

Раздел третий

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ

3.2. Системы золошлакоудаления ТЭС

3.2.2. Золоудаление

3.2.2.1. Технологии удаления летучей золы ТЭС в Индии

В.К. Агарвал, ИТМЕ Центр, Индийский институт технологий, Дели, Индия

АННОТАЦИЯ

Индия обладает большими запасами угля, поэтому для производства энергии в стране в качестве топлива, в основном, используется уголь. Однако, качество угля, сжигаемого на тепловых электростанциях, невысокое, поскольку уголь имеет высокую зольность. В настоящее время тепловые электростанции Индии производят около 120 млн т угольной золы. Значительное количество этой золы используется в различных направлениях. Строительная промышленность является основным потребителем угольной золы. Для транспорта золы, как в пределах станции, так и к потребителю, предъявляется ряд требований. Более того, неиспользованное количество угольной золы необходимо надежно транспортировать на золошлакоотвал (ЗШО). В данной статье рассматриваются различные технологии удаления разнотрационной угольной золы, применяемые на тепловых электростанциях Индии.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ

Тепловая энергия составляет более половины от общего количества энергии, произведенной во всем мире [1]. Таким образом, образуются миллионы тонн золы, которая имеет разный химический и гранулометрический состав. Поэтому важно, чтобы любая система, создаваемая для транспорта этой золы, имела надежную конструкцию, учитывая свойства транспортируемого материала. Системам транспорта золы, имеющей низкую коммерческую ценность или не представляющей никакой коммерческой ценности, не всегда уделяется требуемое внимание. Неудовлетворительно разработанные системы транспорта золы могут привести к регулярным простоям на ТЭС, значительно снижая годовой доход. При таком большом выходе золы существенным является вопрос надежного и эффективного удаления ее со станции. Зола может удаляться в виде пульпы или в сухом виде с использованием пневмотранспортных систем.

2. ПРОИЗВОДСТВО ЗОЛЫ

Для производства энергии в Индии, в основном, в качестве топлива используется уголь. Однако, качество угля, сжигаемого на тепловых электростанциях, является низким, поскольку зольность в нем составляет 45 %. В стране угольные электростанции производят около 120 млн т летучей золы ежегодно. В настоящее время благодаря совместным усилиям Правительства Индии, научно-исследовательских лабораторий, производственных предприятий, ТЭС и регулирующих органов используется большое количество летучей золы в различных направлениях. Тем не менее, большое количество золы необходимо размещать на золоотвалах. Для использования золы также необходим транспорт различных ее объемов на длинные или короткие расстояния.

2.1. Свойства летучей золы

Важно, чтобы учитывались свойства любого транспортируемого материала, а также любые изменения свойств материалов любого происхождения, которые могут происходить. Эти свойства также влияют на плотность частиц и насыпную плотность. Размеры частиц будут меняться в зависимости от места расположения бункера электрофильтра и количества воздуха, необходимого для размола угля. На форму частиц в некоторой степени влияют изменения, происходящие в процессе сжигания угля.

Оксиды кремния и алюминия являются двумя важными компонентами химического состава летучей золы. Содержание диоксида кремния может достигать 65 %, а содержание оксида алюминия может составлять от 15 до 30 %. И оксид алюминия, и диоксид кремния являются очень твердыми материалами, имеющими твердость по шкале Моса близкой к 8. Летучая зола является очень абразивной вследствие высокого содержания в ней этих составляющих, что может вызвать повреждение всех поверхностей, с которыми она взаимодействует путем трения или столкновения.

2.2. Бункеры электрофильтра

Самые мелкие фракции угольной золы уносятся потоком дымовых газов. Разные фракции золы улавливают в нескольких местах движения потока дымовых газов. Схема улавливания золы представлена на рис. 1.

Так как около 75 % всей золы, образованной в результате сжигания угля, улавливается в полях электрофильтра, то необходимо рассмотреть схему размещения бункеров электрофильтра. Электрофильтр имеет несколько полей и в каждом поле расположено несколько бункеров. Установка мощностью 120 МВт обычно имеет шесть полей и восемь бункеров в каждом поле, т.е. всего 48 бункеров. На рис. 2 представлена схема стандартной группы бункеров электрофильтра, а также направление газового потока.

