

Практическая работа  
**ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ВЫБРОСОВ**

Цель занятия – изучение технических средств и технологии очистки выбросов предприятий производственной сферы.

Очистка пылегазовых выбросов является основным мероприятием по защите и восстановлению воздушного бассейна.

Существуют различные методы очистки выбросов от твердых, жидких и газообразных примесей. На основе этих методов разработано большое количество устройств и аппаратов, при комплексном использовании которых может быть достигнута высокоэффективная очистка пылегазовых выбросов. В целях экономии производственных площадей эти устройства и аппараты размещают, как правило, в верхних ярусах цехового пространства. Извлеченные из пылегазовых выбросов вещества обычно являются либо готовым продуктом, либо ценным видом вторичного сырья.

Для очистки газов от твердых и жидких частиц применяют технологии сухой инерционной очистки газов, мокрой очистки газов, фильтрации, электростатического осаждения.

Для очистки газов от газо- и парообразных компонентов применяют методы абсорбции, адсорбции, термическую и термокatalитическую очистку, биохимические реакторы.

К основным требованиям, предъявляемым к аппаратам пыле- и газоочистки, относятся высокая эффективность и эксплуатационная надежность. Следует учитывать, что чем выше требуемая степень очистки газов и чем мельче улавливаемые частицы, тем большими оказываются удельные капитальные затраты на сооружение установок и расходы на их эксплуатацию.

Классификация пылеулавливающего оборудования представлена на рисунке 5.1.

Для обеспечения оптимального выбора технологии и конструкции аппарата очистки выбросов проводится технико-экономическая оценка.

Газоочистные установки, как правило, не дают прямой прибыли. Возможность использовать улавливаемый продукт покрывает только незначительную часть затрат. Поэтому в числе технико-экономических показателей следует учитывать предотвращенный ущерб от возможного загрязнения атмосферного воздуха в случае отсутствия очистки, что создает предпосылки установления рентабельности и ожидаемой прибыли от внедрения систем и аппаратов очистки выбросов.

Технико-экономическая оценка проводится путем сравнения показателей внедряемого объекта пылегазоочистки с лучшими действующими аналогами.

*Оценка эффективности* систем пылегазоочистки проводится с использованием следующих показателей:

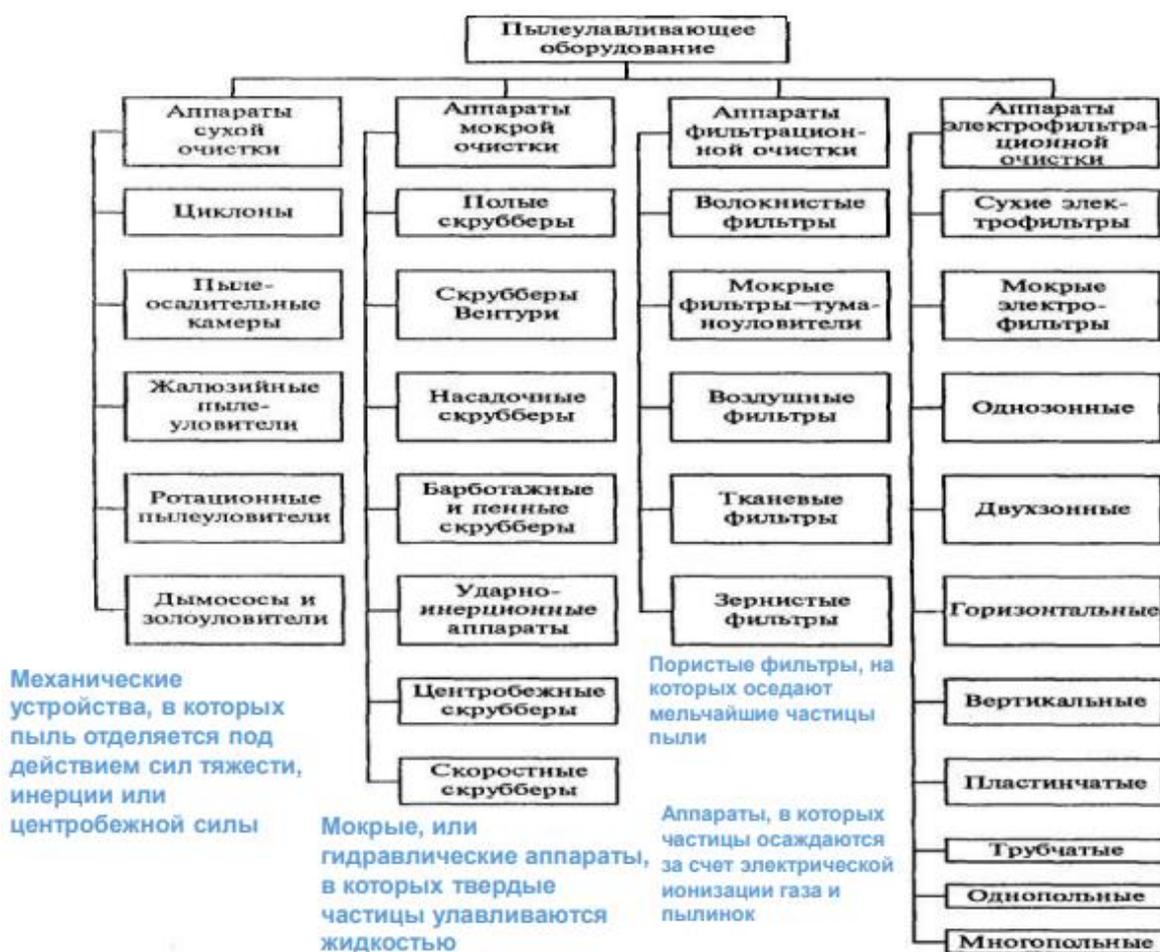
*Степень* или *эффективность* очистки газов — это отношение количества уловленного загрязняющего вещества к количеству, поступающему в аппарат.

