

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНЕРЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ-СЕПАРАТОРОВ

Санкт-Петербург, СПбГТУ

Введение

Многие производственные процессы сопровождаются значительным выделением пыли, которая оказывает вредное воздействие на организм человека, что делает очистку промышленных газов от пыли особенно актуальной для различных производств. Проблема снижения пылевых выбросов с целью обеспечения допустимых концентраций пыли в воздушном бассейне промплощадки и населенных мест может быть решена, если для каждого конкретного случая обосновано выбрать экономичный и достаточно эффективный пылеуловитель. При этом необходимо исходить из условий рациональной технологии, правильной эксплуатации пылеулавливающих устройств и эффекта рассеивания пыли в атмосфере.

Промышленные выбросы составляют около двух третей пылевого загрязнения атмосферы, из них более 40% приходится на долю тепловых электростанций, примерно по четверти – предприятий строительных материалов и металлургии, около 5% – остальных отраслей промышленности. Тепловые электростанции и цементные производства выбрасывают в атмосферу в среднем шестую часть содержащихся в газах взвесей, металлургические предприятия – до половины.

Очистка воздуха от взвешенных частиц производится при помощи газоочистительных аппаратов-пылеуловителей и фильтров. Пылеуловители предназначены для улавливания технологической пыли и очистки выбросного вентиляционного воздуха.

Надежность объекта есть его свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени эксплуатационные показатели в заданных пределах. Функциями сепарационных устройств могут быть грубое (извлечение взвеси из газа) или тонкое (очистка газа от взвеси) разделение двухфазного потока, основные эксплуатационные показатели - качество, производительность и стоимость сепарации.

Около 80% от стоимости инерционной сепарации промышленных аэрозолей составляют затраты на электроэнергию. Они определяются преимущественно потерей напора потока в сепарационном устройстве:

Качество грубого разделения фаз оценивается коэффициентом захвата (улавливания) взвеси:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n},$$

качество тонкого разделения фаз оценивается коэффициентом уноса взвеси:

$$\xi = \frac{C_k}{C_n},$$

где C_n и C_k – концентрации взвеси в потоке до и после сепарации.

Производительность определяется в первом случае расходом захваченной взвеси:

$$C = \eta \cdot C_n \cdot Q,$$

а во втором расходом очищенного газа

$$Q = v \cdot S,$$

где S – площадь характерного поперечного сечения,

v – средняя скорость потока.

Более производительное извлечение взвеси определяется при одинаковых начальных концентрациях и расходах аэрозолей неравенством коэффициентов захвата.

Одним из наиболее распространенных устройств пылеочистой техники считаются циклоны. Принцип действия циклонов основан на извлечении частиц пыли из газового потока под воздействием центробежных сил, возникающих вследствие вращения потока в корпусе аппарата. Подобные пылеочистные аппараты широко применяются для сухой очистки газов, выделяющихся при некоторых технологических процессах (сушка, обжиг, агломерация, сжигание топлива и т.д.).

В отечественной пылеочистой технике наибольшее распространение в технике получили циклоны с изменением основного направления потока газа, называемые противоточными. В зависимости от требований по производительности и условий применения циклоны бывают одиночного (внутренний диаметр от 300 до 1400 мм) или группового исполнения [1].

Недостатком циклонов является низкая степень очистки газов с различным дисперсным составом твердых частиц, в особенности, если преобладают мелкие частицы размером менее 10 мкм. Степень очистки циклона

также резко снижается из-за подсоса воздуха в корпусе пылесборного бункера, в месте его присоединения к конусу циклона, и в устройствах для разгрузки уловленной пыли, возникновение которого неизбежно при увеличении скорости воздуха выше 15 м/с. Циклоны имеют большое гидравлическое сопротивление, обусловленное образованием в центральной отводящей трубе мощного вихря, что увеличивает энергозатраты и ограничивает производительность аппарата. Существенным недостатком циклонов также является прямо-пропорциональная зависимость производительности от габаритов пылеочистного аппарата [2].

Устранение недостатков невозможно без решения научной проблемы – разработки математической модели, адекватно описывающей гидродинамические процессы в аппаратах очистки.

Поперечное смещение частицы в кольцевых каналах

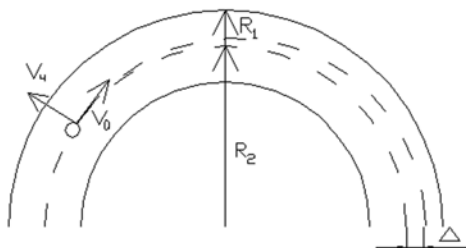


Рис. 1. Движение одиночной частицы в потоке газа.

