УДК 621.928.9

ОЧИСТКА ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Буров А.А.

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты экспериментальных промышленных исследований применения системы каналов с замкнутыми контурами для очистки газов при производстве и транспортировании сыпучих материалов. На примерах многолетней эксплуатации (буранов) многоканальных пылеуловителей с замкнутыми контурами показано их преимущества перед циклонами и фильтрами.

ВВЕДЕНИЕ

Для производства одной тонны цемента по мокрому способу расходуется 320 кг условного топлива. Теоретически необходимый минимальный расход – 25 кг. При переходе с мокрого на сухой способ производства цемента затраты энергии уменьшаются в 1,5 – 2 раза. Со времени изобретения цемента прошло почти 200 лет, а способ его производства почти не изменился. Прокаливание смеси известняка и глины при температуре 1400 – 1500 ^{0}C приводит к образованию различных сплавов оксидов кальция и двуокиси кремния, эти сплавы и являются основой цемента. В дальнейшем в смесь стали добавлять воду, благодаря чему получается однородная масса и улучшается качество цемента из за резкого возрастания затрат энергии на выпаривание. Если в компонентах присутствует хлористый кальций, цемент можно обжигать при температуре около 1000ºС, что почти на треть снижает расход нефти или газа сжигаемого во вращающихся печах.
ДООЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Дымовые газы вращающейся печи обжига клинкера ЗАО “Одессацемент ” очищаются в двенадцать параллельно соединённых циклонах фирмы братьев Крейзель, диаметром 1400 мм каждый и установленном за ними унифицированном сухом горизонтальном электрофильтре серии УГ с тремя секциями. Очищенные таким образом дымовые газы с помощью центробежного дымососа выбрасываются через трубу в атмосферу. По данным [1 – 5], образующаяся пыль во вращающейся печи обжига клинкера при мокром способе производства цемента имеет иглообразную пластинчатую и многогранную форму. Они способны коагулировать. В проходящем свете частицы светлого тока, в общей массе пыль бежевого цвета. РН- водной вытяжки 9. Медианный диаметр частиц δ_{50} = 2,8 мкм; стандартное отклонение σ = 2,3; удельная поверхность $S_{уд}$ = 17300 см^2/г; истинная плотность вещества $\rho_и$ = 2750 кг/м^3; насыпная плотность пыли $\rho_{н/у}$ = 561 кг/м^3; насыпная плотность уплотненной пыли $\rho_у$ = 820 кг/м^3; статический угол естественного откоса пыли $\alpha_с$ = 78º ; динамический угол откоса $\alpha_д$ = 46º ; разрывная прочность (слипаемость) пылевого слоя Р = 3200 Па. При изменении относительной влажности воздуха от 10 до 95% равновесная влажность пыли повышается с 0,8 до 6,9%. С ростом температуры от 20 до 250ºС, удельное электрическое сопротивление слоя пыли возрастает от 10^8 до $4\cdot10^{11}$Ом.м. Температура дымовых газов на выходе из печи 250 – 280ºС, содержание в них влаги от 30 до 45 г/м^3 ,их запылённость от 30 до 80 г/нм^3.

При запылённости дымовых газов около 80 г/нм^3 и их расходе порядка 100000 нм^3/ч массовый расход уносимой из печи пыли достигает 8 т/ч. Из них порядка 7 т/ч улавливается циклонами и около 1 т/ч – электрофильтром. В атмосферу выбрасываются с помощью центробежного дымососа через дымовую трубу частицы размером менее 1мкм. Если в электрофильтр поступают частицы с медианным диаметром порядка 3 мкм, а выходят из него с медианным диаметром δ_{50} = 0,3 мкм (меньшим на порядок), то число частиц в 1 кг пыли выходящей из электрофильтра в атмосферу будет одинаковым с числом частиц, содержащихся в 1 тонне уловленной электрофильтром пыли. В отличии от улавливаемой электрофильтром пыли, субмикронные частицы не задерживаются в верхних дыхательных путях, они проникают в альвеолы лёгких и закупоривают их, замазывают поры листьев растений, затрудняя в них газовый обмен. Поэтому снижение содержания субмикронных частиц в промышленных выбросах в атмосферу – актуальная задача, решение которой возможно при использовании дымососа в качестве концентратора и коагулятора субмикронных частиц.