Эффективность улавливания частиц пыли (степень очистки) зависит от ее дисперсного состава. В первую очередь улавливаются крупные частицы пыли. Эффективность пылеулавливающего оборудования характеризуется достигаемой фракционной или парциальной степенью очистки.

*Фракционная степень очистки* — отношение количества пыли данной фракции, уловленной в аппарате, к количеству входящей пыли той же фракции.

*Парциальная степень очистки* — отношение количества частиц данного размера, уловленных в аппарате, к количеству частиц данного размера на входе в аппарат.

Выбор метода очистки зависит от дисперсного состава и свойств дисперсной фазы газозвушной смеси (ГВС) (рисунк 5.2).



5.1 Классификация пылеулавливающего оборудования

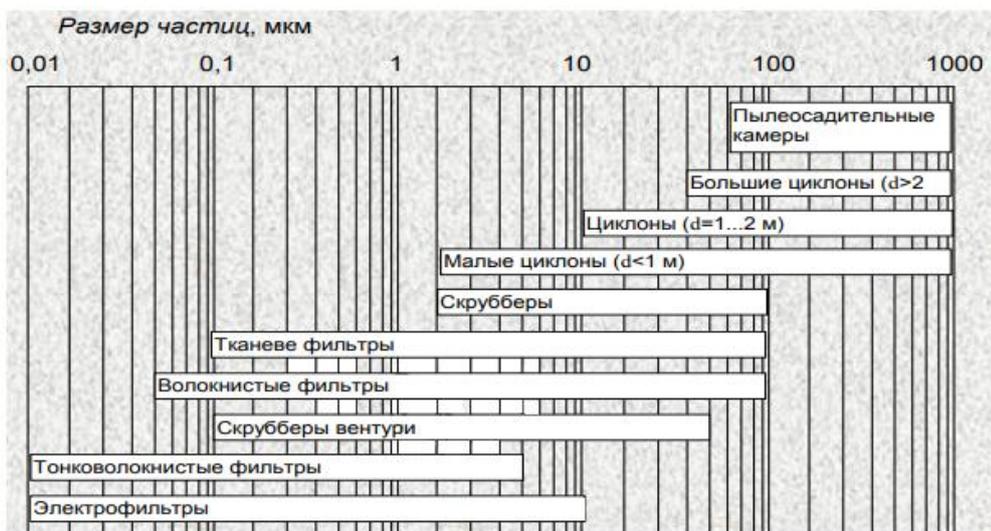


Рисунок 5.2 – Зависимость видов пылеулавливающего оборудования от размера улавливаемых частиц ГВС

### 5.1. Аппараты сухой инерционной очистки газов

Принцип действия этих аппаратов состоит в осаждении пыли в результате изменения направления и скорости движения очищаемого газового потока и удара частиц пыли о стенки и поперечные преграды. Эти аппараты отличаются простотой конструкции и изготовления.