Для анализа поведения аэрозольных частиц необходимо рассмотреть движение одиночной частицы и действующие на нее силы. Рассмотрим частицу, движущуюся в потоке по кольцевому каналу с радиусом кривизны R (рис. 1).

При этом принимаются следующие допущения:

- Частица движется в вязкой несжимаемой жидкости.
- движение установившееся, ламинарное;
- эффект проскальзывания частиц относительно газа отсутствует;
- продольные скорости частиц и газа равны;
- частицы имеют форму шара с диаметром d ;
- отсутствует взаимодействие данной частицы с другими.

Рассмотрим действие внешних сил на частицу.

Центробежная сила, действующая на частицу равна:

$$F_{ц} = \frac{\pi}{6 \cdot R} v_0^2 \rho d^3, \quad (1)$$

где, ρ - плотность частицы,

d – диаметр частицы,

v_0 – тангенциальная составляющая скорости.

Сила сопротивления в рамках принятых допущений и в соответствии с законом Стокса:

$$F_c = 3\pi\mu_e dv_{ч}, \quad (2)$$

где μ - динамическая вязкость газовой среды,

$v_{ч}$ - радиальная составляющая скорости,

Если принять, что поперечное движение частицы в газе установившееся, то центробежную силу (1) и силу сопротивления (2) можно приравнять $F_{ц} = F_c$:

$$\frac{\pi}{6} \cdot \frac{v_0^2}{R} \rho d^3 = 3\pi\mu_e dv_{ч}.$$

Отсюда следует, что радиальная скорость частицы определяется зависимостью:

$$v_{ч} = \frac{v_0^2}{18 \cdot R} \rho \frac{d^2}{\mu}. \quad (3)$$

Время пребывания частицы на пути $L=\pi R$ равно

$$T = \frac{L}{v_0} = \frac{\pi R}{v_0},$$

а смещение частицы в радиальном направлении за время T будет равно:

$$\Delta = v_{ч} T = \frac{\pi R}{v_0}. \quad (4)$$

С учетом (3) получим выражение,

$$\Delta = \frac{v_0^2}{18 \cdot R} \rho \frac{d^2}{\mu} \frac{\pi R}{v_0} = \frac{\pi \rho}{18 \mu} v_0 d^2, \quad (11)$$

из которого следует важный вывод о том, что радиальное смещение частиц Δ не зависит от радиуса цилиндра, определяющего габариты аппарата.

Практическое приложение

Полученные результаты позволяют разработать очистные аппараты с возможностью увеличения его производительности без увеличения габаритных размеров.

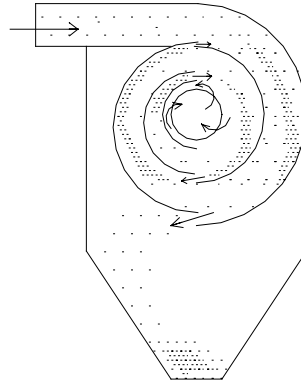


Рис. 2. Инерционный фильтр-сепаратор.

Инерционный фильтр-сепаратор [3] относится к устройствам для сухой очистки газов от пылевидных частиц основано на циклонном эффекте очистки, но является более совершенным пылеулавливающим аппаратом и имеет отличительные преимущества над многими известными аналогами. Сепаратор состоит из бункера-пылесборника, спирального канала, состоящего из ряда секций в виде полуцилиндров с убывающим радиусом кривизны, смещенных друг относительно друга на высоту пылеотводящих щелей, а также тангенциального входного и расположенного по оси спирали выходного патрубка. Устройство для регулирования площади поперечного сечения установлено на входе спирального канала в зоне щели, соединяющей полость бункера со спиральным каналом. Эта щель выполнена с возможностью регулирования ее размера. Аппарат отличается компактностью, простотой, надежностью в эксплуатации и имеет отличительные преимущества над известными аналогами. При необходимости более тонкой очистки дальнейшая доочистка может осуществляться при помощи фильтров [4].

Степень очистки газа в каналах сепаратора

Степень очистки газа в пылеуловителе определяют как процентное отношение концентрации пыли до $C_{вх}$ и после пылеуловителя $C_{вых}$:

$$\eta = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100.$$

Процесс извлечения твердой фазы из газовой среды происходит следующим образом. Твердые частицы более высокой плотности чем плотность газа, протекающего по криволинейным каналам, под действием центробежной силы инерции смещаются в каждой секции к ее внешней стенке. Вследствие чего образуется пристеночный (циркулирующий) поток, через пылеотводящие щели попадающий в предшествующие каналы меньшей кривизны (бункер в случае первой секции). Центральная же часть потока (сквозной поток) направляется в следующий по ходу канал с большей кривизной (рис. 2).

