

Экология — не на год,

Экология — всегда!

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из задач профессиональной деятельности специалиста по инженерной защите окружающей среды является участие в разработке, эксплуатации и совершенствовании оборудования, соответствующих алгоритмов и программ расчетов параметров технологических процессов и технических средств защиты окружающей среды. При этом специалист-эколог должен знать принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств.

Курс «Технические средства инженерной экологии» играет ведущую роль в подготовке специалистов-экологов. Этот курс базируется на фундаментальных законах естественных наук и составляет теоретическую и практическую основу других дисциплин подготовки специалистов по инженерной защите окружающей среды.

Цель курса «Технические средства инженерной экологии» состоит в получении необходимых знаний и практических навыков в области использования инженерных средств, технологических аппаратов, оборудования и сооружений для защиты компонентов окружающей среды.

Место курса «Технические средства инженерной экологии» в профессиональной инженерно-экологической подготовке связано с использованием необходимых научно-практических основ для применения современных технологических достижений и технических средств в области охраны и защиты компонентов окружающей среды. Указанный курс относится к циклу профессиональных дисциплин и блоку дисциплин, обеспечивающих инженерную и конструкторско-технологическую подготовку специалиста-эколога.

Общими задачами этого курса являются:

- получение базовых знаний о технологических процессах и принципах работы технических средств и оборудования для очистки и обезвреживания отходящих газов, сбросов сточных вод, переработки и утилизации твердых отходов, а также средств защиты от негативных энергетических воздействий;
- приобретение методических и практических навыков выбора и расчетного обоснования необходимых технических средств и конкретных видов оборудования для инженерной защиты окружающей среды.

Предметом изучения этого курса является применение механических, физико-химических и физических методов, способов, процессов и технических устройств для обезвреживания различных антропогенно-техногенных загрязнений окружающей среды, а также методов утилизации выбросов, сбросов и промышленно-бытовых отходов.

Изучение данного курса базируется на следующих дисциплинах:

- история техники, высшая математика, информатика, физика, химия, экология, теория горения и взрыва, инженерная графика, теоретические основы защиты окружающей среды, механика, гидрогазодинамика, теплофизика.

Знание данного курса необходимо для более глубокого усвоения других специальных дисциплин бакалавриата, выполнения инженерно-прикладных работ, курсовых проектов и выпускной квалификационной работы. Основные положения курса могут быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- промышленная экология; инвентаризация и нормирование выбросов загрязняющих веществ, инженерные методы защиты атмосферы, водоотведение и очистка сточных вод, нормирование промышленных стоков, отходы предприятий и лимиты на их размещение, природопользование и охрана окружающей среды, экономика природопользования и природоохранной деятельности, экономические аспекты охраны окружающей среды, защита окружающей среды при чрезвычайных ситуациях.

Содержание краткого курса «Технические средства инженерной экологии» соответствует федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО 3++) и примерным основным образовательным программам высшего образования на уровне бакалавриата по направлениям подготовки «Экология и природопользование», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Техносферная безопасность».

Компетенции обучающегося в соответствии с ФГОС ВО 3++ по направлениям подготовки 05.03.06, 18.03.02, 20.03.01, формируемые в результате освоения курса «Технические средства инженерной экологии»:

- способность хорошо ориентироваться в системах и средствах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные и перспективные методы, устройства и системы защиты человека и окружающей среды от опасностей;

- способность участвовать в совершенствовании технологических процессов и технических средств с позиций энерго- и ресурсосбережения, минимизации воздействия на окружающую среду;

- готовность обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду;

- способность проектировать отдельные узлы (аппараты) с использованием автоматизированных прикладных систем;

- владение навыками эксплуатации очистных установок, очистных сооружений и полигонов и других производственных комплексов в области охраны окружающей среды и снижения уровня негативного воздействия хозяйственной деятельности.

Выполнение задач курса предполагает изучение теоретической (посещение лекций, работа с учебной и специальной литературой) и практической (выполнение заданий по самостоятельной работе, расчетно-практических работ и курсовых проектов) частей.

