

Раздел первый

ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

1.4. Снижение выбросов соединений ванадия и бенз(а)пирена

1.4.1. Краткое описание технологий снижения выбросов соединений ванадия при сжигании жидкого топлива

Аничков С.Н. и Глебов В.П.; ОАО «ВТИ»

При сжигании жидкого топлива в котельных установках кроме газообразных продуктов сгорания образуются и твердые вещества, состоящие из минеральных компонентов топлива и органических веществ — продуктов неполного сгорания (сажи, кокса, бенз(а)пирена). В состав минеральных компонентов входят в основном соединения металлов: ванадия, никеля, железа, алюминия, кобальта и др. В усредненном составе минеральной части отечественных мазутов в пересчете на оксиды содержатся: оксид натрия — 20...40 %, оксид кремния — 5...20 %, пентаоксид ванадия — 20...30 %, оксид магния — 3...10 %, триоксид железа — 3...20 %, триоксид серы — 20...40 %.

О составе твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу при сжигании мазута, в первом приближении можно судить по составу отложений, снятых с хвостовых поверхностей нагрева котлов. В качестве примера ниже приведен химический состав отложений с поперечно-обтекаемых труб воздухоподогревателей котлов при сжигании мазута с содержанием золы около 0,1 % и серы 3 % [1]:

Тип котла	Содержание соединений, % (по массе)							
	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Горючие
ПК-47	3,6	0,1	4,1	14,8	37,4	1,7	16,2	21,9 34,1
ПГМ-84	2,2	0,2	1,2	14,4	31,2	2,6	7,6	

В российской энергетике мазутные котлы не имеют устройств для очистки дымовых газов от твердых частиц, поэтому в атмосферу выбрасываются практически все указанные компоненты, за исключением незначительной доли, оседающей на поверхностях нагрева котлов. Для мазутной золы в качестве контролирующего показателя принят ванадий, по содержанию которого в золе установлена ПДК. В связи с этим в ряде случаев газомазутные ТЭС не могут обеспечить соблюдение санитарных норм в части выбросов твердых частиц. В городах указанная проблема обостряется наличием фоновой загрязненности от других промышленных источников и ограничениями по высоте дымовых труб.

В этой ситуации единственно возможным вариантом снижения выбросов мазутной золы является установка на котлах газоочистного оборудования. Являясь в первую очередь природоохранной мерой, очистка дымовых газов от твердых продуктов сгорания мазута позволяет решить еще одну важную проблему — утилизацию и использование в других отраслях промышленности ценных отходов энергетического производства. В некоторых отечественных мазутах содержание в золе ванадия в пересчете на V₂O₅ достигает 30 %, что является очень высоким показателем для ванадийсодержащего сырья. Учитывая, что в мазутной золе содержатся и другие микроэлементы, ее можно с успехом использовать в металлургии при производстве легированных сталей. Кроме того, мероприятия, направленные на снижение выброса сажистых частиц с продуктами сгорания мазута, одновременно решают и вопросы уменьшения концентрации в атмосфере бенз(а)пирена и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов.

К настоящему времени за рубежом накоплен значи-

тельный опыт внедрения и эксплуатации различных устройств для улавливания твердых продуктов сгорания мазута. Основными аппаратами такого типа являются:

- электрофильтры;
- рукавные фильтры;
- механические уловители;
- комбинации перечисленных устройств.

Электрофильтры для улавливания мазутной золы имеют ряд особенностей по сравнению с пылеугольными. Основными отличиями являются повышенные требования к агрегатам питания, изоляторам высокого напряжения, системам выгрузки золы и т.д. Для предотвращения отложений уловленных частиц внутри изоляторов устанавливают вентиляторы, создающие избыточное давление в отсеках изоляторов во избежание электрического пробоя. Учитывая повышенную адгезионную способность твердых частиц, образующихся при сжигании жидкого топлива, их гигроскопичность и повышенную способность слеживаться, электрофильтры оборудуют нагревателями, обычно электрическими, для повышения температуры газов при пуске котла выше точки росы. Для надежного удаления золы из бункеров устанавливаются электрические или паровые (змеевиковые) обогреватели бункеров под тепловой изоляцией.

