

УДК 621.928.94:66.074.9**Л.Н. КУЗНЕЦОВА**, заместитель генерального директора,**Ю.С. ГАВРИШ**, главный инженер проекта, **А.В. ПЕТУХОВ**, главный технолог отдела

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр

металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

УЛАВЛИВАНИЕ И УДАЛЕНИЕ ПЫЛИ ИЗ ПЫЛЕОЧИСТНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ГАЗООТВОДЯЩЕГО ТРАКТА

Определены особенности нестационарного режима работы газоочистки. Указано определяющее влияние влагосодержания отходящих газов на эксплуатацию пылеочистного оборудования. Изложен комплекс мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности систем пылеудаления.

Ключевые слова: реконструкция газоочистки, циклон, электрофильтр, системы сухого пылеудаления, технологические и конструктивные мероприятия, работа оборудования газоочистки.

В условиях стационарного режима работы газоочисток сухого типа эксплуатация достаточно апробированных систем пылеудаления обычно не представляет существенных трудностей. В то же время обеспечение эксплуатационной надежности систем пылеудаления газоочисток при переменных параметрах газопылевого потока вызывает определенные сложности в связи с изменяющимися физическими и химическими свойствами улавливаемой пыли.

Данная проблема рассмотрена применительно к режиму работы газоочистки установок отделения десульфурации чугуна (ОДЧ) конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь».

Процесс отвода отходящих газов установок десульфурации характеризуется резким изменением температурного режима, обусловленным цикличностью принятого технологического процесса. На протяжении цикла, включающего подготовку к продувке, собственно продувку, вывоз десульфурированного чугуна и подачу следующих ковшей, происходит постоянное изменение температуры отходящих газов в диапазоне, содержащем температуру точки росы.

В соответствии с принятой технологией процесс десульфурации чугуна состоит из двух периодов:

- продувки ковшей сжатым воздухом с подачей гранулированного магния, во время которой расчетная температура отходящих газов достигает 200–250 °С, незначительно уменьшаясь к концу процесса;
- межпродувочного периода, в течение которого через газоотводящий тракт транспортируется атмосферный воздух, имеющий температуру окружающей среды (от –32 °С зимой до +38 °С летом).

Одним из основных факторов, определяющих работоспособность как пылеочистных аппаратов, так и оборудования систем сухого пылеудаления, является наличие капельной влаги. Ее количество зависит от величины влагосодержания отходящих газов и разницы между температурами подсосываемого атмосферного воздуха и отходящих газов.

Как показали исследования, проведенные ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» около 30 лет назад и подтвержденные при замерах в 2013 г., величина влагосодержания отходящих газов колеблется на уровне 8–24 г/м³ в зависимости от периода работы газоочистки [1]. В то же время согласно результатам испытаний лаборатории ПАО «МК «Азовсталь» величина влагосодержания отходящих газов составляет 84–85 г/м³.

По климатологическим данным г. Мариуполя, средняя относительная влажность изменяется в диапазоне 43–86 % (2–19 г/м³ сухого газа в абсолютных единицах) в зависимости от температурного периода года.

Повышенное влагосодержание отходящих газов в процессе продувки объясняется недостаточно эффективной работой установки осушки сжатого воздуха, вследствие чего сконденсировавшаяся в воздухопроводах влага частично попадает в газоотводящий тракт. Таким образом, влагосодержание газопылевого потока от продувочных установок ОДЧ формируется из двух составляющих – влажности атмосферного воздуха, подсосываемого через аспирационные зонты над ковшами, и влаги, содержащейся в сжатом воздухе.

Влагосодержание отходящих газов оказывает влияние на работоспособность газоочистки посредством:



- образования капельной влаги в отходящих газах за счет смешения газовых потоков разной температуры и охлаждения общего потока до температуры ниже точки росы;
- конденсации паров воды на охлажденных (в межпродувочный период) до атмосферной температуры внутренних поверхностях газоходов и аппаратов газоочистки в процессе продувки ковшей сжатым воздухом, характеризующемся повышенной температурой и высокой степенью насыщенности влагой. Процесс конденсации паров воды происходит вплоть до уравнивания температуры внутренних поверхностей с температурой отходящих газов. Необходимо отметить, что второй механизм заметнее влияет на эффективность работы газоочистки, чем первый.

В результате периодического изменения режима работы газоочистки (в среднем один раз в час) внутренние поверхности газоходов и аппаратов газоочистки практически постоянно подвергаются воздействию сконденсировавшейся влаги.