Простейшими установками для улавливания крупнодисперсной пыли, работающими по принципу гравитационного осаждения, являются пылесадительные камеры. Они используются в качестве первой ступени очистки газов для улавливания наиболее крупных частиц (30—100 мкм), позволяют избежать осаждения пыли в газоходах и снижают нагрузку на последующие ступени очистки.

Устройство и принцип действия пылесадительной камеры показаны на рисунке 5.1.1. Степень очистки зависит от времени пребывания частиц в камере. Частицы, движущиеся в газовом потоке, опускаются под действием силы тяжести на дно бункера. Скорость газового потока в пылесадительной камере не должна вызывать уноса осевших частиц пыли. В зависимости от плотности, формы и размера частиц она составляет 1,7—7,0 м/с.

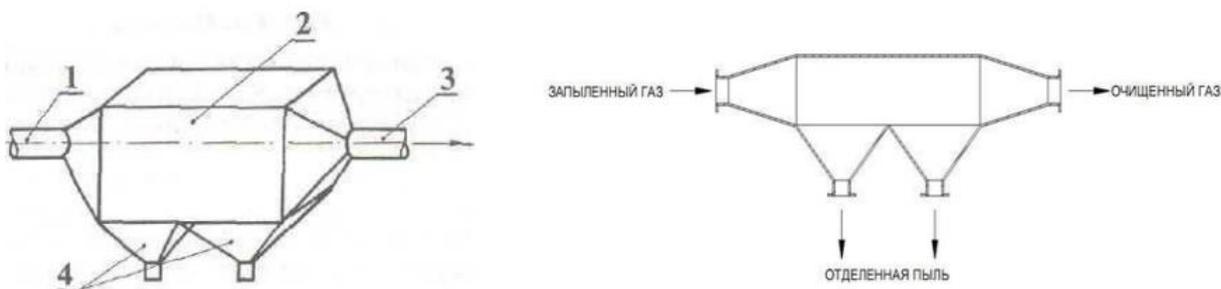


Рисунок 5.1.1 - Пылесадительная камера:

1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — выходной патрубок; 4 — бункера для пыли

К числу сухих инерционных пылеуловителей относятся жалюзийные, вентиляторные и радиальные пылеуловители. Они эффективно улавливают частицы размером от 20—30 мкм. Более тонкая очистка от пыли обеспечивается с помощью циклонов. Циклон — один из широко распространенных пылеулавливающих аппаратов, предназначенный для улавливания частиц размером 5—20 мкм и более.

Устройство и принцип действия циклона показаны на рисунке 5.1.2.

Вращение газового потока достигается путем его тангенциального ввода в циклон или путем использования специального завихрителя. В результате действия центробежных сил частицы пыли, взвешенные в потоке газа, отбрасываются на стенки корпуса циклона и выпадают из потока. Очищаемый поток газа, освобожденный от пыли, продолжая вращаться, изменяет направление движения на 180° и выходит из циклона через расположенную на оси выхлопную трубу. Частицы пыли, достигшие стенок корпуса, опускаются под действием силы тяжести и поступают в бункер. По мере наполнения бункера пыль через пылевой затвор отгружается на утилизацию или захоронение. Очищенный воздух через выходной патрубок отводится из циклона. Рекомендуемая скорость газа в цилиндрической части циклона — 2,5—4,5 м/с. Диаметр циклона не следует задавать более 1000 мм. Для повышения эффективности очистки циклоны komponуют в группы с общим подводом и отводом очищаемого воздуха. Такие циклоны называют батарейными. Этим достигается существенная экономия капитальных и эксплуатационных затрат.

