также влияет на транспортные свойства – золу с узким гранулометрическим составом, как правило, сложнее переносить.

1.3.3. Форма частиц

Мелкая летучая зола представляет, в основном, частицы сферической формы, однако частицы песка имеют угловатую структуру. В силу сферичности частиц песка их очень легко транспортировать. Зола котлов с кипящим слоем имеет повышенное содержание песка и является, как правило, более угловатой и, следовательно, более абразивной, таким образом, ее сложнее транспортировать.

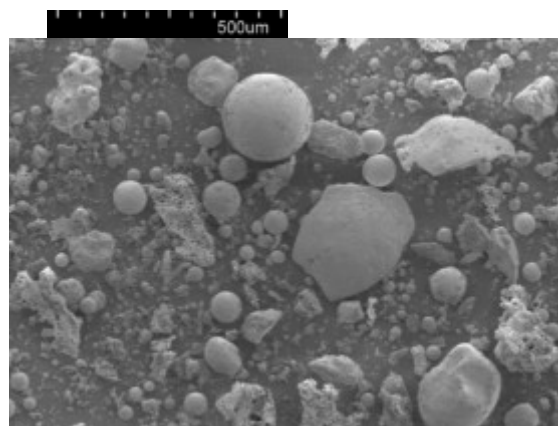


Рис. 2. Сферические частицы летучей золы

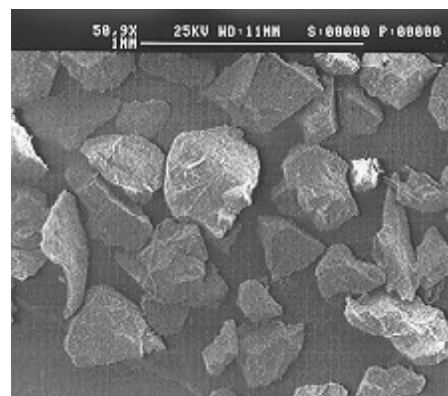


Рис. 3. Угловатые частицы песка

2. СУХОЕ УДАЛЕНИЕ ТОПОЧНОЙ ЗОЛЫ

Система сухого удаления топочной золы монтируется полностью герметичной к днищу топочной камеры (под топки). Зола осаждается из топочной камеры на стальную ленту транспортера, расположенную непосредственно под холодной воронкой топки. Под влиянием отрицательного давления внутри котла наружный воздух под контролем засасывается в систему сухого удаления топочной золы. Воздух движется вдоль поверхности золы в противоположном направлении, активируя процесс дожигания тлеющей золы, сокращая, таким образом, уровень механического недожога и высвобождая дополнительную тепловую энергию для использования в процессе горения. Данный основной принцип показан на рис. 4 ниже. Тепло горячей золы передается наружному воздуху перед его поступлением в топочную камеру, что добавляет дополнительную тепловую энергию в процесс парообразования внутри котла. Примерно 1...1,5% воздуха в топочной камере требуется для системы сухого ох-

лаждения. Благодаря этому на процесс горения и состав отработавших газов ничто не влияет. Регулируемые воздухозаборники охлаждающего воздуха расположены вдоль корпуса и верхнего выхода системы сухого охлаждения золы для контроля количества воздуха. Большая часть воздуха поступает в герметичную систему сухого охлаждения золы в верхней части со стороны выгрузки золы для обеспечения максимальной теплоотдачи с поверхности золы. Воздух, поступающий снизу герметичного корпуса, добавляет наружный воздух в нагретый воздух, поступающий сверху, и поддерживает про-

цесс охлаждения и дожигания. При сухом удалении топочной золы, где крупные куски создают значительную проблему, в системе сухого охлаждения топочной золы могут быть установлены щековые дробилки между переходной шахтой и входом системы охлаждения. Данные дробилки разбивают большие куски на куски меньшего, более удобного размера, которые затем можно охлаждать и переносить дальнейшими транспортными системами. При необходимости щековые дробилки могут также использоваться в качестве изоляции котла / транспортера.