Количество парообразной влаги, поступающей за 1 мин в газоотводящий тракт с отходящими газами (при расходе 300 тыс. м³/час), с учетом указанного выше влагосодержания можно оценить как сумму 100–150 кг атмосферной влаги и 500–600 кг воды, содержащейся в сжатом воздухе.

Образование сконденсировавшейся влаги даже при незначительном содержании паров оксидов серы отрицательно сказывается на коррозионной стойкости элементов газоотводящего тракта (в связи с образованием смеси сернистой и серной кислот). Однако еще более негативную роль играет осаждение части влаги в жидкой фазе на рабочих элементах пылеулавливающих аппаратов и частицах пыли.

Таким образом, в указанных выше условиях газоотводящего тракта чрезвычайно важную роль играет выбор оптимального типа пылеулавливающего аппарата.

В настоящее время в мировой практике для очистки отходящих газов установок ОДЧ применяются в основном тканевые фильтры и электрофильтры [2]. Рассматривая выбор типа пылеулавливающего аппарата установок десульфурации чугуна с точки зрения эффективности пылеулавливания и беспроблемной экс-

плуатации, в т.ч. бесперебойного функционирования систем пылеудаления, необходимо помимо физических параметров газопылевого потока принимать во внимание размер частиц и химический состав улавливаемой пыли. Для этого в процессе исследований, выполненных ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», был определен фракционный и химический состав пыли, выделяющейся при продувке чугуна сжатым воздухом с подачей гранулированного магния (табл. 1, 2). Отбор проб такой пыли производился непосредственно из пылегазового потока перед газоочисткой отделения десульфурации чугуна [3].

Пыль, выделяющаяся при продувке, содержит крупнодисперсные чешуйки практически чистого графита размером 80 мкм и более и мелкодисперсные частицы оксидов железа, магния и кальция размером 2–60 мкм.

Следует отметить, что пыль указанных составов отличается повышенной склонностью к слеживаемости и слипанию. Кроме того, величина удельного электрического сопротивления (УЭС) для крупнодисперсной графитсодержащей составляющей значительно отличается от аналогичного показателя мелкодисперсных частиц, состоящих в основном из оксидов металлов.

Результаты исследований зависимости УЭС пыли определенного химического состава от температуры представлены на рис. 1, 2.

Необходимо также отметить, что наличие в составе пыли оксидов магния и кальция предопределяет чрезвычайно высокую реагентную способность к образованию гидроксидов металлов при наличии воды в жидкой фазе.

С большой долей вероятности можно утверждать, что осаждение капель влаги на частицах пыли, содержащих суммарно 15–20 % оксида кальция и магния, уловленных на поверхностях электродов электрофильтра, а также на поверхности и внутри материала рукавов тканевого фильтра, сопровождается достаточно интенсивной реакцией с образованием субмикронных частиц гидроксидов магния и кальция (Mg(OH)₂ и Ca(OH)₂). Частицы субмикронного размера, попавшие внутрь материала рукавов тканевого фильтра, практически не удаляются системой импульсной регенерации, поскольку энергии сверхзвуковой струи продувочного воздуха не хватает для их отрыва от поверхности волокон филь-

Таблица 1 – Дисперсный состав пыли

Размер фракции, мкм	20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–200	200–400	400–600	600	D ₅₀
Массовая доля, %	15	15	12	8	10	10	10	15	5	80

Таблица 2 – Химический состав пыли

Компонент	C	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Содержание, %	42–45	35–38	12–15	3–4	0,5	1,5

травального материала. Повышение давления сжатого воздуха не оказывает при этом заметного влияния на величину энергии струи, а увеличение частоты импульсов желаемого эффекта дать не может. В результате происходит интенсивное «забивание» фильтрующего материала, что влечет за собой необходимость частой замены полного комплекта рукавов.

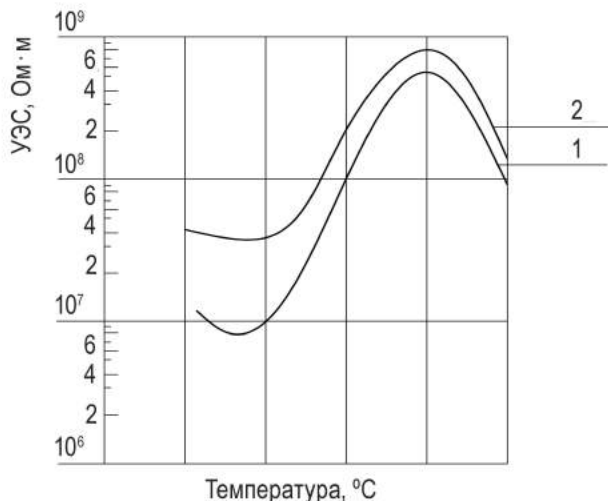


Рисунок 1 – Зависимость удельного электрического сопротивления пыли установок отделения десульфурации чугуна от температуры газов: пыль, отобранная перед циклонами (1) и после циклонов (2)