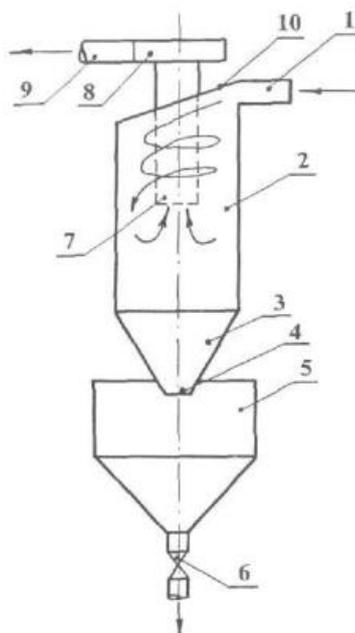


Рисунок 5.1.2 - Циклон:

1 — входной патрубок; 2 — цилиндрическая часть корпуса; 3 — коническая часть корпуса; 4 — пылевывпускное отверстие; 5 — бункер для пыли; 6 — пылевой затвор; 7 — выхлопная труба; 8 — раскручивающая улитка; 9 — выходной патрубок; 10 — наклонная крышка

К высокоэффективным типам аппаратов сухой очистки газов относятся фильтры.

В основе работы фильтров всех видов лежит фильтрация запыленного воздуха через пористую перегородку, в процессе которой частицы пыли, взвешенные в газе, задерживаются перегородкой, а газ беспрепятственно проходит через нее.

Пористые перегородки могут представлять собой ткани, бумагу, волокнистые материалы, керамику, металлические сетки, зернистые слои.

В отличие от аппаратов инерционной очистки фильтры могут с достаточной эффективностью задерживать частицы любого размера. Наиболее целесообразно использовать фильтры для улавливания частиц пыли размером менее 5 мкм.

Скорость процесса фильтрования определяется перепадом давления на пористой перегородке. По мере накопления на фильтре частиц пыли скорость прохождения газа постепенно снижается. Перегородку необходимо периодически подвергать регенерации путем освобождения от уловленной пыли. Это существенно осложняет эксплуатацию фильтров.

Степень очистки газа в фильтре зависит от пористости фильтрующего материала, толщины фильтрующего слоя, объема фильтровального материала в единице объема фильтра и суммарного коэффициента захвата частицы пыли фильтрующим волокном, величина которого в свою очередь зависит от механизма процесса фильтрования.

*Тканевые фильтры* предназначены для очистки их от твердых частиц отходящих газов плавильных печей предприятий черной и цветной металлургии, печей обжига в стекольной и керамической промышленности и котельных. В качестве фильтрующего материала применяют бельтинг, лавсан, капрон и др.

Наиболее распространенным типом тканевого фильтра является рукавный фильтр (рисунок 5.1.3).

Запыленный газ, поступающий через входной патрубок в нижнюю часть корпуса фильтра, подводится внутрь рукавов. После прохождения через фильтрующую ткань очищенный воздух удаляется из аппарата.

Частицы пыли оседают на фильтрующей поверхности рукава, в результате чего его сопротивление постепенно увеличивается. Когда оно достигает некоторого предельного значения, фильтр переводится в режим регенерации. Наиболее часто регенерация осуществляется обратной продувкой. Для повышения эффективности регенерации рукавов их могут встряхивать при помощи специальных механизмов.

Камеры фильтра переводят в режим регенерации по очереди и таким образом обеспечивают его непрерывную работу.

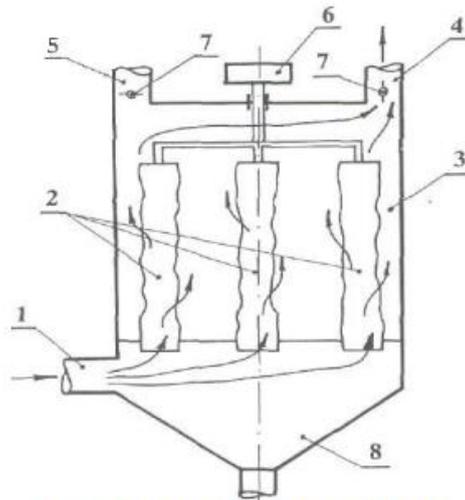


Рисунок 5.1.3 - Рукавный фильтр:

1 — вход запыленного газа; 2 — рукава; 3 — корпус фильтра; 4 — воздухопровод очищенного газа; 5 — воздухопровод продувочного воздуха; 6 — механизм встряхивания; 7 — клапаны; 8 — бункер для сбора пыли

Степень очистки от мелкодисперсной пыли в рукавном фильтре может достигать 99,9%. Скорость прохождения очищаемого газа через фильтрующую ткань составляет 0,5—1 м/с.