Центробежный дымосос ДВ-9а фирмы братьев Крейзель с двухсторонним входом газового потока установлен между электрофильтром и дымовой трубой. При мощности электродвигателя 320 кВт и вращении рабочего колеса дымососа с n = 980 об/мин, достигается максимальное разрежение на входе 2400 Па, максимальный расход без подключения сети достигает 180000 м^3/ч. Ширина корпуса улитки дымососа равна 1250 мм. На криволинейной стенке имеется смонтированный люк со стороной отверстия 600 мм. Расстояние от рабочего колеса дымососа до крышки люка так же 600 мм. Для забора из корпуса улитки дымососа концентрированной периферийной части запылённого потока дымовых газов, к крышке люка был приварен заборный карман шириной 1250 мм и глубиной 30 мм.

Концентрированная часть поступала в горизонтальный пылеуловитель с четырьмя криволинейными каналами [6 – 8]. Пылеуловитель был установлен между дымососом и электрофильтром в ограниченном по высоте пространстве. Из пылеуловителя, забранная часть дымовых газов подавалась в напорный газоход после дымососа с помощью центробежного вентилятора №8 и соединялось с основным потоком. Максимальная производительность вентилятора достигала 18000 м^3/ч. Представленная на рисунке 1 система доочистки дымовых газов после электрофильтра работала по открытой схеме, что бы не допустить воздействия на режим обжига клинкера в печи.

Как следует из представленной схемы, пылеуловитель с замкнутыми контурами – единственный не стандартный элемент системы. Результаты проведенных промышленных испытаний технологической линии по обжигу клинкера во вращающейся печи с использованием системы доочистки дымовых газов после

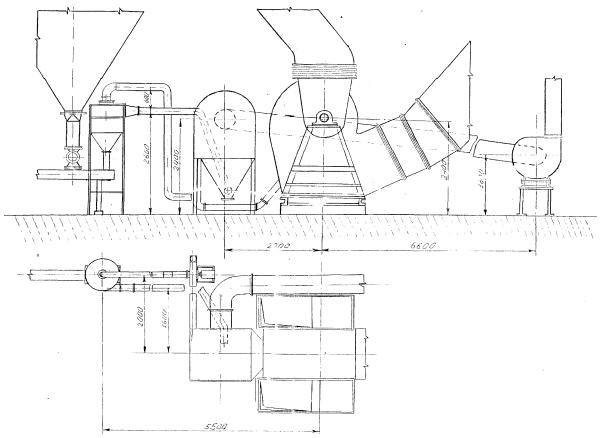

Рис.1 Схема открытой системы доочистки дымовых газов после электрофильтра.

электрофильтра: при производительности печи 12,1 т/ч, расход газов на входе в дымосос равнялся 107500 м^3/ч (температура дымовых газов перед электрофильтром 165 ^{0}C) приведенный к нормальным условиям расход составил 72000 м^3/ч. При запылённости дымовых газов после их очистки в электрофильтре 0,2 г/нм^3, выбрасывалось в атмосферу 14,4 кг/ч субмикронных частиц пыли. Расход забираемой из дымососа и направляемой в пылеуловитель части дымовых газов составил 8500 нм^3/ч, их запылённость- 1,25 г/нм^3, запылённость дымовых газов на выходе из пылеуловителя с замкнутыми контурами- 0,744 г/нм^3. Расход уловленной пыли- 4,3 кг/ч. Коэффициент улавливания субмикронных частиц клинкера в пылеуловителе 60%, общий коэффициент улавливания в системе доочистки дымовых газов после электрофильтра – 30%.

ТРАНСПОРТИРОВКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Цемент является энергоёмким продуктом, и его экономия представляется эффективным направлением сбережения энергоресурсов. Одним из наиболее интенсивных источников загрязнения окружающей среды и потерь цемента является высоконапорный пневмотранспорт, который широко используется на предприятиях производящих строительные материалы. Принципиальная схема высоконапорного пневмотранспорта цемента представлена на рисунке 2. Компрессорный воздух забирает в аэрожелобах цемент из силосов и подаёт его в бункер через разгрузитель, из которого он направляется для доочистки в циклон или рукавный фильтр и выбрасывается в атмосферу на отметке около 20 м.