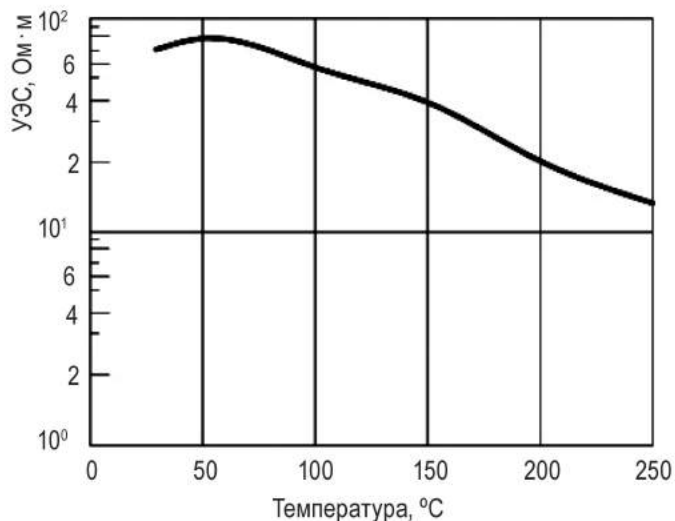


Рисунок 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления графитсодержащей составляющей пыли, уловленной в циклонах, от температуры газов

В мировой практике отсутствуют мероприятия, позволяющие избежать реакции химического взаимодействия оксидов металлов с водой, а постоянное поддержание температуры пылегазового потока на уровне, превышающем температуру точки росы на 20–30 °С, тех-

нически и экономически нецелесообразно в связи со значительными затратами тепла.

В отличие от рукавного фильтра система регенерации (стряхивания) электродов электрофильтра предполагает возможность изменения в определенном диапазоне частоты, амплитуды и величины ударного импульса в соответствии со свойствами уловленной электродами пыли (в данном случае склонностью к слипанию), что обеспечивает достаточно надежную очистку осадительных электродов.

При сравнении эффективности пылеочистки в рассматриваемых аппаратах необходимо принимать во внимание низкую величину УЭС графитсодержащей составляющей пыли (рис. 2), обуславливающую невозможность достаточно эффективной очистки газов только с помощью электрофильтра. В связи с этим целесообразно производить предварительную очистку пылегазового потока от крупнодисперсных графитсодержащих фракций пыли, одновременно изменяя ее химический состав для увеличения УЭС пыли до приемлемых значений. В качестве аппаратов первой ступени оптимальным является применение центробежных циклонов, обеспечивающих вывод 95–98 % графитсодержащих частиц. В этом случае использование электрофильтра в качестве аппарата тонкой очистки газов позволит гарантированно очистить их до конечного пылесодержания менее 50 мг/м³.

Исходя из вышесказанного оптимальным вариантом для очистки нестационарных газопылевых потоков является применение двухступенчатой газоочистки (рис. 3) с установленными на первой ступени центробежными циклонами нового поколения, осуществляющими вывод из отходящих газов графитсодержащей крупнодисперсной фазы пыли. Тем самым газопылевой поток подготавливается к тонкой очистке в электрофильтре – самом надежном аппарате для условий нестационарного потока.

Величина продувки, а также межпродувочного периода работы установки ОДЧ не регламентирована, поскольку она зависит от многочисленных факторов, в числе которых:

- колебания величины содержания серы в чугуне;
- нестабильный (допускающий различные интервалы) график подачи чугуна из доменного цеха;
- готовность подвижного состава и технологической схемы подачи магния, а также необходимость проведения обширного комплекса работ по обслуживанию установок ОДЧ.