Первое поле бункеров имеет самую высокую эффективность золоулавливания, которая может меняться от 70 до 80 %. Степень улавливания золы в последующих полях снижается в одинаковых пропорциях. В результате, количество золы, уловленной в бункерах поля 3 и в последующих полях, очень незначительно. В аварийном случае, если первое поле не работает, то второе поле будет работать с той же степенью улавливания, что и первое поле при нормальных рабочих условиях. Емкость бункеров электрофильтра обычно выбирается таким образом, чтобы они могли хранить золу, образованную за 24 часа работы электростанции. В конструкциях системы золоудаления необходимо учитывать длительность цикла удаления золы, а также иметь в виду отличия эффективности золоулавливания в различных бункерах.

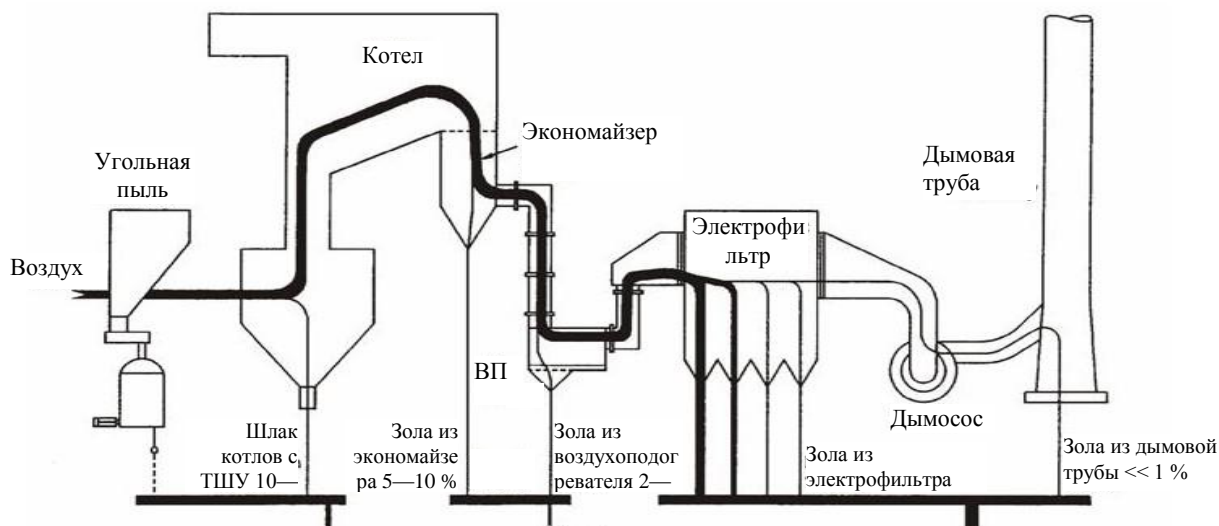


Рис. 1. Места улавливания золы и распределение золы котлов с твердым шлакоудалением

2.3. Механизмы разгрузки

Удаление золы из бункеров электрофильтров может осуществляться как в направлении параллельном газовому потоку, как показано на рис. 2, так и перпендикулярно газовому потоку. В первом случае бункера различных полей соединяются друг с другом так, что зола, уловленная в приемном бункере, представляет собой смесь крупной золы из первого поля и мелкой золы из последующих полей. Во втором случае бункера определенного поля соединены между собой так, чтобы можно было отделить крупную золу из первых двух полей от очень мелкой золы из последующих полей.