Залипание фильтрующих поверхностей рукавных фильтров и быстрый износ циклонов, расположенных на верхнем этаже бетоносмесительного отделения, приводит обычно к их отключению в атмосферу компрессорного воздуха без очистки от пыли. Попытка вместо отключенного циклона доочищать компрессорный воздух в установленной на бункере системе с двенадцатью замкнутыми контурами, привела к деформации и вибрации стенок бункера.

При демонтаже системы и её ревизии были выявлены дефекты изготовления. На этот же бункер была установлена вместо 12 – ти канальной 5 – ти канальная система с замкнутыми контурами. Она изготовлена из жести с диаметром выходного патрубка – 100 мм. При визуальном наблюдении снижение выбросов цемента в атмосферу не вызывало сомнений. Но из-за сложности замеров промышленные испытания с соответствующими измерениями не проводились. Несмотря на то, что

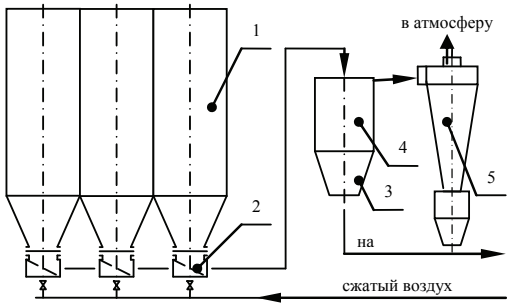

Рис.2 Схема высоконапорного пневмотранспорта цемента: 1 – силосные ёмкости, 2 – аэрожелоба, 3 – бункер цемента, 4 – разгрузитель типа "пылевой мешок", 5 – циклон с бункером- пылесборником.

аппарат был изготовлен тонкостенным, он проработал без истирания и замены более 20 лет. Негативные явления, связанные с бункером для 12-ти канальной системы были устранены.

Для качественной оценки была исследована аналогичная система пневмотранспорта цемента [9]. Цемент закачивался в бункер дважды в сутки.

В зависимости от количества находящегося в бункере цемента время закачки изменялось от 10 до 30 минут. Зависимость средней скорости воздушного потока перед выбросом его в

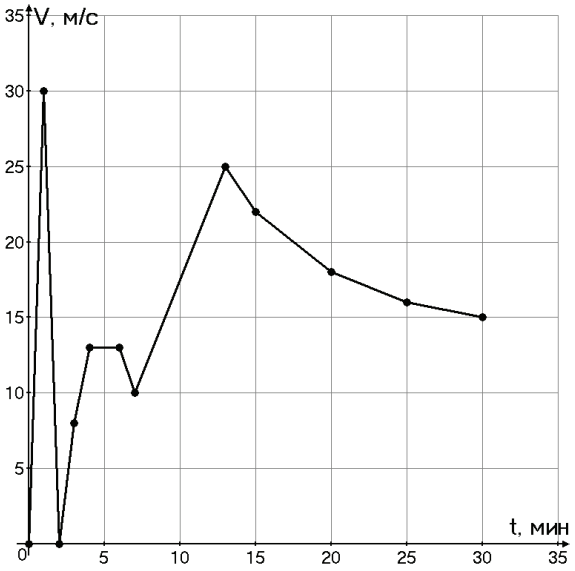

Рис.3 График колебаний воздуха во время закачки цемента.

атмосферу от времени закачки приведено на рисунке 3.

В отличие от системы представленной на рисунке 2, в данной системе пневмотранспорта вместо циклона был установлен рукавный фильтр. Колебания давления и скорости запылённого потока ускоряют износ рукавов фильтра в местах их крепления к раме. Большая запылённость (до 200 г/м^3), поступающего в фильтр после разгрузителя воздух и конденсация на фильтрующей поверхности атмосферной влаги быстро вывели фильтр из строя и он был отключён от системы пневмотранспорта цемента.