В результате длительность цикла десульфурации партии, состоящей из пяти чугуновозных ковшей, постоянно меняется. В такой ситуации перед проектировщиками газоочистки стоят две основные задачи:

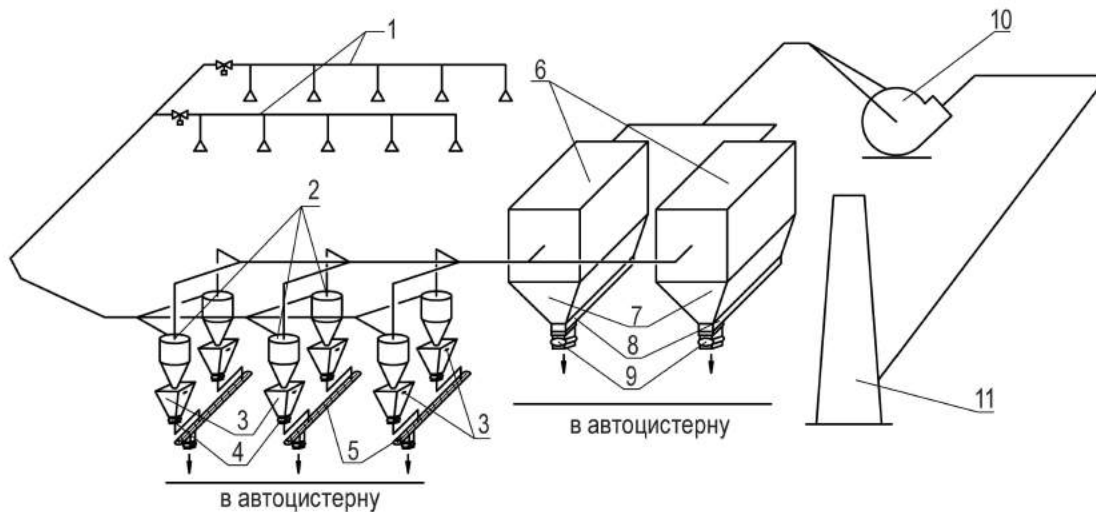


Рисунок 3 – Схема двухступенчатой газоочистки установок десульфурации конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь»:
 1 – ветви продувочных установок ОДЧ; 2 – центробежные циклоны нового поколения; 3 – бункера циклонов; 4, 9 – шлюзовые питатели;
 5, 8 – винтовые конвейеры; 6 – двухсекционный электрофильтр; 7 – бункера электрофильтра; 10 – дымосос; 11 – дымовая труба

1. Обеспечить минимальное воздействие фактора нестационарности параметров технологического процесса отвода отходящих газов установок ОДЧ на элементы газоотводящего тракта.

2. Обеспечить такое физическое состояние уловленной в аппаратах пыли, которое позволяет стабильно эксплуатировать пылеудаляющее оборудование.

Решение первой задачи заключается в разработке и внедрении комплекса технологических и конструктивных мероприятий, включающих:

- надежную отсечку газоплотными клапанами неработающей ветви продувочных установок, что позволит наряду с уменьшением общего расхода отходящих газов на газоочистку (рис. 3) одновременно увеличить объем газов, отводимый от каждого чугуновозного ковша, с повышением коэффициента локализации до 95–98 %. При этом для исключения одновременного отвода газов от двух ветвей ОДЧ предусмотрена автоматическая блокировка;
- установку минимально необходимого расхода отходящих газов из условия максимальной локализации газопылевых выбросов из ковшей и, соответственно, поддержание достаточно высокой температуры отходящих газов, обеспечивающей подсушивание элементов газоотводящего тракта и благоприятно влияющей на эффективность очистки газов в электрофильтре (рис. 1);
- применение устройства плавного пуска, позволяющего выполнить многократное включение дымососа после его остановки в межпродувочный период для исключения резкого охлаждения элементов газоотводящего тракта атмосферным воздухом при значительном интервале времени между продувками;

- обеспечение газоплотности газоотводящего тракта для предотвращения охлаждения газопылевого потока за счет подсосов атмосферного воздуха;
- теплоизоляцию газоходов и аппаратов для уменьшения интенсивности охлаждения элементов газоотводящего тракта.

Основной идеей в решении второй задачи является создание условий для эксплуатации систем сухого пылеудаления из аппаратов газоочистки, при которых будет отсутствовать влияние нестационарных параметров газопылевого потока на состояние пыли.

Схемы систем пылеудаления из бункеров циклонов и электрофильтра представлены на рис. 3.

Газоочистка предложенной конструкции содержит восемь пылеочистных аппаратов, каждый из которых снабжен бункером для выгрузки пыли. Исходя из расчетной величины количества улавливаемой пыли в циклонах и электрофильтре определены скорость и время наполнения пылью каждого бункера в объеме, равном стандартной емкости автомобильной цистерны (8,8 м³). На основании полученных данных разработана циклограмма вывоза пыли из бункера каждого аппарата и определено количество автомобилей, необходимых для бесперебойного вывоза пыли с учетом существующих на комбинате условий транспортной логистики.