По своей структуре изучаемый курс состоит из четырех модулей:

1. Средства защиты атмосферы от вредных выбросов.
2. Средства защиты гидросферы от вредных сбросов.
3. Технические средства защиты литосферы.
4. Средства защиты от энергетических воздействий.

Такое деление позволяет более четко выделить предмет изучения и методологические подходы для выбора технологий, способов и средств защиты всех сфер окружающей среды.

При изучении этих модулей выявляется рациональная классификация процессов и технических средств защиты окружающей среды на основе действующих физических механизмов, закрепляются знания по отдельным аспектам технологии и аппаратурного оформления процессов защиты окружающей среды, по характеристикам используемого природоохранного оборудования, рациональным областям и примерам его применения.

Для закрепления знаний по изученному материалу в каждом разделе учебного пособия приведены контрольные вопросы.

Решающую роль для качественного усвоения и устойчивого закрепления студентами учебного материала имеет приобретение практических навыков расчета основных технологических и конструктивных параметров изучаемых технических средств и оборудования, для чего служат примеры таких расчетов в приложениях к теоретическому изложению изучаемого курса. Большую роль при изучении курса имеет самостоятельная работа студентов с учебной литературой и выполнение дополнительных заданий по практическим расчетам.

Учебное пособие может быть использовано студентами при изучении практического курса инженерной экологии, подготовке к практическим занятиям, выполнении курсовых проектов, выпускных квалификационных работ, преподавателями вузов при проведении учебных занятий, а также магистрантами и аспирантами для углубленного изучения аппаратурного оформления технологических процессов инженерной экологии.

Содержание учебного пособия составлено на основе опыта проведения лекционных и практических занятий по дисциплинам «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» и «Техника защиты окружающей среды» на кафедре «Техносферная безопасность» Пензенского государственного университета, на кафедре «Инженерная экология» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и кафедре «Биотехнология и техносферная безопасность» Пензенского государственного технологического университета.

ВВЕДЕНИЕ

Жизнедеятельность человека, любая технологическая деятельность неизбежно приводят к образованию различных видов отходов, оказывающих, как правило, негативное воздействие на окружающую среду. Отходы производства и потребления — это побочные и конечные продукты природопользования после ряда сложных технологических превращений ресурсов в экономике и использования в быту.

По своему агрегатному состоянию отходы бывают газообразные, жидкие и твердые. Это предопределяет виды загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы. Особую форму загрязнения экосферы представляют негативные энергетические воздействия на окружающую среду: акустическое, механическое, световое, тепловое, электромагнитное, радиационное.

Большое разнообразие типов и видов отходов предопределяет необходимость использования сложных технологий, процессов и оборудования при их переработке, утилизации и захоронении. Технология переработки отходов производства и потребления включает целый комплекс таких процессов, как: механические, гидродинамические, тепловые, диффузионные, физико-химические, химические и биохимические. Как правило, в реальной технологии утилизации отходов сочетаются различные способы воздействия на них.

РАЗДЕЛ I.
СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ ОТ
ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

Глава 1

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВЫБРОСОВ АЭРОЗОЛЕЙ

В основу действия аппаратов для очистки аэрозольных выбросов положен определенный физический механизм. В пылеулавливающих устройствах находят применение следующие способы отделения взвешенных частиц от сплошной газовой среды: осаждение в гравитационном поле, осаждение под действием сил инерции, осаждение в центробежном поле, фильтрация, осаждение в электрическом поле, мокрая газоочистка и др.

Все оборудование для санитарной очистки газов и воздуха от взвешенных дисперсных частиц подразделяется на две категории (рис. 1.1):

- аппараты сухой очистки, в которых отделенные от воздуха частицы пыли осаждаются на сухую поверхность (табл. 1.1);
- аппараты мокрой очистки, где отделение частиц от воздушного потока осуществляется с использованием жидкости (табл. 1.2).



Рис. 1.1

Схема классификации пылеулавливающих аппаратов

Пылеулавливающее оборудование, действующее по сухому и мокрому способу, в соответствии с принципом действия подразделяют на группы (гравитационное, инерционное, фильтрационное, электрическое), а по конструктивным особенностям на виды (полое, полочное, камерное, жалюзийное, циклонное, скрубберное, пенное, ударное, ротационное, тканевое, волокнистое, зернистое, сетчатое, губчатое, однозонное, двухзонное).