В 1993 г на верхней крышке отключённого рукавного фильтра был установлен вертикальный пылеуловитель с восемью замкнутыми контурами (рис.4). Рукава были демонтированы и корпус фильтра служил бункером для системы каналов с замкнутыми контурами. Система эксплуатируется без ремонта более 15 лет. Эффективность пылеуловителя определялась по наполнению бункера.

Многолетняя эксплуатация без ремонта систем последовательно соединённых каналов свидетельствует о надёжной работе в условиях интенсивного абразивного износа полуобечаек. Это возможно при большей долговечности внешних полуобечаек и подтверждает справедливость вывода о первоочередном износе центральных полуобечаек системы. При малых, по сравнению с известным пылеулавливающим оборудованием, массах и габаритах, пылеуловители с замкнутыми контурами значительно удешевляют и упрощают работы связанные с изготовлением и монтажом.

Рис.5 Бункер рукавного фильтра и система каналов с замкнутыми контурами.

Коксовая пыль – готовый тонкодисперсный продукт участка углесодержащих порошков металлургического завода. Её потери на предприятии стремятся свести к минимуму. Запылённые коксовой пылью воздушные транзитные потока очищаются в рукавных

фильтрах разной производительности, перед которыми установлены цилиндрические циклоны ЦН – 15 различных диаметров [10,11]. Интенсивный абразивный износ циклонов снижает в них коэффициент улавливания пыли, повышает пылевую нагрузку на рукавные фильтры, сокращает срок службы рукавов и увеличивает эксплуатационные расходы, связанные с циклонами и рукавными фильтрами.

Выход из строя рукавов увеличивает потери коксовой пыли и загрязнение окружающей среды. Циклоны эксплуатируются без ремонта до 6

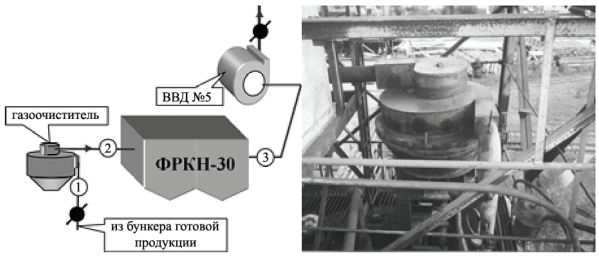

Рис.5 Схема аспирации бункера готовой продукции и вертикальный буран с n = 4 и $Q_p = 2{,}5 \cdot 10^3$ нм^3/ч.

месяцев. Схема газоочистки (рис.5) состоит из циклона ЦН – 15 диаметром 400 мм и рукавного фильтра ФРКН – 15.

В бункер готовой продукции подаётся пневмотранспортом пыль, уловленная системой газоочистки, и накапливаемый в приёмном бункере камерного насоса готовый продукт – тонкая фракция измельчаемого кокса.

Время подачи порошка кокса камерным насосом менее одной минуты, он подаётся при разных режимах с интервалом от 5 до 20 минут. В зависимости от времени года температура запылённого воздуха на входе в буран изменяется от 4 до 30ºС. Система аспирации бункера готовой продукции работает попеременно в 2 – х режимах: ожидания и подачи. Первый режим создается центробежным вентилятором ВВД №5, второй – сжатым воздухом камерного насоса и работающим вентилятором с увеличением скорости воздуха на входе в буран (рис.6).

В режиме ожидания воздух из атмосферы подсасывается в системы аспирации при подаче –

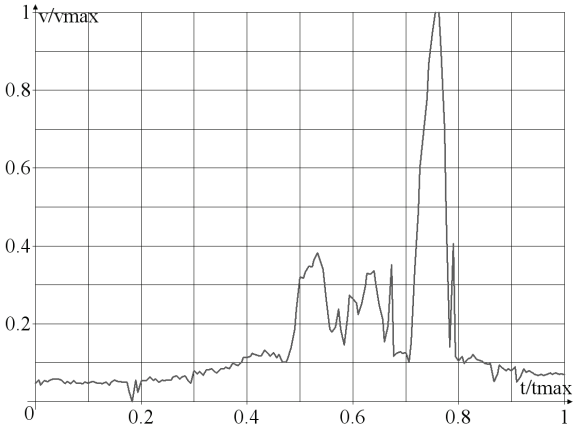

Рис.6 Изменение скорости воздуха на входе в буран (V_{max} = 50 м/с, t_{max} = 3 мин.) [11].рафик колебаний воздуха во время закачки цемента.