Значительные трудности при эксплуатации электрофильтров на мазутных котлах связаны с налипанием твердых частиц. Для предотвращения этого явления иногда впрыскивают аммиак в газоход перед электрофильтром. В Японии большинство установок оснащено подобными устройствами.

Чтобы избежать скопления уловленных частиц в бункерах под электрофильтрами, их необходимо непрерывно удалять из бункеров пневматическим либо механическим путем. Важным в эксплуатации является обеспечение надежной плотности фланцевых соединений бункеров, так как при подсосе воздуха сажа может самовоспламениться.

При налипании частиц к электродам и другим элементам, когда при встряхивании не удается полностью удалить уловленные частицы, степень их улавливания снижается. Характеристики электрофильтров восстанавливаются в результате водных промывок электродов, газораспределительной решетки и бункеров. По данным [1], эффективность улавливания электрофильтрами твердых частиц при сжигании мазута достигает 95 %. Ввод некоторых присадок в мазут отрицательно сказывается на работе электрофильтра. Эффективность его работы в этом случае в зависимости от количества присадки снижается до 65...87 %.

Весьма эффективным средством улавливания мазутной золы являются *тканевые фильтры*, которые размещают обычно за дымососами котлов. Дымовые газы поступают в верхние отверстия рукавов, фильтруются и выходят через боковые поверхности фильтрующей ткани. На газоходах предусмотрены заслонки, позволяющие направлять дымовые газы в обход установки при работе котла на газе. Перед входом газов в фильтровальную установку в них вводится щелочная присадка для нейтра-

лизации SO_3 .

Рукава обычно очищают каждый час путем изменения направления потока газов в течение примерно 1 мин (поочередно по секциям) при помощи вентиляторов, высасывающих отфильтрованный газ обратно через боковые поверхности рукавов в их открытые нижние торцы. Для защиты рукавов от излишнего прогиба ткани во время очистки вдоль внутренней их поверхности устанавливаются проволочные кольца. Обратный поток газа сбрасывает часть уловленной золы, которая затем удаляется при помощи гидравлической системы. Скорость фильтрации при температуре газов $125\text{ }^\circ\text{C}$ составляет около $0,3\text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 фильтрующей ткани при работе всех секций и $0,34\text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 при отключении одной секции на продувку. Эффективность улавливания твердых частиц при использовании тканевых фильтров может достигать 95 %.

В ряде стран на мазутных котлах довольно широкое распространение получили *механические уловители* как наиболее дешевые при сооружении и простые в эксплуатации (хотя и уступающие другим типам в эффективности). Чаще всего для этих целей применяют литые или сварные из конструкционных сталей батарейные циклоны (БЦ) с диаметром элемента $152\dots 305\text{ мм}$. Аппараты с диаметром элемента 254 мм используют на объектах с высотой дымовых труб 120 м и выше. Более низкие трубы обычно требуют повышенной степени улавливания, а так как эффективность циклонов связана с их размерами, в этих случаях используются элементы с меньшими диаметрами.

Одной из существенных трудностей при эксплуатации батарейных циклонов на мазутных котлах является отложение уловленных частиц в элементах, что приводит с течением времени к снижению эффективности и росту аэродинамического сопротивления аппарата. Для предупреждения подобных отложений аппараты оборудуют промывочными устройствами.

Промывка аппарата в течение 24 ч обеспечивает его полную очистку. Для промывки используется вода под давлением $0,7\text{ МПа}$.

При работе батарейных циклонов на котлах, сжигающих отечественное жидкое топливо, на один элемент приходится около 300 мг/ч уловленных частиц. Аэродинамическое сопротивление аппарата при этом составляет около 800 МПа , рекомендуемая температура дымовых газов перед аппаратом — примерно $200\text{ }^\circ\text{C}$. Степень улавливания частиц меняется от 70 до 90 %, что обеспечивает содержание твердых частиц в уходящих дымовых газах на уровне 50 мг/м^3 . При рассмотрении батарейных циклонов в качестве одного из вариантов золоуловителей следует иметь в виду, что изменение нагрузки котла существенно влияет на эффективность их работы. Вследствие этого батарейные циклоны не рекомендуются использовать там, где предполагаются большие колебания нагрузки котлов (например, для городских производственно-отопительных котельных). В то же время данные аппараты наиболее дешевы и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

Удаление из бункеров золоуловителей твердых частиц, образующихся при сжигании мазута, является отдельной достаточно сложной задачей. Это объясняется такими свойствами уловленных частиц, как их гигроскопичность, потеря сыпучести при температурах ниже $150\text{ }^\circ\text{C}$ и высокое содержание горючих.