Часто в зависимости от степени (эффективности) очистки аппараты делят на две группы: грубой очистки и тонкого обеспыливания.

Таблица 1.1

**Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли
сухим способом**

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Гравитационное	Полое	–	+
	Полочное	–	+
Инерционное	Камерное	–	+
	Жалюзийное	–	+
	Циклонное	–	+
	Ротационное	–	+
Фильтрационное	Тканевое	–	+
	Волокнистое	+	+
	Зернистое	–	+
	Сетчатое	+	–
	Губчатое	+	–
Электрическое	Однозонное	–	+
	Двухзонное	+	+

Примечание. Знак «+» означает применение; знак «–» означает неприменение.

Таблица 1.2

**Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли
мокрым способом**

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Инерционное	Циклонное	–	+
	Ротационное	–	+
	Скрубберное	–	+
	Ударное	–	+
Фильтрационное	Сетчатое	+	–
	Пенное	–	+
Электрическое	Однозонное	–	+
	Двухзонное	+	+
Биологическое	Биофильтр	–	+

Примечание. Знак «+» означает применение; знак «–» означает неприменение.

Аппараты для пылеочистки в зависимости от размеров улавливаемых частиц и эффективности их улавливания могут быть разделены на пять классов (табл. 1.3).

Выбор оборудования для системы пылеулавливания зависит от конкретных требований производства, физико-механических и физико-химических свойств дисперсных частиц.

Таблица 1.3

Классификация пылеуловителей по размерам эффективно улавливаемых частиц

Класс сепаратора	I		II		III		IV		V
Минимальный размер эффективно улавливаемых частиц, мкм	0,3		2		4		8		20
Группа пыли по дисперсности*	V	IV	IV	III	III	II	II	I	I
Медианный диаметр частиц, мкм*	менее 1	1...10	1...10	10...40	10...40	40...120	40...120	более 120	более 120
Максимальная степень очистки, %	80	80...99	45...92	92...99	80...99	99...99,9	95...99,9	более 99,9	более 99

*Примечание. Группа пыли и соответствующий ей размер частиц, которые могут быть уловлены с максимальной степенью очистки в данном классе сепаратора.

К основным характеристикам пылеуловителей относятся: эффективность (степень) очистки газа от пыли, гидравлическое сопротивление; стоимость очистки. К общим параметрам пылеуловителей относят их производительность по очищаемому газу и энергоемкость, определяемую величиной затрат энергии на очистку 1000 м³ газа.

Для пылеочистки используют понятие фракционного коэффициента очистки η_i , под которым понимают массовую долю выделяемой данной фракции. Зная фракционный состав пыли и фракционные коэффициенты очистки, можно определить общую эффективность пылеочистки η_Σ при содержании фракций в газовом потоке $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \%$:

$$\eta_\Sigma = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_i \varphi_i}{100}.$$

Если пылегазовые выбросы последовательно обрабатываются в несколько стадий (каскадная, или многоступенчатая очистка), применяемой и для более полного обеспыливания воздуха, суммарная эффективность очистки определяется по формуле

$$\eta_\Sigma = \left[1 - \prod_{j=1}^N (1 - \eta_j) \right],$$

или иначе по другой формуле через коэффициент проскока загрязнителя:

$$\eta_\Sigma = 1 - \prod_{j=1}^N \beta_j,$$

где η_j — коэффициент очистки на j -й стадии (в долях единицы); $\beta_j = 1 - \eta_j$ — коэффициент проскока загрязнителя через j -ю стадию; N — количество стадий.

1.1. Аппараты сухой механической пылеочистки

Сухие механические пылеуловители используются для первичного удаления грубых частиц из газо-воздушного потока. В большинстве случаев защиты атмосферы от пыли требуется улавливание гораздо более мелких частиц (размером около 1 мкм), поэтому для этого необходимо применять пылеуловители других типов. Однако механические пылеуловители можно использовать как предварительные, располагая их последовательно с устройствами других типов, чтобы уменьшить нагрузку на последние. Это необходимо при сильно запыленных газо-воздушных потоках.