готовый продукт транспортируется сжатым воздухом с увеличением запылённости потока в 36 раз (таблица 1). Коэффициент уноса в обоих режимах близкий к расчётному ε = 11 %.

Наименование показателя	Режим работы	
	ожидание	подача
Расход запылённого воздуха на входе, м^3/ч	450	5000
Расход запылённого воздуха на выходе, м^3/ч	500	4700
Подсос воздуха в буране, %	11	– 6
Температура воздуха на входе, ºС	9,5	12
Температура воздуха на выходе, ºС	8	10
Запылённость воздуха на входе, г/м^3	1,2	3,7
Запылённость воздуха на выходе, г/м^3	0,1	0,4
Коэффициент уноса пыли, %	9	11
Расход пыли на входе, кг/ч	5,4	185
Расход пыли на выходе, кг/ч	0,05	18

Табл.1 Извлечение коксовой пыли в буране с n = 4 и $Q_p = 2{,}5 \cdot 10^3$ нм^3/ч

ВЫВОДЫ

На основании многолетней эксплуатации пылеулавливающего оборудования созданного на основе систем последовательно соединённых каналов с замкнутыми контурами сделаны следующие выводы:

- Пылеуловители с замкнутыми контурами способны улавливать тонкодисперсную пыль после существующих систем газоочистки на цементных производствах.
- При сухом способе производства цемента многоканальные пылеуловители бураны могут вернуть в производство уловленную пыль, которую вывозят в отвалы из-за потери её свойств под воздействием электрического поля создаваемого электрофильтрами.
- Длительные сроки безотказной работы систем с замкнутыми контурами свидетельствуют об их надёжности; постоянный коэффициент

улавливания пылеуловителей при нестационарных режимах пневмотранспорта сыпучих материалов расширяет область применения аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть I. Летучая зола тепловых электростанций/Л.Я.Скрябина. – М.: ЦНТИ Химнефтемаш, 1980. – 48 с.
2. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть II. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности/Л.Я.Скрябина. – М.: ЦНТИ Химнефтемаш, 1981. – 37 с.
3. Непомнящий Е.А. Некоторые результаты изучения кинетики смешивания и сепарирования дисперсных материалов/Е.А.Непомнящий // ИФЖ, 1967. – Т. 12. №5.
4. Непомнящий Е.А. Кинетика стесненного осаждения и ориентирования частиц в электрическом поле // Изв. ЛЭТИ, Л.: 1972, вып 109. – С. 6 – 11.
5. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов/П.А.Коузов. – Л.: Химия, 1974. – 361 с.
6. Буров А.А. Фильтр с обратными связями/А.А.Буров, А.И.Буров//Материалы региональной научно-технической выставки вузов г. Одессы “Перспектива XXI”.-Одесса, 1996.-С.-52.
7. Буров А.А. Центробежный сепаратор/ А.А.Буров, А.И.Буров, П.А.Котляревский, Н.Х.Кошур, А.А.Мальгота //Патент РФ№2016665. – Б.И. -1994.-№14.
8. Буров А.А. Пылеулавливание клинкера после электрофильтра/ А.А. Буров, А.И. Буров, А.Л. Становский //Материалы 37-го семинара “Моделирование в материаловедении”. – Одесса, 1998. – С.124.
9. Буров О.О. Багатоканальний відцентровий золопиловловлювач для аспірації теплоенергетичного обладнання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.06 “Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика” / Буров Олексій Олександрович; ОНПУ. – Одеса, 2002. – 19с.
10. Балан С.А. Очистка воздуха аспирируемого при транспортировке и измельчении угольного порошка/ С.А. Балан, А.А. Буров, А.И. Буров, А.П. Лепихин, Д.А Серебрянский // Сб. научных статей „Энергосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования”. – Одесса: ОГАСА, 2002. – С. 79.
11. Серебрянський Д.О. Підвищення ефективності газоочистки теплових енергетичних установок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.06 “Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика” / Серебрянський Дмитро Олександрович; ОНПУ. – Одеса, 2004. – 19с.