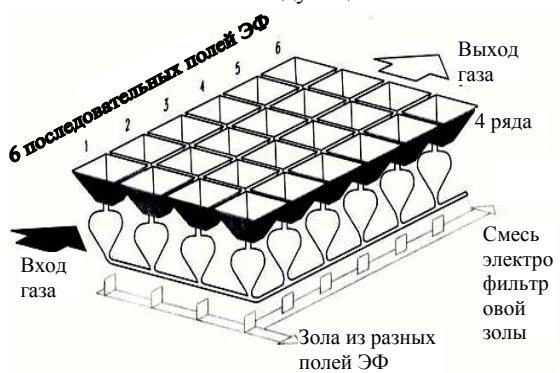


Рис. 2. Типичная компоновка бункеров электрофильтра

Если улавливание золы происходит в поперечном направлении к потоку, то нагрузка на систему золоудаления оказывается неравномерной за счет существенной отличной эффективности золоулавливания в бункерах различных полей. Необходимо учитывать этот фактор при создании систем золоудаления в подобных случаях. Выбор системы золоудаления в большой степени зависит от конечного использования золы и схемы размещения электрофильтров на станции.

3. СИСТЕМЫ ЗОЛОУДАЛЕНИЯ

Выбор системы золоудаления зависит от свойств золы, ее количества и от того, нужно ли классифицировать золу для конечного использования. Возможные системы золоудаления включают механические, гидравлические и пневматические транспортные системы. Гидро- и пневмотранспортные системы золоудаления будут обсуждаться отдельно в последующих разделах.

3.1. Гидротранспорт

Традиционные системы гидрозолоудаления (ГЗУ) широко используются для удаления золы на гидрозолоотвал. Зола разгружается из различных бункеров, смешивается с водой и подается по открытым каналам на оперативный гидрозолоотвал. Из него зола транспортируется в виде пульпы на гидрозолоотвал, который может находиться в нескольких километрах от станции. В таких странах как Индия, где производство золы огромно, а направления ее применения еще недостаточно изучены, на большинстве ТЭС широко практикуется удаление золы в виде пульпы. В последнее время наблюдается тенденция транспортирования пульпы с высокой концентрацией материала (до 70 % золы) вместо транспорта золы в разряженной фазе с концентрацией 20 % материала. Такая высокая концентрация пульпы приводит к экономии воды, энергосбережению и облегчает техническое обслуживание гидрозолоотвалов. Главным преимуществом такой технологии удаления пульпы является неограниченное расстояние транспортирования, как в случае с транспортом сухой золы с использованием системы пневмотранспорта.

Однако, во многих странах экологические проблемы, связанные с гидрозолоотвалами, оспаривают право на существование этого метода. В ряде стран вошло в силу законодательство, в котором прописаны постепенно наращиваемые цели по практическому использованию летучей золы для снижения количества складированной золы. Для большинства применений желательнее чтобы зола оставалась сухой и поэтому использование пневмотранспортных систем постепенно увеличивается.

3.2. Пневмотранспорт

Пневмотранспортные системы представляют идеальный выбор для транспорта летучей золы в сухом виде. Пневмотранспортные системы в целом делятся на две категории: вакуумные и напорные. Аэрожелоба считаются особой технологией пневмотранспорта, в которой очень высокие скорости транспортирования достигаются за счет гравитационного потока, созданного путем псевдооживления материала (рис. 3).

В работе Хардера [1] представлен обзор существующих систем транспортирования летучей золы. На рис. 4 показаны возможные варианты транспортирования золы, которые могут использоваться. На нем также обозначены типичные величины параметров транспортирования этих систем. Каждая система имеет свои ограничения

величин по транспортной скорости воздуха, максимально возможной потере давления, дальности транспортирования и массовой концентрации материала, при которых можно транспортировать материал.

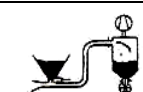


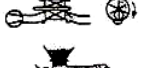



Системы пневмозолоудаления	Параметры транспортирования	Параметры транспортирования			
		Φ кг/кг	ΔP_{\max} бар	L_{\max} м	m_{\max} т/час
Вакуумный транспортер		20	0,5	100	100
Аэрожелоб		300	0,05	100	400
Струйный насос		5	0,2	75	5
Роторный питатель		30	0,75	150	40
Пневмовинтовой насос		80	1,5	80	200
Пневнокамерный насос		200	6,0	2000	150
Эрлифт		25	0,5	100	100

Рис. 3. Система пневмозолоудаления с указанием параметров транспортирования

Вакуумным системам обычно требуется высокая скорость воздуха на входе в транспортный трубопровод и максимальное допустимое величина потери давления составляет около 0,5 бар. Эти параметры подходят для тех случаев, когда требуется собрать материал во многих местах, как в случае эвакуации золы из электрофильтра и других бункеров. Дальность транспортирования ограничена перепадом давления.