В зарубежных установках для этой цели применяют

пневматические и гидравлические системы. В пневматических системах для транспортировки уловленных частиц используют воздух с температурой не ниже $150\text{ }^\circ\text{C}$. В пневматической системе имеется клапан с верхним вращающимся шлюзом дискового типа, обеспечивающий разьединение бункера уловителя и верхней камеры, а также нижний шлюз, отделяющий камеру от транспортера. Система работает следующим образом. Вначале открывается верхний шлюз и уловленные частицы заполняют верхнюю камеру. Через некоторое время верхний шлюз закрывается и с помощью уравнивающего клапана давление в верхней камере повышается до значения, несколько превышающего давление в трубопроводе для транспортирования. После выравнивания давления в верхней камере открывается нижний шлюз и ее содержимое поступает в трубопровод. Затем нижний шлюз закрывается, и через определенное время весь цикл повторяется. К недостаткам системы со шлюзами относятся большое количество движущихся элементов, сложность электрических систем управления последовательностью работы затворов, возможность утечки воздуха в бункеры уловителя, что может вызвать самовоспламенение уловленных частиц.

В наиболее эффективных пневматических системах применяют инжекторы. Сжатый воздух под избыточным давлением $0,3\dots 1,0\text{ ат}$ ($30\dots 100\text{ кПа}$) проходит через сопло и создает в камере вакуум, который обеспечивает поступление из бункера уловленных частиц. Преимуществом системы с инжекторами является более высокая надежность вследствие отказа от движущихся частей и полное предотвращение попадания транспортирующего воздуха в бункеры золоуловителя. Наиболее существенный недостаток — повышенный расход воздуха (в $2\dots 3$ раза больше, чем в системах с воздушными шлюзами).

Реже используются системы под давлением с вращающимися звездообразными питателями для подачи уловленных частиц из бункеров в трубопровод. Питатель состоит из вращающегося колеса в форме звезды. Верхним фланцем питатель соединен с бункером уловителя, нижним — с трубопроводом для транспортирования. Уловленные частицы под действием силы тяжести попадают в выемки ротора и при его вращении переносятся в трубопровод. Избыточное давление нагретого воздуха в таких системах — около $0,21\text{ ат}$ (21 кПа). Ограниченное применение таких схем объясняется опасностью залипания выемок питателя, а также попадания воздуха в бункер уловителя.

Другими нашедшими применение пневматическими системами являются системы, работающие под разрежением. Для равномерного удаления уловленных частиц из бункера и ввода их в транспортирующий трубопровод служит клапан. Поступление транспортирующего воздуха в систему осуществляется через специальные клапаны, расположенные с обеих сторон основного клапана. Разрежение создается с помощью воздуходувок (или газодувок, когда транспортирующим агентом служат дымовые газы), расположенные после бункеров. От транспортирующего воздуха уловленные частицы отделяются в циклонах и собираются в специальном сборнике (бункере), откуда выгружаются в автомашины или сыплются в мешки.

Реже применяются гидравлические системы удаления уловленных частиц. В этом случае уловленный материал из бункеров сыпается в резервуар, заполненный водой, затем под давлением перемещается в отстойный резер-

вуар. В качестве транспортирующей среды используется подаваемая насосом вода. Накапливающийся в отстойном резервуаре материал забирается ковшовыми элеваторами и загружается в автомашины. Этот метод требует большого количества воды и средств для ее очистки.

В США на небольших котлах (до 20 т/ч) практикуется сбор уловленных частиц из бункеров непосредственно в пластиковые мешки высокой прочности. Мешки отделены от бункеров системой скользящих заслонок и камерой охлаждения материала до температуры, допустимой для пластика.

В связи с тем, что в уловленном материале содержится большое количество углерода, в некоторых схемах предусмотрен возврат уловленных частиц на повторное дожигание.

Список литературы к п. 1.4.1

1. **Новоселов С.С.** Очистка дымовых газов от твердых частиц при сжигании мазута. М.: СПО Союзтехэнерго, 1979.