С помощью датчика, измеряющего уровень пыли в каждом бункере, определяется момент своевременного опорожнения бункера для предотвращения слипания частиц пыли. Расположение датчиков учитывает наличие минимально необходимого слоя пыли в бункерах после выгрузки для надежного исключения подсосов атмосферного воздуха через тракт пылетранспортирующего оборудования.



ВЫВОДЫ

Существенную роль в обеспечении дальнейшей беспрепятственной транспортировки пыли, включая погрузку, перевозку и выгрузку из цистерны, играет физическое состояние пыли, особенно величина влажности. Поэтому для подсушивания влажной пыли, вероятность попадания которой в бункера пылеочистных аппаратов не исключена в связи с нестационарным режимом работы газоочистки, предложена система обогрева бункеров и пылетранспортирующего оборудования. Подача энергии на обогрев стенок бункеров происходит в автоматическом режиме в зависимости от величины температуры газов над уровнем пыли в бункере. Согласно предварительной оценке значение температуры газов, определяющее момент включения систем обогрева бункеров аппаратов, находится в диапазоне 30–50 °С.

Таким образом, сухое состояние пыли обеспечивается при любых изменениях параметров газопылевого потока, поступающего на очистку, и температуры окружающей среды. Для исключения возможности подмерзания пыли в холодный период года при транспортировке винтовыми конвейерами и шлюзовыми питателями предусмотрен обогрев внешних поверхностей транспортирующих агрегатов до температуры 5 °С, а для уменьшения тепловых потерь бункера и пылетранспортирующее оборудование полностью изолированы материалом, обеспечивающим тепловые потери на уровне не более 50 Вт/м².

В качестве устройств нагрева поверхностей разных конфигураций, включая криволинейные, целесообразно использовать надежные нагревательные провода простой конструкции (к примеру, производства фирмы ETIREX-CHROMALOX), имеющие рабочий диапазон нагрева от 10 до 150 °С.

Учитывая, что при среднепродувочной расчетной температуре пылегазового потока не ниже 120 °С основные затраты энергии приходится на компенсацию потерь тепла за счет теплопроводности, суммарное количество электроэнергии на обогрев систем пылеудаления газоочистки в зависимости от температурного периода года составит 15–35 кВт.

1. Определены особенности нестационарного режима работы газоочистки и их влияние на эксплуатацию пылеочистного оборудования. Предложено при выборе оптимального типа пылеулавливающего аппарата тонкой очистки для эксплуатации в условиях нестационарного технологического процесса учитывать изменения физико-химических свойств пыли.

2. Показано, что в условиях нестационарного процесса, отличающегося изменением физических и химических свойств пыли, оптимальной является двухступенчатая схема газоочистки с последовательно установленными циклонами и электрофильтром.

3. Предложен ряд технологических и конструктивных мероприятий, позволяющих минимизировать негативное влияние фактора нестационарности параметров газопылевого потока.

4. Изложен комплекс мероприятий, направленных на обеспечение параметров пыли, позволяющих поддерживать стабильную работу системы ее удаления из бункеров пылеулавливающих аппаратов в условиях нестационарного режима работы газоочистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование работы сухой газоочистки установки десульфурации чугуна и повышение эксплуатационной надежности электрофильтра: отчет о НИР/ВНИПИЧерметэнергоочистка; рук. Ерошенко В. Г. – X., 1981. – 22 с. – № ГР 80011024. – Инв. № Б 935425. – Арх. № 0245.
2. Обобщение опыта проектирования, строительства и эксплуатации газоочисток установок десульфурации чугуна: отчет / ВНИПИЧерметэнергоочистка. – X., 1980. – Арх. № Л-30329.
3. Результаты обследования системы аспирации отделения десульфурации кислородно-конвертерного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»: отчет / ООО «ГИПРОМЕЗ». – Днепропетровск, 2013. – Арх. № 02-4-046-13-0Т.

Поступила в редакцию 16.05.2014

Визначено особливості нестационарного режиму роботи газоочистки. Вказано визначальний вплив вологовмісту відхідних газів на експлуатацію пилоочистного обладнання. Викладено комплекс заходів щодо забезпечення експлуатаційної надійності систем пиловидалення.

Features of non-stationary mode of gas cleaning operation are determined; defining influence of moisture content in waste gas on dust cleaning equipment operation is shown. Range of measures to provide operation of dust cleaning equipment is given.