Напорные пневмотранспортные системы широко применяются для транспортирования сухой золы на электростанциях. В зависимости от специфики применения используется либо система, транспортирующая низкоконтцентрированный поток, либо высококонтцентрицией поток с низкой скоростью транспортирования. Для обоснованного выбора системы, наиболее подходящей для данного применения, необходимо учитывать не-

сколько рабочих параметров. Главным преимуществом напорных пневмотранспортных систем является возможность транспортирования материала на большие расстояния, т.к. эти транспортные системы могут работать при высоком давлении. Большое количество таких систем используется на тепловых электрических станциях, где дальность транспортирования превышает 1000 м и может достигать 2000 м. Подробное описание таких систем, компонентов и конструктивных критериев рассматриваются в следующих разделах.

4. РЕЖИМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Основная сложность состоит в том, каким образом материалы транспортируются по трубопроводу, а также вопрос терминологии для режимов движения потоков. Для начала нужно понимать, что материал может транспортироваться вдоль трубопровода либо порциями, либо постоянно - 24 часа в сутки. При порционном транспортировании материал может перемещаться как одна пробка при относительно небольшом ее размере.

4.1. Разреженный режим

И при непрерывном, и при порционном режимах транспорта золы при большом размере пробки, существует два режима транспортирования. Если материал транспортируется по трубопроводу во взвешенном состоянии, то такой режим считается разреженным. Если материал транспортируется с низкой скоростью и не во взвешенном режиме вдоль всей трубы или ее части, то такой режим относят к транспортированию в плотной фазе. Практически любой материал можно транспортировать по трубопроводу в разреженном, взвешенном виде вне зависимости от размера, формы и плотности частиц.

4.2. Транспорт в плотной фазе

При транспорте материала в плотной фазы описываются две модели потока. Первая модель представляет собой транспортирование материала в подвижном подстилающем слое по дну трубопровода. Другая модель – пробочный режим, в котором материал транспортируется в виде пробок по размеру с внутренним диаметром трубы, разделенных воздушным зазором. Наличие движущегося

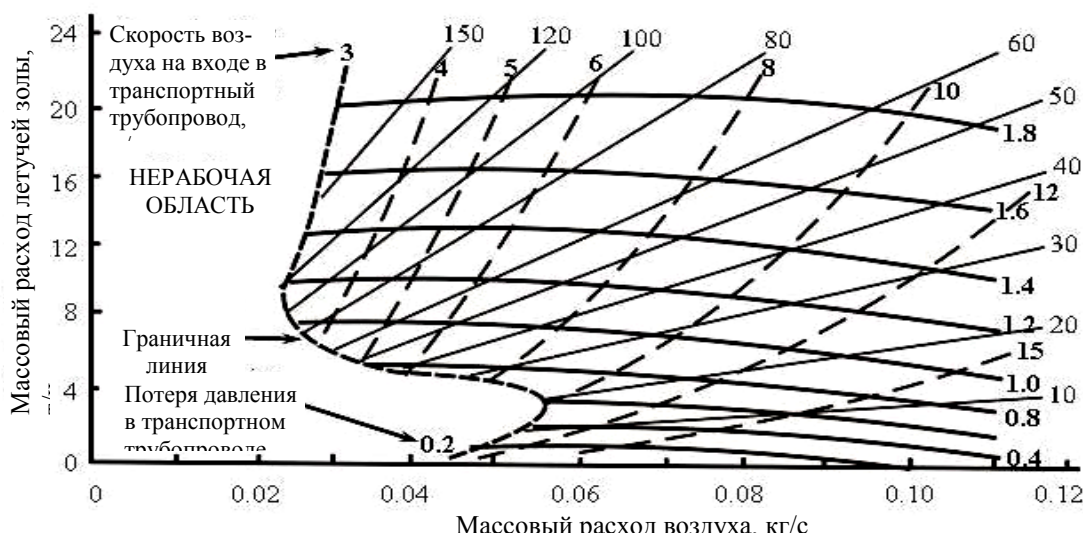


Рис. 4. Транспортные характеристики мелкой летучей золы с приведением скоростей воздуха на входе в транспортный трубопровод

подстилающего слоя возможно только в стандартных транспортных системах, если транспортируемый материал хорошо удерживает воздух, как, например, летучая зола. Наличие пробочных режимов возможно только в стандартных транспортных системах, если материал имеет хорошую проницаемость.