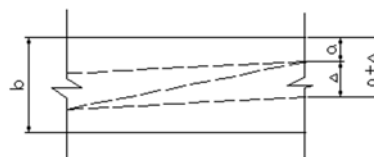


Рис. 3. Движение потока газа на выходе из канала.

Необходимо оценить степень очистки газа в одной секции-канале аппарата. Рассмотрим криволинейное течение в канале, образованное двумя концентрическими поверхностями. Примем, что в канале единичной толщины, ограниченном цилиндрическими поверхностями радиусов R_1 и R_2 (рис. 1), безвихревое потенциальное

течение. Будем считать, что данные о дисперсном составе пыли известны. Предполагаем, что пыль на входе в канал равномерно распределена по поперечному сечению канала.

На выходе из канала частицы пыли радиально смещены в сторону наружной стены.

Радиальное смещение частиц Δ для частиц диаметром d вычисляется по формуле (4). Частицы, отклонившиеся от первоначальной траектории на величину радиального смещения Δ , будут удалены в предшествующий канал через пылеотводящую щель шириной a , если они находятся не далее, чем на расстоянии $a+\Delta$ от наружной стенки канала (рис. 3).

Производительность устройства определяется значением коэффициента улавливания (захвата) взвеси:

$$\eta = \frac{(a + \Delta)}{b},$$

где b – ширина канала, определяется разностью наружного и внутреннего радиусов канала. $b = R_{\text{н}} - R_{\text{вн}}$,

a – ширина пылеотводящей щели,

Δ – радиальное смещение частиц (рис1).

В то время как коэффициент уноса будет определяться зависимостью:

$$\xi = \frac{b - (a + \Delta)}{b}$$

Связь между двумя коэффициентами определяется формулой:

$$\xi = 1 - \eta$$

Видно, что при увеличении размера пылеотводящей щели эффективность улавливания частиц диаметра не менее d увеличивается. С увеличением размера частиц повышается и производительность очистки аэрозоля (рис. 4).

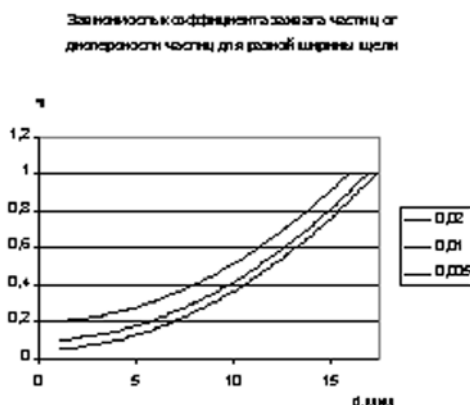


Рис. 4. Зависимость коэффициента захвата частиц от дисперсности частиц для разной ширины щели.

Заключение

Представляется целесообразным применение инерционного фильтра-сепаратора в производстве строительных материалов (цемент, известь и др.); горнорудных, металлургических, литейных производствах; энергетика на угле, торфе, горючих сланцах; пищевой промышленности.

Полученные соотношения позволяют определить зависимость коэффициента извлечения частиц в зависимости от их дисперсного состава, а также от скорости движения потока.

Учитывая актуальность задачи обеспечения требуемого уровня ПДК в зоне дыхания рабочего при самых разнообразных производственных процессах и значение применения систем местной очистки, изучение очистки промышленных газов от пыли должна включаться в программу дисциплины ОПД.Ф.11 «Инженерные сети и оборудование» по направлению 653000–Строительство в качестве самостоятельного раздела [5].

Использованные источники

1. Патент РФ 2080939 от 26.01.1995 Инерционный фильтр-сепаратор. Тананаев А.В.
2. Ватин Н.И., Вегера А.Г., Самопляс Т.В. Циклоны на российском рынке техники защиты окружающей среды [Электронный ресурс].-Электрон. текстовые дан. (1 файл : 586 Кб).-Загл. с титул. экрана.-Свободный доступ из сети Интернет.-Adobe Acrobat Reader 4.0 .- <URL:ftp://ftp.unilib.neva.ru/dl/079.pdf>.
3. Белоусов В.В. Теоретические основы процессов газоочистки. – М.: Металлургия, 1988.

4. Оспищев С.Н., Стрелец К.И. Очистка воздуха в системах общеобменной вентиляции: Материалы 3-й международной научно-практической конференции "Экономика, экология и общество России в 21-м столетии". - СПб.: СПбГТУ, 2001.- с. 1018-1020.

5. Программа дисциплины ОПД.Ф.11 «Инженерные сети и оборудование». Направление подготовки дипломированного специалиста: 653000–Строительство. - СПб.: СПбГТУ <http://www.venture.spb.ru/mgist/inzseti.htm>.