Пылевые камеры. Простейшим аппаратом для гравитационного отделения твердых взвешенных частиц являются пылевые камеры (рис. 1.2), в которых запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение частиц пыли.

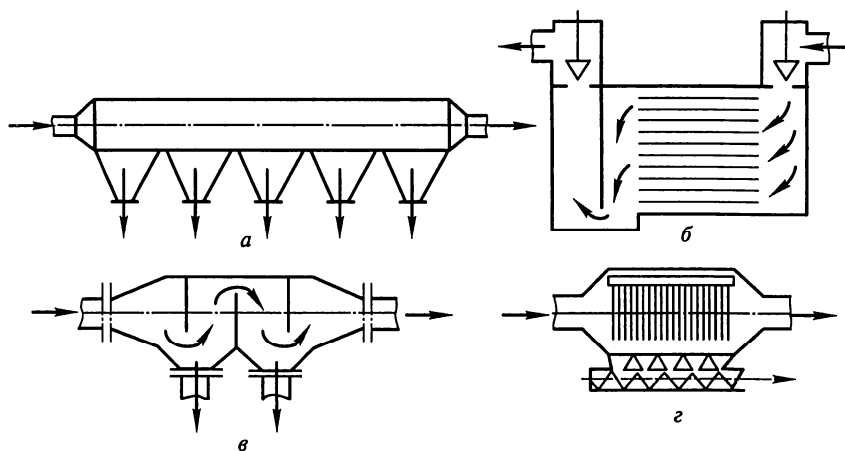


Рис. 1.2

Пылеосадительные камеры:

a — простейшая пылеосадительная камера; *б* — многополочная камера; *в* — камера с перегородками; *г* — камера с цепными или проволочными завесами

Пылевая частица, внесенная в камеру потоком воздуха, находится под действием двух сил: силы инерции, под воздействием которой она стремится перемещаться горизонтально, и силы тяжести, под действием которой она осаждается на дно камеры. Время осаждения частицы прямо пропорционально высоте осаждения H , т. е. чем ниже камера, тем быстрее пылевая частица осядет на ее дно.

Основные достоинства осадительных камер заключаются в простой конструкции, низкой стоимости, в небольших расходах энергии и в возможности улавливания абразивной пыли. В пылевых камерах достаточно эффективно улавливаются частицы пыли размером 30...50 мкм. Эффективность же улавливания высокодисперсных частиц менее 5 мкм даже в камерах большого размера близка к нулю.

Пылевые камеры обычно используются для предварительной очистки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней очистки.

Инерционные пылеуловители. Действие инерционных пылеуловителей (рис. 1.3) основано на резком изменении направления движения потока запыленного газа, при этом частицы пыли под действием сил инерции отклоняются от линии тока газа и выделяются из потока.

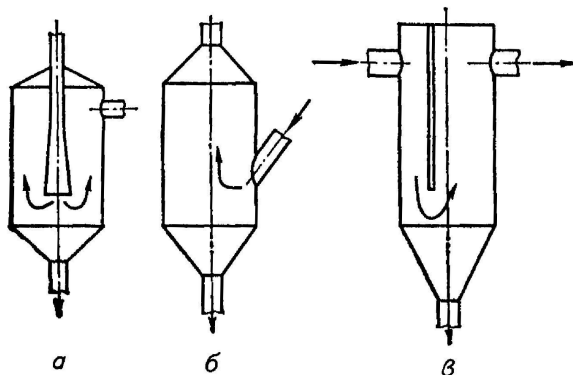


Рис. 1.3

Инерционные пылеуловители:

*a — с центральным подводом газа; б — с боковым подводом газа;
в — с отражательной перегородкой*

Инерционные пылеуловители улавливают крупную пыль размером 20...30 мкм и более, их эффективность находится в пределах 60...90%. Инерционные пылеуловители применяются для предварительной очистки газа с целью снижения его запыленности. Инерционные пылеуловители часто используются совместно с циклонами и служат концентраторами пыли для них.