4.3. Скорость транспортирования воздуха

Для транспортирования в разреженной фазе должна поддерживаться относительно высокая скорость воздуха. Обычно скорость составляет от 10 до 12 м/с для мелкодисперсной золы из электрофильтров, а для крупной экономайзерной золы и золы воздухоподогревателя – от 13 до 16 м/с и еще выше для более крупных частиц материалов, имеющих более высокую плотность. Для транспортирования в плотной фазе скорость воздуха может

быть снижена до 3 м/с и более в некоторых условиях (2). Из-за наличия мелких частиц, необходимых для обеспечения требуемых свойств по удержанию воздуха, плотность частиц не оказывает значительного влияния на минимальные величины транспортной скорости воздуха, в отличие от транспорта в разреженной фазе. На рис. 4 и 5 показаны транспортные характеристики золы из электрофильтра и экономайзера.

Поэтому в пределах станции, если зола из экономайзера и электрофильтра должна транспортироваться с помощью необходимо выбрать соответствующие размеры трубопровода, чтобы минимальная начальная скорость транспорта золы в местах ее загрузки соответствовала размеру частиц.



Рис. 5. Транспортные характеристики крупной летучей золы с приведением скоростей воздуха на входе в транспортный трубопровод

4.4. Массовая концентрация материала

Массовая концентрация материала или фазовая плотность являются очень важным параметром визуализации потока. Это отношение массового расхода транспортируемого материала к расходу воздуха, используемого для транспорта материала. Эта величина безразмерная. Для разреженного режима максимальная величина массовой концентрации составляет около 15, хотя она может немного превышать ее, если дальность транспортирования небольшая. В случае с движением в подстилающем слое массовая концентрация может превышать 100, если материал транспортируется с перепадом давления 20 мбар/м.

5. СИСТЕМА ЗОЛУДАЛЕНИЯ НА ТЭС

Система пневмозолоудаления на тепловых станциях включает два этапа. Сначала зола из экономайзера, воздухоподогревателя и бункеров электрофильтра эвакуируется в промбункера. Они обычно расположены на расстоянии до 150 м от бункеров последних полей электрофильтров. При необходимости на этом этапе можно отделить очень мелкую золу, как в полях 3, 4 и 5, от крупной золы, как в полях 1 и 2. Из промбункеров зола обычно транспортируется на силосный склад, откуда она отгружается потребителю. Расстояние от промбункера до силосного склада может составлять от 800 до 2000 м. Типичная схема компоновки показана на рис. 6.

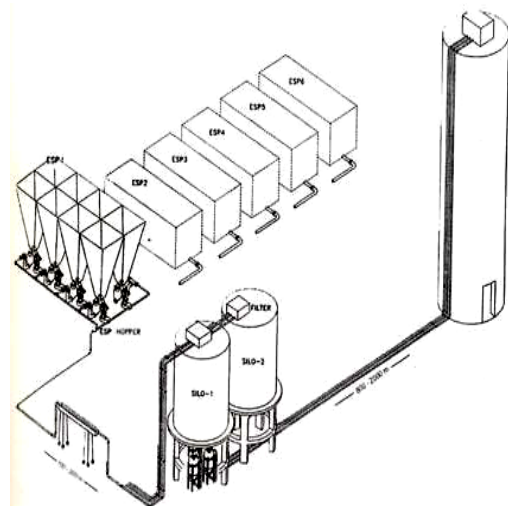


Рис. 6. Традиционная схема системы золоудаления ТЭС

Для эвакуации золы из экономайзера и воздухоподогревателя могут использоваться как вакуумные, так и системы под давлением. На втором этапе транспортирования на большие расстояния от промбункера до силосного склада используются только системы транспорта под давлением. Как показывает опыт, небольшое количество крупных частиц можно транспортировать вместе с мелкими. Если количество крупных частиц значительно, то

эксплуатационные параметры должны быть выбраны так, чтобы установка могла работать при наихудших условиях транспортирования. На тепловых электростанциях желательно удалять экономайзерную золу отдельно от золы из электрофильтра.