*Волокнистые фильтры* предназначены для очистки от пыли слабозапыленных потоков воздуха с концентрацией пыли не более 5 мг/м<sup>3</sup>. Они представляют собой пористые перегородки, составленные из беспорядочно расположенных равномерно распределенных по сечению волокон (рисунок 5.1.4).

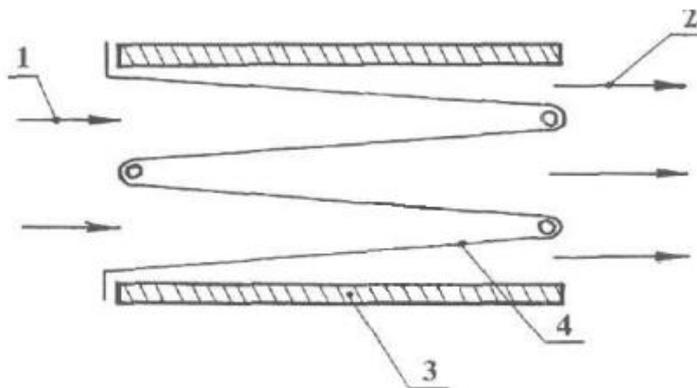


Рисунок 5.1.4 - Волокнистый фильтр:

1 — вход газа; 2 — выход газа; 3 — боковая стенка; 4 — фильтрующий материал

Из-за глубокого проникновения улавливаемых частиц пыли вглубь пористого материала регенерация волокнистых фильтров затруднена. По окончании срока службы отработавший фильтрующий материал обычно заменяется новым.

В волокнистых фильтрах используются как естественные, так и специально изготовленные волокна толщиной от 0,01 до 100 мкм (отходы текстильного производства, шлаковая вата, стекловолокно и др.). Степень

очистки при улавливании мелкодисперсной пыли может достигать 99%. Рекомендуемая скорость фильтрации — 0,01 — 0,1 м/с.

*Зернистые фильтры* применяются при очистке газов с высокими температурами (до 500—800° С) в условиях агрессивной среды при резких изменениях давления и температуры. Они представляют собой емкость, заполненную фильтрующим материалом, в качестве которого могут быть применены песок, щебень, шлак, опилки, крошка руды, угля, графита, пластмасс и др. В качестве фильтрующего слоя в зернистых фильтрах используются насыпные материалы.

Зернистые фильтры применяются для улавливания слипающихся и абразивных пылей в тех случаях, когда затруднено применение аппаратов другого типа.

В некоторых случаях в зернистых фильтрах возможен возврат фильтрующего слоя в технологический процесс, если в качестве зерен используется исходное сырье (частицы угля, используемые в качестве зерен фильтра при очистке воздуха от угольной пыли, можно возвращать в топку котла).

Разновидностью зернистых фильтров являются фильтры сорбционной очистки, где в качестве фильтрующей загрузки используются катализаторы и сорбенты. Сорбционные фильтры предназначены для улавливания газообразных примесей.

В зависимости от вида улавливаемой пыли и зерен фильтра степень очистки может достигать 95—99,5%, скорость фильтрации — 15 — 35 м/с.

*Электрофильтры* предназначены для очистки промышленных газов от твердых частиц, выделяющихся при различных технологических процессах. Эти аппараты незаменимы при очистке выбросов цементных, известковых, гипсовых и других производств, где содержатся пылевидные частицы, подверженные схватыванию при контактах с влагой. Уловленная в электрофильтрах пыль является ценным готовым продуктом или вторичным минеральным сырьем.

К преимуществам электрофильтров относится высокая степень очистки, достигающая 99%, возможность улавливания частиц широкого диапазона размеров, стабильная работа при высокой запыленности и температуре газа, высокая производительность и возможность полной автоматизации процесса очистки.

К недостаткам электрофильтров следует отнести высокую чувствительность к параметрам очищаемого газа (температура, влажность, электрическое сопротивление), невозможность использования для очистки взрыво- и пожароопасных смесей, относительно высокую стоимость аппарата и повышенные требования к технике безопасности при эксплуатации.

Установка для электростатической очистки выбросов состоит из электрофильтра, агрегатов питания, системы транспортировки уловленной пыли.