Рис.4. Базовый принцип системы сухого удаления топочной золы

2.1 Фактическое устройство

Под топочной камерой поддержка переходной шахты с нижнего яруса осуществляется посредством металлоконструкции. Внутренние стенки переходной шахты или бункера футерованы огнеупорным бетоном, чтобы выдерживать тепловое излучение от топки котла. Между холодной воронкой котла/бункера и входом системы сухого охлаждения золы установлен компенсатор из теплостойкой ткани для компенсации перехода между холодным и горячим состоянием котла/

Компенсатор изготовлен из эластичного материала, устойчивого к высоким температурам. Во избежание повреждений от высоких температур, вызванных тепловым излучением от топочной камеры, предусмотрен специальный защитный кожух

на внутренней стороне компенсатора. Компенсатор имеет неразъемный монтаж для обеспечения герметичности и требуемой гибкости. Вместо этого также может быть использована система гидравлического уплотнения, аналогичная применяемым в системах погружных скребковых транспортеров. Система сухого охлаждения золы может быть поставлена на рельсы, чтобы ее можно было убрать в сторону, когда котел не работает; это обеспечивает свободный доступ к топке котла для проведения технического обслуживания и ремонта. Конструкция сухого охладителя золы и переходного бункера предусматривает возможность хранения золы на случай возникновения проблем на дальнейших технологических участках во избежание останова котла.

2.2.Преимущества системы сухого удаления топочной золы в сравнении с системой влажного удаления топочной золы

Сухое удаление топочной золы	Влажное удаление топочной золы
Отсутствие требований к воде	Нагретая вода для охлаждения должна быть охлаждена
Остаточный механический недожог <5%	Остаточный механический недожог <20%
Легко смешивается непосредственно с летучей золой	Смешивается с летучей золой только после высыхания
Топочная зола может быть продана по более высокой цене (с летучей золой), чем топочная зола	Просто применение только в особых случаях, например, при строительстве дорог
Процессы подготовки воды не требуются	Высокая стоимость участков обработки и удаления воды
Система сухого золоудаления полностью замкнута и не оказывает воздействия на окружающую среду	Экологически опасный продукт при утилизации с высоким содержанием воды
Более простая и компактная система в силу отсутствия потребности в воде	Необходимость в дополнительном оборудовании, например, водяные насосы, отстойники, система подготовки воды и т.д.
Экономное использовании энергии за счет сжигания частично сохранившегося угля в топочной золе	Несгоревшее топливо поступает в воду для охлаждения
Возврат тепла нагретым воздухом для охлаждения, поступающим в печь	Энтальпия золы полностью передается воде для охлаждения

3. СИСТЕМЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Пневмотранспорт золы на ТЭС является установленным общепринятым методом перемещения золы. Механические методы золоудаления на ТЭС и вблизи станции связаны с загрязнением, шумом, утечками, дорогостоящим техническим обслуживанием и другими проблемами. Использование пневматического транспорта для переноса золы внутри герметичного трубопровода обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными механическими методами.

- Трубопроводы, как правило, намного проще прокладывать и обслуживать, чем механические транспортеры, что обеспечивает большую гибкость в выборе расположения сооружений для приема и хранения.
- Герметичный трубопровод гарантирует обеспыленную среду в соответствии с современным проектом электростанции, учитывающим экологические требования.
- Подвижные детали ограничены только точками приема или распределения в системе. Поэтому их намного меньше, чем в традиционной механической установке, что минимизирует потенциальные участки техобслуживания.
- Первичные двигатели, т.е. воздушные компрессоры, вентиляторы или вакуумные насосы, могут быть расположены вне жестких условий эксплуатации, способствуя, таким образом, продолжительному сроку службы и опять-таки минимизируя необходимость в техобслуживании.

3.1 Типы системы – нагнетательные и всасывающие

Системы пневмотранспорта могут быть условно разделены на две группы. Нагнетательные системы, эффективно нагнетающие материалы по трубопроводу, и всасывающие системы, которые переносят материалы посредством всасывания. В целом, нагнетательные системы весьма универсальны и могут оперировать как малым количеством транспортируемого материала на короткие расстояния, так и большим количеством транспортируемого материала на большие расстояния. Всасывающие системы, как правило, имеют более ограниченное применение, перемещая, в основном, малое количество материала на относительно небольшие расстояния. Данные системы могут быть, в свою очередь, разделены на три рабочих режима.

- Обедненная (жидкая) фаза – положительное давление или вакуум.
- Плотная фаза – положительное давление

3.1.1. Жидкофазная система

По традиции используются жидкофазные системы транспорта золы, и нужно признать, что с учетом потока воздуха и давления в подобной системе можно транспортировать практически любой материал, подаваемый в трубопровод. Как правило,

данные системы работают с давлением транспортирующего воздуха менее 1 бар и скоростью воздушного потока от 15 до 30 м/с. Они могут быть как нагнетательными, так и всасывающими (вакуумного типа), и в целом зависят от материала, выпускаемого непрерывно или небольшими партиями в непрерывно смешиваемый воздушный поток, где частицы материала отдельно переносятся в воздушном потоке к месту назначения. Большие объемы воздуха низкого давления, подаваемые воздушной низкой давления или вакуумным эксгаустером, используются в качестве движущей силы для системы данного типа.