Эффективность пылеочистки в инерционном пылеуловителе η_{Stk} можно определить по графику (рис. 1.4) в зависимости от соотношения $\phi = Re_q^2 / Stk$.

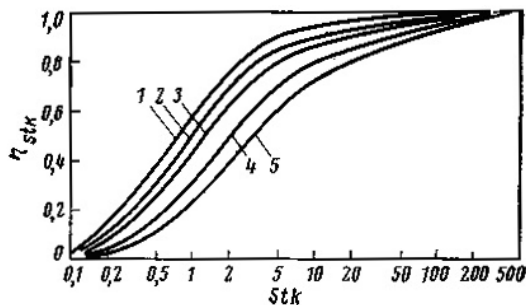


Рис. 1.4

Зависимость эффективности инерционного осаждения частиц при обтекании тела от критерия Стокса при различном значении параметра $\phi = Re_q^2 / Stk$:

1 — $\phi = 0$; 2 — $\phi = 100$; 3 — $\phi = 1000$; 4 — $\phi = 10\,000$; 5 — $\phi = 50\,000$

Здесь $Re_{\text{ч}}$ — критерий Рейнольдса для частиц:

$$Re_{\text{ч}} = \frac{v_{\text{ч}} d_{\text{ч}} \rho_{\text{г}}}{\mu_{\text{г}}};$$

Stk — критерий Стокса:

$$Stk = \frac{v_{\text{г}} d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} C_{\text{К}}}{18 \mu_{\text{г}} l},$$

где $v_{\text{ч}}$ — скорость частицы, м/с; $d_{\text{ч}}$ — диаметр частицы, м; $v_{\text{г}}$ — скорость газа, м/с; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частицы, кг/м³; l — определяющий размер тела, отклоняющего поток газа, м; $C_{\text{К}}$ — поправка Кенингема — Милликена для мелких частиц.

Циклонные пылеуловители. Наибольшее распространение в системах пылеочистки получили инерционно-центробежные аппараты — циклоны (рис. 1.5), обеспечивающие фракционную эффективность очистки на уровне 80...95% от частиц пыли размером более 10 мкм. Циклоны рекомендуется использовать перед высокоэффективными тканевыми и электрофилтрами. В ряде случаев циклоны обеспечивают эффективность очистки, достаточную для выброса воздуха в атмосферу без дополнительных устройств.

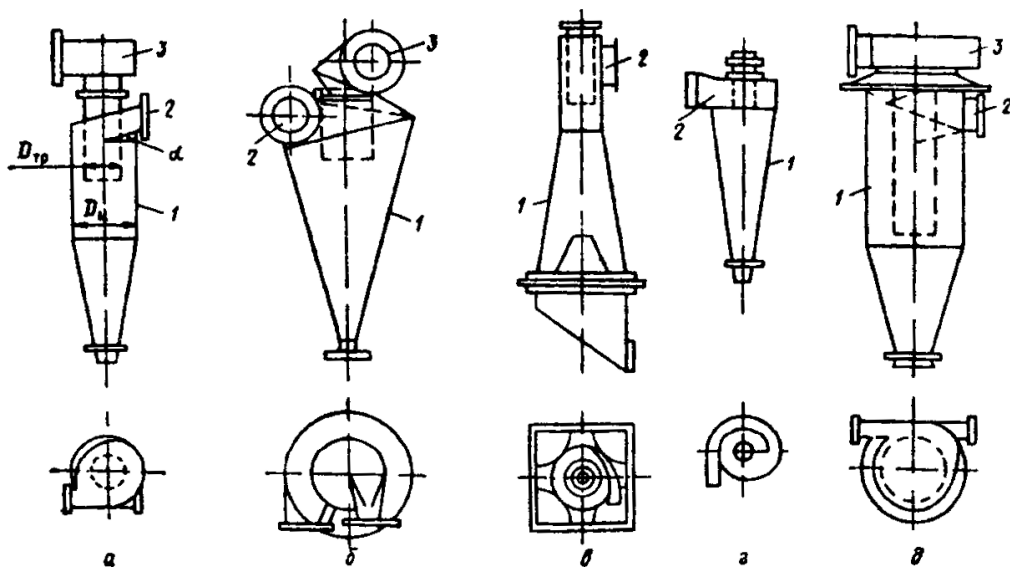


Рис. 1.5

Основные типы конструкций циклонов:

а — циклон НИИОГаз; *б* — СИОТ; *в* — ВЦНИИОТ; *г* — СК-ЦН-34; *д* — ЛИОТ;
 1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — выходная улитка

Основные размеры циклона определяются в зависимости от его внутреннего диаметра. В России и СНГ для циклонов принят стандартный ряд внутренних диаметров от 200 до 3000 мм.