*Электрофильтр* (рисунок 5.1.5) монтируется в металлическом корпусе прямоугольного сечения. Внутри него располагаются осадительные и коронирующие электроды. На входе в электрофильтр устанавливается газораспределительное устройство, обеспечивающее равномерное распределение газа в активной зоне аппарата. В нижней части корпуса установлены бункера для сбора и, системы для транспортировки пыли.

Основой процесса очистки является ионизация пылевидных частиц и молекул газа под воздействием электростатического поля. Заряженные частички оседают на поверхность электрода с противоположным электрическим зарядом. Осажденные частицы удаляются с электродов встряхиванием или промывной водой. Уловленная пыль (шлам) поступает в бункер электрофильтра и далее в систему удаления.

В зависимости от конструкции электрофильтра скорость прохождения очищаемых газов колеблется в пределах 0,8—1,7 м/с.

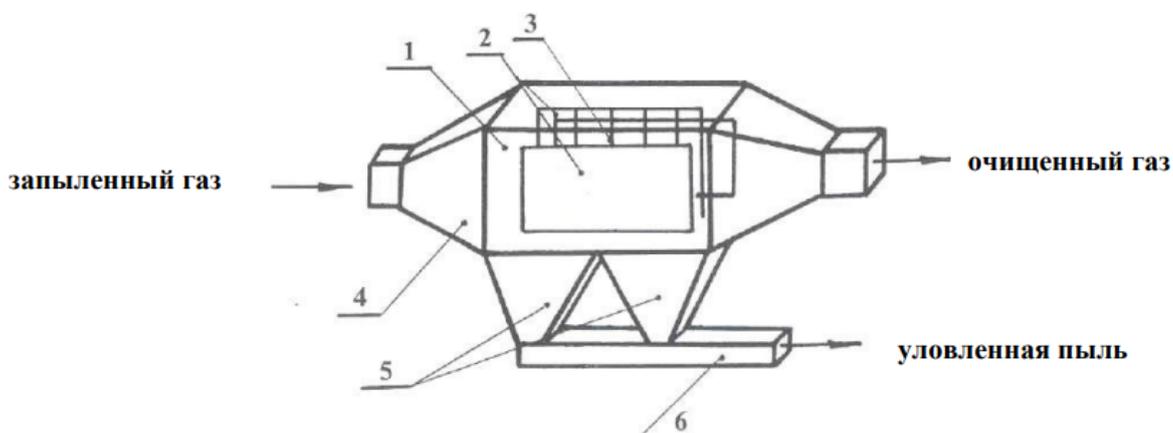


Рисунок 5.1.5 - Электрофильтр:

1 — корпус; 2 — осадительные электроды; 3 — коронирующие электроды; 4 — газораспределительное устройство; 5 — бункера для сбора пыли; 6 — система транспортировки пыли

## 5.2 Аппараты мокрой очистки выбросов

Мокрая очистка выбросов является одним из наиболее эффективных и широко распространенных методов пылегазоулавливания. При мокрой очистке достигается высокая степень извлечения твердых, жидких и газообразных примесей.

Основой процесса мокрой очистки является осаждение частиц пыли на каплях или на слое жидкости. В качестве орошающей жидкости чаще всего используется вода. Иногда, в зависимости от особенностей состава очищаемых выбросов, воду подщелачивают или подкисляют.

Аппараты мокрой газоочистки отличаются простотой конструкции и эксплуатации, относительно невысокой стоимостью. В них можно очищать выбросы любой влажности, а также пожаро- и взрывоопасные смеси.

К недостаткам мокрого способа пыле-газоочистки следует отнести: образование сточных вод и шлама, которые требуют дальнейшей обработки; коррозию оборудования при воздействии агрессивных увлажненных газов и жидкости; относительно высокие удельные затраты электроэнергии.

Простейшим аппаратом мокрой очистки выбросов является форсуночный скруббер. Он предназначен для улавливания частиц размером более 10—15 мкм, а также для охлаждения и увлажнения очищаемых выбросов.