Для транспортировки материалов в 'жидкофазном' режиме воздушный поток должен достичь скорости улавливания частиц материала или начальной скорости, которая, как правило, составляет примерно от 15 до 30 м/с. Все частицы материала перемещаются отдельно по трубе и помимо столкновения между собой также сталкиваются с трубой при любом изменении направления. В силу высокой скорости транспортировки и низкой плотности суспензии степень износа данных систем очень высока. Нагнетательные системы никогда не были очень эффективны в удалении летучей золы в силу обязательного наличия нескольких точек улавливания, поскольку утечка воздуха через многочисленные поворотные клапаны представляет большую проблему, а система обучающего типа не может работать с несколькими точками улавливания. Системы вакуумной транспортировки имели относительный успех в силу наличия нескольких точек улавливания на одной передающей линии и низкого износа точек улавливания. Однако, износ труб и колен аналогичен нагнетательной системе. Главным недостатком данной системы является то, что для транспортировки может использоваться разность давлений только 500 мбар. Это существенно ограничивает скорости и расстояния для данных систем.

3.1.2. Плотнотвердая система

Плотнотвердые системы всегда были предпочтительными для удаления летучей золы в связи с потенциальными преимуществами, которые предлагает данный метод транспортировки и которые заключаются в снижении энергопотребления, уменьшении измельчения частиц, эрозионного износа трубопровода, колен и фитингов. Кроме того, данные системы всегда нагнетательные и используют передувочный бак для сбора материала до его подачи в трубопровод партиями. Плотнотвердые системы транспорта золы, как правило, работают с избыточным давлением транспортирующего воздуха в диапазоне 2...5 бар и скоростью воздушного потока 2...10 м/с, главным образом, в серийном режиме, однако непрерывный режим также доступен в плотной фазе. Давление воздуха намного выше, чем в жидкофазной системе, но объемы воздуха ощутимо снижены. Данные системы могут исполь-

зоваться для транспорта мелкой летучей золы на расстояние до 1500 м за один прием. Воздух может подаваться компрессором высокого или среднего давления через воздухоприемник, и, в отличие от жидкой фазы, несколько систем могут работать от одного компрессора.

Свойства летучей золы влияют на транспортировку в плотной фазе и могут существенно изменять скорость передачи. Мелкая и крупная летучая зола легко переносится, но для гарантированного переноса мелких частиц в зависимости от их гранулометрического состава может потребоваться нагнетание воздуха в транспортирующие трубы. Это ограничивает максимальное расстояние перемещения данного материала до 1000 м. Поскольку система работает при высоком коэффициенте загрузки твердых частиц >20 , материал переносится в режиме пробкового потока. Это снижает износ системы. Поскольку большая часть материала перемещается в 'пробковом' режиме, износ трубопровода ограничен только трением, а не связан с воздействием твердых частиц.

4. ВЫВОД

Технологии сухого золоудаления успешно применяются для удаления угольной золы во всем мире. Технология сухого удаления топочной золы является относительно новой, но с расширением ее применения она подтвердила свою перспективность. Плотнофазная технология удаления летучей золы применяется в течение тридцати лет. Сочетание обеих технологий устраняет необходимость использования воды на ТЭС, что являлось обязатель-

ным требованием при гидротранспорте золы. Уже были получены многообещающие результаты по повторному использованию топочной золы, смешанной с летучей золой от сжигания угля, для конструктивных слоев насыпей, дренажных систем или измельчения и смешивания ее с летучей золой для совместного использования в производстве цемента, вместо сбрасывания данного продукта в золоотвалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Jeff Hudson, Ralph Ludwig**, "Dry bottom ash handling system with reduced operation costs and improved plant efficiency". Powergen Asia, Hong Kong, 2006.
2. **LM Hyder**, "Effect of particle size and density on pressure gradients in horizontal pipelines in lean phase pneumatic conveying". PhD Thesis University of Greenwich, London, 2000.
3. **Z Wypych**, "Pneumatic conveying of powders over long distance and high capacities". Powder Technology 104 1999.
4. **MSA Bradley**, Understanding and controlling attrition and wear in pneumatic conveying systems. SHAPA Technical Paper No 5.
5. **T Deng et al**, "Comparison between weight loss of bends in a pneumatic conveyor and erosion rate obtained in a centrifugal erosion tester for the same materials". Wear 258, 2005.

Р. Каудхри, Т. Шрёгер. Гидрозолошлакоудаление ТЭС – технология прошлого // Материалы V конференции «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 24–25 апреля 2014 г. — М.: Полиграфический центр МЭИ, 2014. с. 86 – 90.