В институте НИИОГаз разработан ряд конструкций цилиндрических и конических циклонов. Отличительной особенностью циклонов НИИОГаз является наклонный патрубок для поступающего газа. Широко применяются три типа этих циклонов:

1) ЦН-24 с углом 24° ; он обеспечивает повышенную производительность при наименьшем гидравлическом сопротивлении; предназначен для улавливания крупной пыли;

2) ЦН-15 с углом 15° ; он обеспечивает хорошую степень улавливания при сравнительно небольшом гидравлическом сопротивлении;

3) ЦН-11 с углом 11° ; он обеспечивает повышенную эффективность при значительном гидравлическом сопротивлении.

Групповые и батарейные циклоны. При больших расходах очищаемого газа используют групповые и батарейные циклоны (мультициклоны). Группирование позволяет не увеличивать диаметр циклона при сохранении эффективности очистки. Группу составляют из цилиндрических циклонов типа ЦН (рис. 1.6).

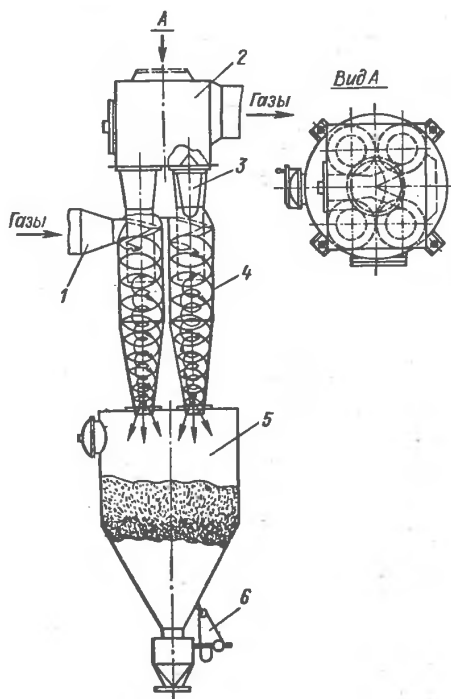


Рис. 1.6

Групповая установка циклонов ЦН:

1 — входной патрубок; 2 — камера обеспыленного газа; 3 — кольцевой диффузор; 4 — циклонный элемент; 5 — бункер; 6 — пылевой затвор

Коэффициент гидравлического сопротивления группы циклонов определяется по формуле

$$\zeta = \zeta_{\text{ц}} + K,$$

где K — коэффициент дополнительных потерь давления вследствие компоновки циклонов в группу. Значения коэффициента K зависят от вариантов компоновок циклонов в группу в пределах от 28 до 60.

Групповые и батарейные циклоны подключены параллельно от общего коллектора загрязненных газов, отвод очищенного газа также объединен. В этих циклонах наблюдается ухудшение степени очистки из-за неравномерности распределения потоков и перетоков пыли из одного циклона в другой через общий бункер.

Батарейные циклоны (рис. 1.7) состоят из циклонных элементов малых размеров, объединенных в одном корпусе. Циклонные элементы в батарейных циклонах могут быть с возвратным потоком или прямоточные.

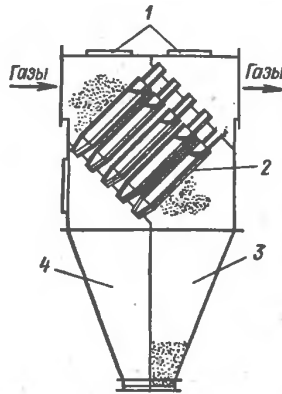


Рис. 1.7

Батарея мультициклонов:

- 1 — люк для ревизии; 2 — мультициклон; 3 — бункер для крупных частиц пыли;
4 — бункер для частиц пыли, уловленных в мультициклоне

Оптимальная скорость газов в циклонных элементах лежит в пределах от 3,5 до 4,75 м/с, а для прямоточных циклонных элементов — от 11 до 13 м/с. Диаметр одного циклонного элемента принимают в пределах 250 мм.