Форсуночный скруббер (рисунок 5.2.1) представляет собой цилиндрическую емкость, оснащенную патрубками для подвода и отвода очищенного воздуха. В верхней части корпуса расположены один или несколько ярусов форсунок для распыления орошающей жидкости. Жидкость в виде дождя с диаметром капель 0,6-1 мм как бы промывает очищаемый газ, движущийся противотоком, т.е. снизу вверх, со скоростью 0,7—1,5 м/с. При больших скоростях происходит вынос влаги и отложение пыли на внутренних поверхностях выходного патрубка скруббера. Удельный расход воды в скрубберах составляет 1—6 л/м<sup>3</sup>.

В *механическом скруббере* распыление жидкости производится с помощью вращающегося диска. В скруббере Вентури распыление жидкости происходит за счет турбулентного движения очищаемого потока газа через конфузор трубы Вентури (рисунок 5.2.2). Проходя далее через инерционный каплеуловитель, поток газа освобождается от капель жидкости, которые удерживают частицы пыли, откуда жидкость отводится через гидрозатвор.

Размер частиц, улавливаемых в скруббере Вентури, — от 0,2 мкм и выше. При этом степень очистки может достигать 96—99%. Скорость газа в горловине трубы Вентури достигает 100—180 м/с, удельный расход орошающей жидкости — 0,5—1,5 л/м<sup>2</sup>.

Принцип действия и конструкция центробежного скруббера аналогичны циклону (рисунок 5.2.3). Под воздействием центробежных сил, возникающих при вращении газового потока в аппарате, частицы пыли отбрасываются на спираль скруббера, откуда смываются жидкостью, подаваемой через сопла, расположенные по окружности в верхней части корпуса.

Скорость газа в цилиндрическом сечении корпуса достигает 4—5 м/с; степень очистки довольно высокая и зависит от размера и плотности частицы пыли, а также диаметра центробежного скруббера.

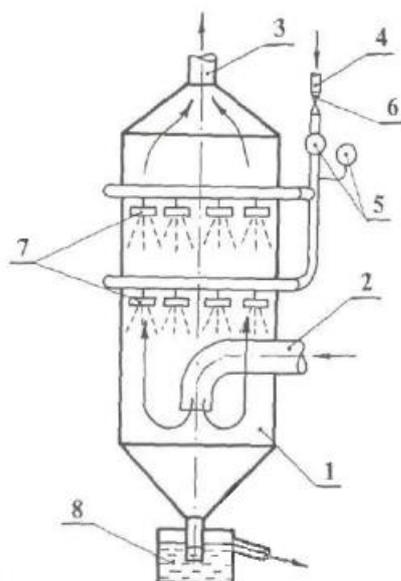


Рисунок 5.2.1 - Форсуночный скруббер:

1 — цилиндрический корпус; 2 — входной патрубок; 3 — патрубок для отвода очищенного газа; 4 — подвод воды на орошение; 5 — контрольно-измерительные приборы параметров воды; 6 — регулирующая задвижка; 7 — форсунки верхнего и нижнего яруса орошения; 8 — гидрозатвор

*Аппараты мокрой газоочистки ударно-инерционного действия* — пылеуловитель вентиляционный мокрый (ПВМ), ротоклон применяются при отсутствии достаточного количества чистой воды и относительно невысоких температурах очищаемого газа для очистки от частиц пыли размером не менее 5-10 мкм.

Принцип действия этих аппаратов основан на резком повороте на  $180^\circ$  газового потока, направленного с большой скоростью перпендикулярно к поверхности жидкости (рисунок 5.2.4). Взвешенные в газе частицы, ударяясь о поверхность жидкости, улавливаются ею. Вода, увлекаемая газовым потоком, движется до верхней кромки перегородки, а затем сепарируется в каплеуловителе. Очищенный газ с помощью вентилятора выбрасывается наружу.

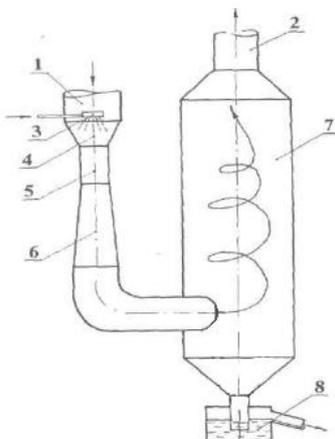


Рисунок 5.2.2 - Скруббер Вентури:

1 — вход очищаемого газа; 2 — выход очищенного газа; 3 — орошающее устройство; 4 — конфузор трубы Вентури; 5 — горловина; 6 — диффузор; 7 — каплеуловитель; 8 — гидрозатвор

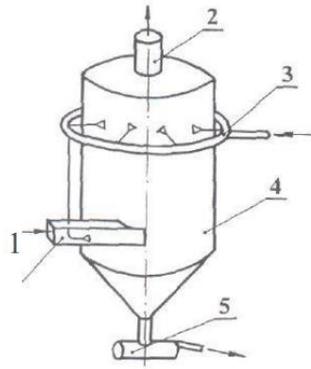


Рисунок 5.2.3 - Центробежный скруббер:

1 — тангенциальный патрубок для входа очищаемого газа; 2 — выход очищенного газа; 3 — система подачи воды; 4 — цилиндрический корпус; 5 — гидрозатвор

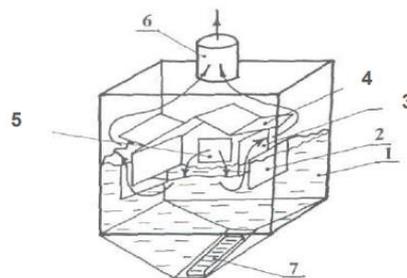


Рисунок 5.2.4 - Пылеуловитель вентиляционный мокрый (ПВМ):

1 — корпус; 2, 3 — перегородки; 4 — каплеотбойник-каплеуловитель; 5 — отверстие для входа очищаемых газов; 6 — патрубок для выхода очищенных газов; 7 — скребковый конвейер

Уловленная пыль оседает на дне корпуса аппарата и удаляется скребковым конвейером.

Расход воды на орошение газа не превышает  $0,03 \text{ кг/м}^3$ . Степень очистки при диаметре частиц пыли до  $10 \text{ мкм}$  составляет  $98\text{—}99\%$ . Скорость газа в щели между перегородками достигает  $15 \text{ м/с}$ .

Барботажные пенные аппараты предназначены для очистки небольших расходов газа от частиц пыли размером не менее  $5 \text{ мкм}$ .

Процесс барботажа состоит в прохождении очищаемого газа через слой жидкости.

Барботажный пенный аппарат (рисунок 5.2.5) представляет собой корпус, перегороденный горизонтальной решеткой с равномерно расположенными мелкими отверстиями. Запыленный газ подается под решетку и отводится из верхней части аппарата.

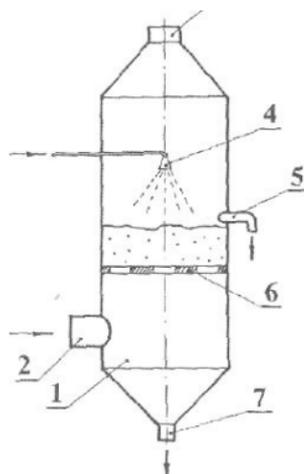


Рисунок 5.2.5 - Барботажный пенный аппарат:

1 — корпус; 2 — вход очищаемого газа; 3 — выход очищенного газа; 4 — ороситель; 5 — отвод жидкости в переливной отсек; 6 — решетка; 7 — отвод жидкости, прошедшей через решетку

При скорости газа до 1 м/с наблюдается барботажный режим, при котором воздух проходит через слой жидкости в виде отдельных пузырьков. При повышении скорости барботажный режим переходит в пенный.

Диаметр корпуса барботажного аппарата обычно составляет 2-2,5 м, диаметр отверстий решетки – 4-8 мм, скорость газов при прохождении решетки – 6 - 10 м/с.

Методы очистки промышленных выбросов от газо- и парообразных примесей по характеру протекания физико-химических процессов подразделяется на следующие группы:

- промывка выбросов растворимых примесей (адсорбция);
- промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (хемосорбция);
- поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (адсорбция);
- термическая нейтрализация вредных примесей отходящих газов (процессы сжигания);
- каталитическая очистка газов;
- биохимическая очистка газов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Классификация пылеулавливающего оборудования
2. Аппараты сухой инерционной очистки газов
3. Принцип действия пылесадительной камеры и циклона
4. Принцип действия рукавного и волокнистого фильтра.
5. Принцип действия зернистых фильтров и электрофильтров.
6. Аппараты мокрой очистки выбросов
7. Принцип действия центробежного скруббера