Если дальность транспортирования от промбункера до силосного склада более 1000 м, то необходимо использовать транспортные системы под давлением. Вследствие практических ограничений потерь давления материал должен транспортироваться при более низких массовых концентрациях. В таком случае скорость воздуха на входе в трубопровод должна быть выше. Высокое давление приводит и к более высокой скорости воздуха на выходе. В таких случаях обычно рекомендуют ступенчатое выполнение трубопровода с увеличивающимся диаметром по всей длине транспортирования. Это поможет снизить скорость и улучшить характеристики транспортной системы.

На некоторых станциях сухую золу можно отгружать напрямую из промбункера. Соответствующие средства используются для загрузки золы в кузовной автотранспорт или автоцементовозы из промбункера. В случае, если не требуется сухая летучая зола, то зола смешивается с водой и транспортируется в оперативный гидрозолоотвал с последующим ее складированием на гидрозолоотвале.

6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ К ПОТРЕБИТЕЛЮ

В некоторых случаях предприятие, которое планирует использовать летучую золу, может находиться в непосредственной близости от ТЭС. Одним из таких примеров является установка по размолу цемента для производства пуццоланового портландцемента. В этих случаях

леко от ТЭС. В некоторых случаях это расстояние может превышать несколько сот километров или даже больше. Существует два возможных способа транспортирования золы на большие расстояния. Если потребителю постоянно требуется сухая зола в течение долгого времени, то могут использоваться автоцементовозы вместимостью от 8 до 10 т. Зола поступает в автоцементовозы из силосного склада ТЭС самотеком. Разгрузка золы из автоцементовозов осуществляется в бункера хранения потребителя с помощью сжатого воздуха. Это означает, что принципы работы пневмотранспортной системы могут использоваться для разгрузки золы из автоцементовозов.

6.1. Расфасовка летучей золы

Если потребление сухой летучей золы является периодическим, то летучая зола из силоса может упаковываться в мешки. Потребители могут забирать золу в мешках по мере необходимости. Существует оборудование для расфасовки золы, с помощью которого можно заполнять мешки любой вместимости от 30 до 1000 кг. Такой диапазон вместимости мешков соответствует потребностям, как потребителей небольших количеств золы, так и относительно крупных потребителей. Однако, необходимо обеспечить надежное хранение мешков для предотвращения попадания в них влаги.

Содержимое мешков может быть использовано потребителями как напрямую для получения различных смесей, так и можно хранить материал в бункере и использовать в соответствии с требованиями.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно информации, представленной в данной статье, является очевидным, что угольная зола разных фракций имеет различные свойства. В результате выбор наиболее оптимальной системы транспорта угольной зо-



Рис. 7. Рекомендуемые технологии удаления и безопасного складирования угольной золы

возможна установка другой пневматической системы, транспортирующей золу от силоса ТЭС к размольной установке.

Однако, большинство предприятий и установок, использующих сухую летучую золу, могут находиться да-

лы определенного гранулометрического состава определяется ее свойствами. Обзор возможных способов транспортировки золы различного гранулометрического состава представлено на рис. 7. На рис.7 также указаны доступные технологии транспортирования золы, как в пре-

делах станции так и до потребителя, который находится на некотором расстоянии от электростанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Harder J.** Dry Ash Handling Systems for Advanced Coal-Fired Boilers. Bulk Solids Handling Vol. 17. No.1. Jan/Mar 1997
2. **Mills D. and Agarwal V.K.** Pneumatic Conveying Systems, Design, Selection & Troubleshooting with Particular Reference to Pulverised Fuel Ash. Trans Tech Publications. Germany

В.К. Агарвал. Технологии удаления летучей золы ТЭС в Индии // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 95 – 100.