Расчеты циклонов, работающих параллельно в групповой установке и мультициклонов, выполняют так же, как и одиночных.

Степень очистки в батарейном циклоне может быть ниже на 20...25% степени очистки, которая достигается в одинаковом по диаметру одиночном циклоне из-за перетоков газа из элементов с большим сопротивлением в элементы с меньшим сопротивлением.

Вихревые пылеуловители. В вихревом пылеуловителе, как и в циклоне, сепарация пыли основана на использовании центробежных сил. Основным их отличием от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока.

Вихревой пылеуловитель применяют для очистки газовых выбросов от мелкодисперсной пыли. Они работают по принципу взаимодействия встречных закрученных потоков. Один из них (вторичный) движется сверху вниз у стенки корпуса, а другой (первичный) — снизу вверх по оси аппарата.

Применяют два вида вихревых пылеуловителей по вторичному входу: сопловые (рис. 1.8, *а*) и лопаточные (рис. 1.8, *б*).

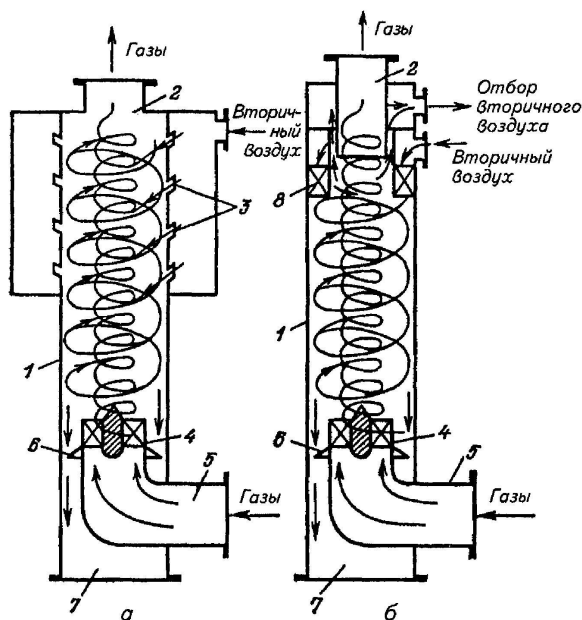


Рис. 1.8

Конструкции вихревых пылеуловителей:

а — сопловые; *б* — лопаточные; 1 — камера; 2 — выходной патрубок; 3 — сопла; 4 — лопаточный завихритель типа «розетка»; 5 — входной патрубок; 6 — подпорная шайба; 7 — пылевой бункер; 8 — кольцевой лопаточный завихритель

Очищаемый газ может подаваться как по вторичному каналу, так и по обоим вводам одновременно. В экономическом отношении наиболее выгодный второй вариант, при котором обеспечивается среднее значение эффективности работы аппарата и приемлемые гидравлические потери.

Отличительной особенностью этих аппаратов является возможность управления их гидродинамикой в широком диапазоне параметров. При использовании вихревых аппаратов в качестве пылеуловителей, управляя соотношением расходов газа по первичному и вторичному каналам, можно изменять общую эффективность улавливания, величину гидравлического сопротивления, время пребывания твердой фазы в рабочем объеме аппарата.

Вихревые аппараты, в отличие от традиционных циклонных пылеуловителей, имеют более широкий диапазон рабочих скоростей, что позволяет при одном и том же диаметре аппарата существенно расширить производительность по очищаемому газу.

Подобно циклонам вихревые пылеуловители могут компоноваться в группы для увеличения эффективности пылеулавливания за счет уменьшения диаметра аппаратов.

В вихревых пылеуловителях достигается высокая эффективность очистки до 98...99% при большой производительности по очищаемому газу.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru