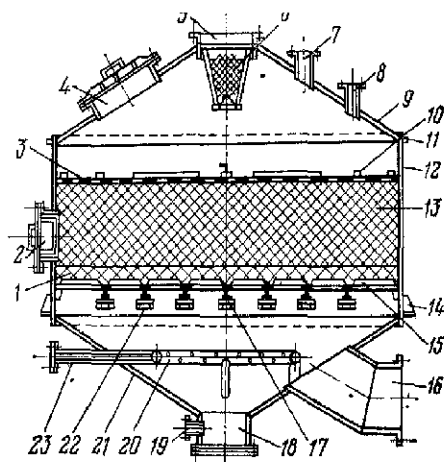


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОУВПО ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ
СТАХАНОВСКИЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ГОРНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОХРАНЫ ТРУДА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине
**«ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ
ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ»**

для студентов направления подготовки
44.04.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

В 2-х частях. Часть 1-я: Пылеочистка



*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В.ДАЛЯ»
(протокол № от 2.)*

Конспект лекций по дисциплине «Технология и техника защиты атмосферы от вредных выбросов» для студентов направления подготовки 44.04.04 (образовательно-квалификационный уровень магистр). В 2-х частях. Часть 1-я: Пылеочистка /Сост.: В.И. Сафонов. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2020. -94 с.

Рассмотрены основные процессы и аппараты технологии защиты атмосферы от выбросов вредных газов, паров, аэрозолей и пыли, основанные на использовании различных механизмов очистки газовых выбросов. Приведены основы проектирования аппаратов защиты атмосферы от вредных выбросов: пылеосадительных камер, циклонов, вихревых аппаратов, фильтров, мокрых скрубберов, электрофильтров, абсорберов и адсорберов, каталитических реакторов, теплообменников-конденсаторов. Приведены сведения по совершенствованию систем пылеочистки.

Составитель: доц. Сафонов В.И.

Ответственный за выпуск: доц. Сафонов В.И.

Рецензент: доц. Петров А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лекция 1. Источники загрязнения атмосферы вредными газовыми выбросами.....	5
Общая схема загрязнения и проблемы защиты окружающей среды.....	5
Контрольные вопросы.....	12
Задания для самостоятельной работы.....	12
Лекция 2. Механическое пылеулавливание.....	12
2.1. Пылеосадительные камеры.....	13
2.2. Циклонные осадители.....	16
2.2.1. Конструкции циклонов.....	18
2.3. Вихревые пылеуловители.....	25
Контрольные вопросы.....	28
Задания для самостоятельной работы.....	28
Лекция 3. Фильтрация аэрозолей.....	28
3.1. Волокнистые фильтры.....	30
3.2. Тканевые фильтры.....	32
3.2.1. Фильтровальные ткани.....	33
3.2.2. Рукавные фильтры.....	38
3.3. Зернистые фильтры.....	46
Контрольные вопросы.....	48
Задания для самостоятельной работы.....	48
Лекция 4. Мокрое пылеулавливание.....	48
4.1. Полые газопромыватели.....	52
4.2. Орошаемые циклоны с водяной пленкой.....	53
4.3. Пенные пылеуловители.....	56
4.4. Ударно-инерционные пылеуловители.....	57
4.5. Скоростные пылеуловители (скрубберы Вентури).....	62
Контрольные вопросы.....	67
Задания для самостоятельной работы.....	68
Лекция 5. Электрическая очистка газов.....	68
5.1. Принцип действия электрофильтров.....	69
5.2. Конструкции электрофильтров.....	74
Контрольные вопросы.....	82
Задания для самостоятельной работы.....	82
Лекция 6. Совершенствование процессов и аппаратов для пылегазоочистки.....	82
6.1. Специализация аппаратов.....	84
6.2. Предварительная обработка аэрозолей.....	84
6.3. Режимная интенсификация.....	87
6.4. Конструктивно-технологическое совершенствование.....	87
6.5. Многоступенчатая очистка.....	88
6.6. Краткие характеристики пылеуловителей.....	88
Контрольные вопросы.....	93
Задания для самостоятельной работы.....	93
Список рекомендованной литературы.....	94

Введение

На современном этапе для большинства промышленных предприятий очистка вентиляционных выбросов от вредных веществ является одним из основных мероприятий по защите воздушного бассейна.

Обезвреживание выбросов предполагает либо удаление вредных примесей из инертного газа-носителя, либо превращение их в безвредные вещества. Оба принципа могут быть реализованы через различные физические и химические процессы, для осуществления которых требуются определенные условия. Расчеты процессов и аппаратов газоочистки при их проектировании должны быть направлены на создание условий, обеспечивающих максимально полное обезвреживание выбросов.

В настоящее время используются различные методы улавливания и обезвреживания паро- и газообразных веществ из воздуха. На практике применяют следующие способы очистки газа: абсорбционный, адсорбционный, каталитический, термический и др.

Методики расчета аппаратов для физико-химической очистки газов базируются на закономерностях массо- и теплообмена. При этом используются элементы теории подобия диффузионных процессов.

Цель настоящего учебного пособия – систематизировать сведения по массообменным, физикохимическим и термическим процессам, методические подходы к расчету оборудования по абсорбции и адсорбции, каталитическому и термическому обезвреживанию вредных примесей из промышленных, вентиляционных и транспортных выбросов. Приводятся необходимые сведения по устройству, работе и расчету типового оборудования, а также справочные материалы. Изложение материала сопровождается примерами расчета, которые облегчают усвоение теоретических вопросов.

Лекция 1.

Источники загрязнения атмосферы вредными газовыми выбросами

План лекции

Общая схема загрязнения и проблемы защиты окружающей среды

Классификация источников загрязнения атмосферы

Общая схема загрязнения и проблемы защиты окружающей среды

Антропогенное загрязнение окружающей среды (загрязнение, обусловленное жизнедеятельностью человека) до определенного периода времени достаточно хорошо сглаживалось (компенсировалось) процессами, происходящими в биосфере. Однако в результате интенсивной деятельности человека биосфера стала постоянно изменяться (деградировать): ухудшается качество атмосферы, водоемов и почв, уничтожается фауна и флора. В результате научно-технической революции происходит значительное загрязнение окружающей среды, с которым она зачастую уже не в состоянии сама справиться. Выбросы и сбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоемы и почву достигли таких масштабов, что в некоторых регионах земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнений окружающей среды значительно превышают допустимые санитарные нормы. Поэтому *проблема защиты окружающей среды* является одной из важных задач человечества.

На рис.1. показана общая схема загрязнения окружающей среды при эксплуатации любого промышленного предприятия.



Рис. 1. Общая схема загрязнения окружающей среды

В целях защиты окружающей среды (ЗОО) работа промышленности должна быть организована так, чтобы образующиеся отходы превращались в новые продукты. Охрана природы требует, чтобы производство совершенствовалось, а

отходы утилизируются; все процессы создавались на основе малоотходной и безотходной технологии. Применение малоотходной и безотходной технологии позволит не только решить проблему ЗОС, но одновременно обеспечит высокую экономическую эффективность производства.

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия предприятий. Под понятием «безотходная технология» следует понимать комплекс мероприятий в технологических процессах, который на данном этапе развития общества должен включать:

1) совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов и сбросов вредных веществ (ВВ) и отходов в окружающую среду;

2) замена токсичных отходов на нетоксичные;

3) обеззараживание отходов;

4) замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;

5) применение пассивных методов защиты окружающей среды. Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по *ограничению* выбросов/сбросов с последующей утилизацией или захоронением отходов. К их числу относятся:

- очистка сточных вод и газовых выбросов от вредных примесей;

- захоронение токсичных и радиоактивных отходов;

- рассеивание ВВ в атмосфере;

- снижение уровней энергетического загрязнения среды обитания человека.

Важная роль в ЗОС отводится мероприятиям по *рациональному размещению* источников загрязнения, а именно:

- вынесение предприятий из крупных городов и сооружение новых в малонаселенных районах;

- расположение их с учетом топографии местности и розы ветров;

- установление зон санитарной охраны (ЗСО), санитарно-защитных зон (СЗЗ), зон наблюдения (ЗН);

- рациональная застройка городов, обеспечивающая оптимальные экологические условия для человека и зеленых насаждений.

Многолетний опыт эксплуатации различного назначения предприятий позволил выработать следующую схему экологизации «старого типа технологий» и решения проблем защиты окружающей среды:

а) для действующих предприятий:

- проводится инвентаризация источников загрязнения и анализ качества внутрипроизводственной и внешней среды;

- на основании сравнения полученных результатов анализа с нормативами делается вывод о технической и экологической безопасности предприятия для персонала и окружающей среды;

- в случае обнаружения признаков сверхнормативного воздействия производственных процессов и предприятия в целом на человека и окружающую среду разрабатывают и реализуют более эффективные мероприятия по их модернизации;

б) для проектируемых предприятий, производств:

- проводится изучение и анализ закладываемых в проект технологических

режимов и особенностей производственных процессов, источников всевозможных выделений загрязняющих веществ в окружающую среду и оценка их качественных и количественных характеристик;

- разрабатывается проектная документация с оценкой воздействия отдельных процессов и предприятия в целом на окружающую среду, делается вывод о достаточности или необходимости совершенствования проектных решений по защите человека и окружающей среды от возможных негативных воздействий эксплуатации предприятия;

- по результатам этих исследований производится корректировка проектных решений;

- после пуска производства в эксплуатацию проводится проверка его экологической безопасности по схеме действующего предприятия.

Промышленное производство и другие виды хозяйственной деятельности людей сопровождаются выделением в воздух помещений и в атмосферный воздух различных веществ, загрязняющих воздушную среду.

Многие технологические процессы на предприятиях металлургической, химической, нефтехимической промышленности, в ряде цехов машиностроительных заводов, на многих других производствах сопровождаются поступлением вредных газов и паров в атмосферный воздух. Активным загрязнителем атмосферного воздуха является транспорт, в первую очередь, автомобильный.

На выбросы энергетических объектов приходится около 60%, транспорт 20...25%, промышленность 15...20%. В связи со значительным увеличением автомобильного парка постоянно возрастает его роль в загрязнении атмосферного воздуха.

К загрязнителям относятся вещества, содержащиеся в атмосфере в концентрациях, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на человека, животных и растения, здания и сооружения, материалы и оборудование. Некоторые газы (диоксид серы, оксиды азота и др.) обычно присутствуют в атмосфере в низких (фоновых) концентрациях, не опасных для объектов биосферы.

В табл. 1.1 приведены фоновые концентрации газов в естественных, не загрязненных антропогенной деятельностью условиях, в приземном слое атмосферы (нижняя тропосфера).

Таблица 1.1 – Фоновые концентрации газов в естественных условиях

Газ	Фоновая концентрация, %	Расчетный период выведения
Основные газы:		
азот	78,0	Непрерывное
кислород	20,9	То же
аргон	0,93	То же
диоксид углерода	0,032	2... 4 года
следы газов	0,034... 0,035	

Инертные газы:		
гелий	5,2	2 млн. лет
неон	18,0	Непрерывное
криптон	1,1	То же
ксенон	0,086	То же
Реакционноспособные:		
оксид углерода	0,1	0,5 года
метан	1,4	4... 7 лет
непредельные углеводороды	менее $1 \cdot 10^{-3}$	Нет данных
оксиды азота	0,25	От нескольких дней до 4 лет
аммиак	$(6... 20) \cdot 10^{-3}$	7 дней
сероводород	$0,2 \cdot 10^{-3}$	2 дня
диоксид серы	$0,2 \cdot 10^{-3}$	4 дня
хлор	$(3... 15) \cdot 10^{-4}$	Несколько дней
йод	$(0,4... 4) \cdot 10^{-5}$	То же
фтористый водород	$(0,08... 18) \cdot 10^{-3}$	То же
водород	0,58	То же
озон	0... 0,05	Около 60 дней

Под периодом выведения понимают среднее время, в течение которого вещество находится в атмосфере до полного обезвреживания, либо до адсорбции земной поверхностью, либо до взаимодействия в атмосфере.

Все газы, находящиеся в атмосфере в количествах, превышающих приведенные в таблице 1.1, или газы, не приведенные в этой таблице, относят, таким образом, к загрязнителям.

Загрязнение воздуха в результате поступления в него различного рода вредных веществ имеет ряд неблагоприятных последствий.

Газовые загрязнения, как и аэрозольные, загрязняя атмосферный воздух, значительно ухудшают его качество, а в ряде случаев делают его непригодным для нахождения в нем людей.

Вредные вещества поступают в воздух помещений также в результате жизнедеятельности людей и животных.

Кроме аэрозольных частиц в воздух поступают газы, пары, а также микроорганизмы и радиоактивные вещества. Качество воздуха ухудшается также из-за присутствия в воздухе носителей неприятных запахов.

Оксид углерода в повышенных концентрациях обнаружен на значительной высоте, а также в рабочих и жилых помещениях высотных домов, на улицах с интенсивным автомобильным движением.

Большая концентрация оксида углерода может создаваться в кабинах шоферов, трактористов, комбайнеров и др.

Причинами значительных выбросов в атмосферу являются: отсутствие или неэффективная локализация источников выделения газов и пыли; недостаточная герметичность, конструктивные недостатки производственного оборудования, его техническая неисправность; неправильное ведение технологических процессов и др.

Дисперсные и газовые загрязнители нередко являются следствием одних производственных процессов, вместе перемещаются в коммуникациях, тесно взаимодействуют в очистных аппаратах и атмосфере, совместно наносят ущерб окружающей среде и человеку. Поэтому необходимо учитывать весь комплекс присутствующих в технологическом выбросе загрязнителей. Нельзя принимать за средство очистки запыленных газов пылеосадительное устройство, выбрасывающее в атмосферу вредные газообразные вещества. Недопустимы и такие средства, в которых обезвреживание исходных газовых загрязнителей сопровождается образованием и выбросом ядовитых туманов и дымов других веществ.

Санитарные нормы ограничивают концентрацию вредных паров и газов в воздухе населенных пунктов, однако эти требования не всегда соблюдаются. Это наносит значительный ущерб здоровью людей, проживающих в местностях, подверженных воздействию вредных газов и паров, ведению сельского хозяйства в данном районе, организации отдыха людей, приводит к повреждению архитектурных сооружений, памятников истории и культуры и т.д.

Для того, чтобы избежать этих тяжелых последствий и поддерживать качество воздуха на уровне, соответствующем санитарным требованиям, выбросы в атмосферу должны очищаться не только от аэрозольных загрязнений, но также от вредных паров и газов. Выброс вредных газов и паров в атмосферу можно значительно уменьшить благодаря осуществлению технологических мероприятий.

По мере развития техники и совершенствования технологических процессов появляются новые виды веществ, выбрасываемых в атмосферу. В то же время происходит модернизация существующего и разработка новых видов технологического оборудования, в котором осуществлена полная герметизация, автоматизация, дистанционное управление. Внедряется безотходная технология, при которой исключаются выбросы в атмосферу, возникают новые методы очистки воздуха от вредных газов и паров, разрабатывается и применяется новое технологическое оборудование, в состав которого входят встроенные агрегаты для удаления и обезвреживания вредных веществ.

Классификация источников загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферы происходит от двух видов источников: естественных и антропогенных. Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха показана на рис. 1.1.

К *естественным* загрязнениям относятся: пыль растительного, вулканиче-

ского и космического происхождения; пыль от эрозии почвы; туман, дымы и газы от лесных и степных пожаров; испарения различных биологических сред и т. п. Уровень загрязнения атмосферы от естественных источников является *природным фоном загрязнения* и незначительно изменяется со временем.

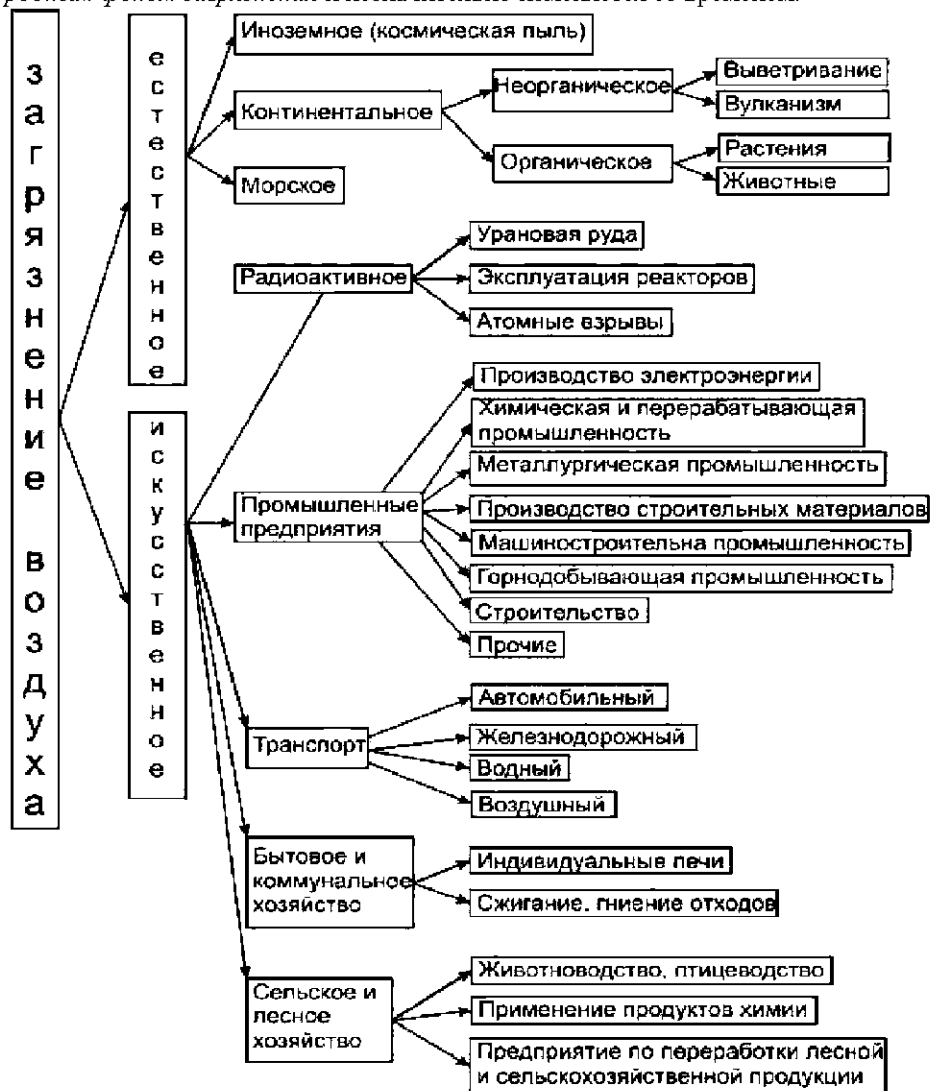


Рис. 1.1. Классификация источников загрязнения воздуха

Антропогенные загрязнения отличаются большим многообразием видов и количеством источников. Самыми распространенными источниками загрязнения атмосферы являются машиностроительные предприятия (литейные, термические, прокатные, кузнечнопрессовые, сварочные, гальванические и лако-

красочные цехи), энергетические установки, автотранспорт, ракетные двигатели, топки, котельные, сельское хозяйство, добывающие отрасли и др. Самыми распространенными веществами, загрязняющими атмосферу, являются: оксид углерода CO, двуокись углерода CO₂ и серы SO₂, оксиды азота NO_x, летучие углеводороды, пыль; различные заводы выбрасывают пары кислот, щелочей, органических растворителей, ртути и т. п.

Литейные цехи содержат в основном электродуговые и индукционные печи и другое оборудование. Это наиболее крупные источники пылегазовыделения. Например, при производстве одной тонны чугунных отливок образуются: до 300 кг CO, 1-2 кг SO₂, до 50 кг пыли, оксиды азота, аммиак, фенолы и другие вредные химические вещества (ВХВ).

Термические цехи оборудованы нагревательными печами на жидком и газообразном топливе. Вентиляционный воздух из этих цехов содержит: пары масла, аммиака, цианистого водорода и других вредных веществ. Из дробеструйных камер после очистки металла от окалины с отходящим газом выбрасывается до 10 г/м³ твердых частиц.

Сварочные, прокатные и кузнечно-прессовые цехи при обработке металла выделяют много пыли, тумана кислот и масел, токсичные газы. При сварке образуется мелкодисперсная пыль, до 99 % состоящая из субмикронных частиц. Для удаления окалины с поверхности горячекатанной полосы применяют травление в серной и соляной кислотах. При этом среднее содержание кислоты в удаляемом воздухе достигает 3 г/м³. Газовая и плазменная резка металлов сопровождается выделением мелкодисперсной пыли, CO, NO_x.

Гальванические цехи и цехи механической обработки металлов используют при травлении растворы серной, соляной, азотной и плавиковой (HF) кислот. При воронении в воздух выделяются особо токсичные пары цианистых солей, хромовой и азотной кислот и др.

Лакокрасочные цехи и цехи по производству неметаллических изделий из стеклопластика, пластмасс, полимеров и при нанесении краски на поверхности изделий значительно загрязняют окружающую среду. В этом случае в атмосферу с выбрасываемым воздухом поступают пары растворителей, красок, SO₂, CO, H₂S, пары бензина, толуола, ксилола, пыль и др. Особенно много вредных веществ выделяется при производстве пластмасс, синтетических волокон и т.п.

Выбросы энергетических установок ТЭЦ, котельных, автотранспорта и других транспортных средств определяются видом используемого топлива и режимами работы агрегатов. При сжигании органического топлива образуется CO₂ и водяной пар. Но в атмосферу с ними поступают и примеси топлива, продукты неполного сгорания топлива: оксид углерода, сажа, углеводороды, бензапирен C₂₀H₁₂, зола, оксиды серы, азота, свинца PbO, а также урана и тория. Например, ТЭЦ мощностью 2,5 млн. кВт за сутки расходует около 20 тыс. т угля и выбрасывает в атмосферу до 700 т SO₂ и SO₃, 200 т оксидов азота, около 200 т твердых частиц (зола, сажа, пыль).

Автотранспорт выбрасывает нетоксичные (N₂, O₂, H₂O (пары), CO₂, H₂) и токсичные вредные вещества (NO_x, C_nH_m, альдегиды, сажа, бензапирен, свинец при использовании этилированного бензина).

Вредные вещества, выделяемые в атмосферу, можно разделить на следующие

щие группы:

- твердые частицы (пыль) и аэрозоли;
- кислые компоненты H_2S , SO_2 , SO_3 , CO_2 , оксиды азота, галогены и их соединения;
- фосфор и его соединения;
- аммиак и другие азотные соединения;
- ртуть, другие металлы и их соединения;
- летучие растворители.

В атомной и некоторых других отраслях промышленности имеют место выбросы радиоактивных веществ.

Контрольные вопросы

1. Почему необходима защита окружающей среды от антропогенных загрязнений?
2. Дайте общую схему загрязнения окружающей среды.
3. Что такое малоотходная и безотходная технология?
4. Что включает в себя понятие «пассивные методы защиты окружающей среды»?
5. Характеристика выбросов двигателей внутреннего сгорания.
6. Снижение выбросов двигателей внутреннего сгорания.
7. Нейтрализация выхлопов двигателей внутреннего сгорания.
8. Улавливание аэрозолей, выбрасываемых дизельным двигателем.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Лекция 2.

Механическое пылеулавливание

План лекции.

Механические осадители.

Пылеосадительные камеры.

Циклонные осадители.

Конструкции циклонов.

Вихревые пылеуловители.

Термин «механические осадители» обычно используют для обозначения устройств, в которых частицы осаждаются под действием либо сил тяжести или инерции, либо и тех и других. В гравитационных осадителях частицы осаждаются из потока газа под действием собственного веса. В инерционных осадителях поток частиц, взвешенных в газе, внезапно подвергается изменению направления движения. Возникающие инерционные силы стремятся выбросить частицы

из потока. Циклоны-осадители, в которых используется инерция центробежной силы, являются важным частным случаем инерционных осадителей.

Скорость удаления частиц пропорциональна осаждающей силе. Из-за очень малого веса мелких частиц гравитационное осаждение оказывается слишком медленным и малоэффективным процессом для частиц размером менее 100 мкм. При использовании инерционного эффекта скорость улавливания резко повышается. Благодаря этому можно уменьшить размер оборудования и расширить диапазон эффективного улавливания до частиц размером около 20 мкм. Для некоторых циклонов предельный размер улавливаемых частиц составляет 5...10 мкм.

Для осаждения под действием гравитации газ обычно просто медленно пропускают через большую камеру, причем частицы имеют возможность осесть в бункер на дне. Расстояние, требуемое для осаждения частиц, можно уменьшить путем разделения пространства камеры несколькими горизонтальными параллельными поддонами.

Гравитационные камеры можно снабжать отражательными перегородками для изменения направления движения газа и привлечения сил инерции для увеличения осадительного действия. В других конструкциях для создания инерционного эффекта используют заслонки, отбойники.

В циклонных осадителях газу сообщают вращательное или вихревое движение, чтобы подвергнуть частицы воздействию центробежной силы. Это достигается или тангенциальным вводом потока в круглую камеру, или пропусканьем газа мимо лопастей, радиально ориентированных по отношению к оси потока.

Устройства всех этих типов характеризуются простотой конструкции и работы. Они относительно дешевы по сравнению с другими типами осадителей. В общем они не имеют движущихся частей, а для обеспечения рабочих условий можно использовать любой материал. Затраты энергии на работу также относительно малы, что обусловлено малым перепадом давления при течении газа через устройство.

Осадители рассматриваемого типа используются для первичного удаления грубых частиц газового потока. В большинстве случаев защиты воздуха от загрязнения требуется улавливание гораздо более мелких частиц (размером около 1 мкм), поэтому обычно необходимо применять осадители других типов. Однако механические осадители можно использовать как предварительные, располагая их последовательно с устройствами других типов, чтобы уменьшить нагрузку на последние. Это особенно необходимо при сильно запыленных газовых потоках. Механические осадители могут работать долгое время без обслуживания с малыми энергетическими затратами.

2.1. Пылеосадительные камеры

Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси.

Для достижения приемлемой эффективности очистки газов данными устройствами необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадительных аппара-

тах возможно более продолжительное время, а скорость движения пылевого потока была незначительной. Поэтому данное оборудование относится к категории экстенсивного оборудования, рабочие объемы таких аппаратов весьма значительны, что требует больших производственных площадей. Однако пылеосадительные камеры и пылевые мешки обладают очень незначительным гидравлическим сопротивлением (50... 300 Па).

В промышленности пылеосадительные камеры используются в качестве устройств предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. В связи с этим данное оборудование используют только на первых ступенях систем газоочистки для осаждения частиц крупных размеров (более 100 мкм). Обычно средняя расходная скорость движения газов в пылеосадительных камерах составляет 0,2... 1 м/с, а в пылевых мешках – 1... 1,5 м/с.

На рис. 2.1 представлены наиболее распространенные конструкции пылеосадительных камер и пылевых «мешков».

Для равномерного газораспределения по сечению пылеосадительные камеры могут снабжаться диффузорами и газораспределительными решетками, а для снижения высоты осаждения частиц - горизонтальными или наклонными полками. Эффективность улавливания частиц с помощью гравитационного осаждения можно повысить, уменьшая требуемый путь их падения. Это можно осуществить, помещая в камеру горизонтальные пластины, что превращает ее в группу небольших параллельных камер. В некоторых конструкциях пылеосадительных камер для повышения их эффективности предусматривается устройство цепных или проволочных завес и отклоняющихся перегородок. Это позволяет дополнительно к гравитационному эффекту использовать эффект инерционного осаждения частиц при обтекании потоком газов различных препятствий.

Действие силы тяжести может быть увеличено инерционными силами, если к потолку камеры прикрепить вертикальный экран. При обтекании газовым потоком нижней кромки экрана частицы будут увлекаться вниз инерционной силой, возникающей при искривлении линий тока газа.

Целью расчета пылеосадительных камер является подбор их габаритных размеров и определение коэффициента очистки. В общем случае коэффициенты очистки могут быть найдены опытным путем, так как процесс седиментации сопровождается турбулентной диффузией. Особенно заметно влияет турбулентность на ухудшение оседания частиц в камерах с рассекателями, а также в полых осадительных емкостях большой высоты.

Конструирование осадительных камер основано на подсчете сил, действующих на частицу, и скорости вертикального движения вниз под действием результирующей силы. В соответствии с законом Ньютона чистое ускорение вертикального движения частиц определяется результирующим действием силы тяжести, плавучести и сопротивления среды. В случае газов эффектом плавучести можно пренебречь.

Простая модель проектирования осадительной камеры получается на основе предположения о фронтальном характере течения газа через камеру и равномерном расположении частиц в газе. На рис. 2.2 схематически показано сечение камеры. Частица, входящая в камеру со скоростью, равной скорости газа v_0 на

уровне h_c должна следовать прямолинейной траектории. Осядет или нет данная частица, определяется из условия $w_{oc} \cdot h_c \leq v_0 \cdot l$. Осажденная фракция частиц с одной и той же скоростью седиментации w_{oc} определяется соотношением $h_c/H = v_0 \cdot l / w_{oc}$.

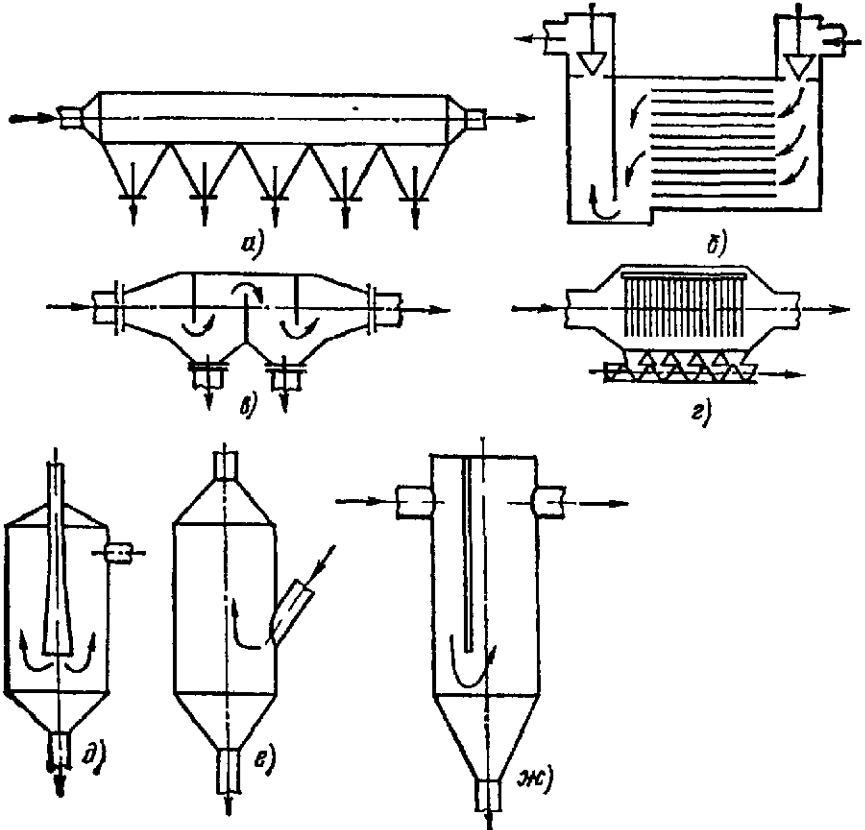


Рис. 2.1. Пылеосадительные камеры и простейшие пылеосадители инерционного действия: а – простейшая пылеосадительная камера; б – многослойная камера; в – камера с перегородками; г – камера с цепными или проволочными завесами; д – пылевой «мешок» с центральным подводом газа; е – пылевой «мешок» с боковым подводом газа; ж – пылеосадитель с отражательной перегородкой.

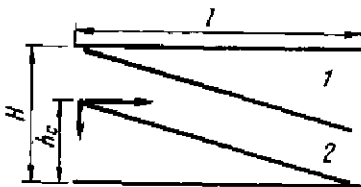


Рис. 2.2. Схема осаждения частиц в камере: 1 – очищенная зона; 2 – предельная траектория.

Размеры камеры (H, L, B) определяются размером $d_{ч}^*$ наименьших частиц, которые должны быть осаждены полностью.

2.2. Циклонные осадители

Наибольшее распространение в системах пылеочистки получили циклоны. Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов во всех отраслях народного хозяйства.

На практике система улавливания частиц создается путем придания запыленному потоку закрученного или вращательного движения, ограниченного цилиндрическими стенками. Частицы осаждаются при отбрасывании на стенки. Такое устройство называется циклоном.

Эффективность циклонов можно объяснить на следующем примере. Частица массой m двигающаяся по круговой траектории радиуса r с тангенциальной скоростью u_τ , подвержена действию центробежной силы $m \cdot u_\tau^2 / r$. Для типичных условий $u_\tau = 15$ м/с, $r = 0,6$ м эта сила примерно в 39 раз превышает силу тяжести. Поэтому указанная сила может резко увеличить осаждение в камере.

Циклоны просты в изготовлении, надежны в эксплуатации при высоких давлениях и температурах, обеспечивают фракционную эффективность очистки на уровне 80...95% от частиц пыли размером более 10 мкм. Циклоны в основном рекомендуется использовать перед высокоэффективными аппаратами пылеочистки (тканевыми и электрофильтрами). В ряде случаев циклоны обеспечивают эффективность очистки, достаточную для выброса газов или воздуха в атмосферу.

В России и СНГ для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров D : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм. Для всех одиночных циклонов бункеры выполняются цилиндрическими с коническим днищем. Диаметр бункера принимают $1,5 D$ для цилиндрических и $1,1 \dots 1,2 D$ для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера принимается $0,8 D$, угол конусности стенок днища - 60° .

Циклоны делятся на циклоны большой производительности и циклоны высокой эффективности. Первые имеют обычно большой диаметр и обеспечивают очистку значительных количеств воздуха. Вторые - сравнительно небольшого диаметра (до 500...600 мм). Очень часто применяют групповую установку этих циклонов, соединенных параллельно по воздуху.

Эффективность очистки газа в циклонах в основном определяется дисперсным составом и плотностью частиц улавливаемой пыли, а также вязкостью газа, зависящей от его температуры. При уменьшении диаметра циклона и повышении до определенного предела скорости газа в циклоне эффективность очистки возрастает. Поэтому диаметры серийно выпускаемых циклонов не превышают 5 м.

Циклоны, как правило, используют для грубой и средней очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли. Принято считать, что они обладают сравнительно небольшой фракционной эффективностью в области фракций пыли размером до 5...10 мкм, что является основным их недостатком. Однако циклоны, особенно циклоны высокой эффективности, улавливают не такую уж малую часть пыли размером до 10 мкм - до 80 и более процентов.

В современных высокоэффективных циклонах, в конструкции которых учтены особенности улавливаемой пыли, удалось существенно повысить общую и

фракционную эффективность очистки. Отмеченный выше недостаток обусловлен особенностями работы циклонов, в частности, турбулизацией потока запыленного воздуха, которая препятствует сепарации пыли.

Разработано и применяется в технике обеспыливания большое число различных типов циклонов, которые отличаются друг от друга формой, соотношением размеров элементов и т. д. (рис. 2.3).

Конструктивно циклоны могут быть выполнены одиночными, групповыми и батарейными. Среди одиночных и групповых циклонов наибольшее распространение получили циклоны НИИОГаза типов ЦН-15 и СК-ЦН производительностью 600... 230 000 м³/ч, а среди батарейных циклонов - типов БЦ-2, ПБЦ, ЦБ-254 Р, ЦБ-150у производительностью от 12 000 до 480 000 м³/ч. Эффективность очистки в батарейных циклонах выше, чем в одиночных или групповых, так как в них циклонные элементы имеют значительно меньший диаметр при равных производительностях.

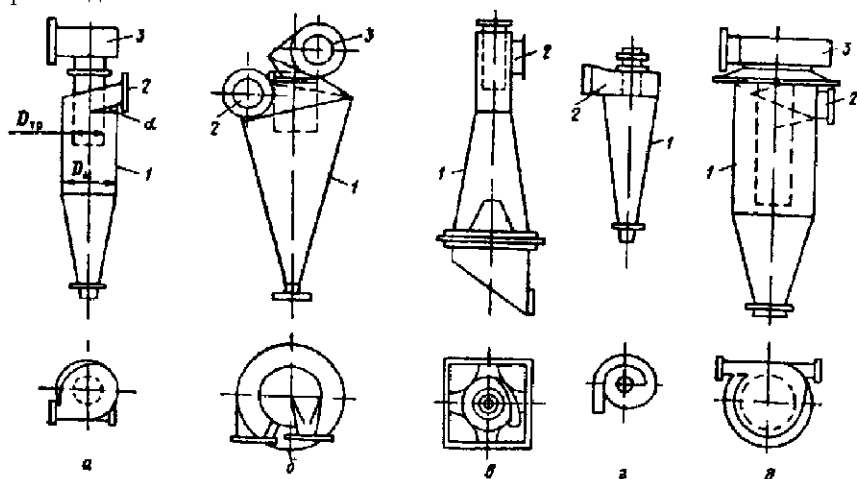


Рис. 2.3. Основные типы конструкций циклонов: а – циклон НИИОГаза; б – СИОТ; в – ВЦНИИОТ; г – СК-ЦН-34; д – ЛИОТ; 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выходная улитка.

Запыленный воздух поступает в циклон через патрубок, очищенный – удаляется через выхлопную трубу. В зависимости от способа подведения воздуха к циклону различают циклоны с тангенциальным и спиральным подводом воздуха. При прочих равных условиях циклоны со спиральным подводом обладают более высокой эффективностью очистки. Поток запыленного воздуха входит в корпус циклона обычно со скоростью 14... 20 м/с.

Применяют циклоны правые (вращение потока запыленного воздуха по часовой стрелке, если смотреть сверху) и левые (вращение против часовой стрелки).

Скорость газа в свободном сечении цилиндрической части циклонов должна лежать в пределах 2,5... 3,5 м/с. В обычных условиях оптимальной считается скорость 3,5 м/с, а скорость 2,5 м/с рекомендуется принимать при работе с абра-

живной пылью.

Запыленные газы подаются в циклоны через тангенциальные или аксиальные завихрители и совершают внутри аппаратов сложное вращательно-поступательное движение, характеристики которого изучены еще недостаточно. На частицы, взвешенные в потоке внутри циклона, действует сила инерции, которая стремится сместить их с криволинейных линий тока по касательным, направленным под некоторым углом вниз и к стенке корпуса. Частицы, соприкасающиеся с внутренней поверхностью стенки, под действием сил тяжести, инерции и опускающегося газового потока скользят вниз и попадают в пылеприемник (бункер). Частицы, не достигшие стенки, продолжают движение по криволинейным линиям тока и могут быть вынесены из циклона газовым потоком, который может захватить и некоторое количество осевших в бункер частиц.

Упрощенно считая, что траектории движения взвешенных частиц близки к окружностям, можно величину возникающей силы инерции принять пропорциональной квадрату тангенциальной скорости, массе частиц и обратно пропорциональной радиусу вращения. Так, при радиусе вращения менее метра и тангенциальной скорости в пределах 10...15 м/с сила инерции на порядок превосходит силу тяжести. По этой причине сепарация частиц в циклонах происходит намного интенсивнее, чем в гравитационных осадителях.

Поскольку инерционная сила пропорциональна массе, то мелкие частицы улавливаются в циклонах плохо. Степень очистки аэрозолей с размерами частиц свыше 10 мкм находится в пределах 80...95%, а более мелких частиц - намного хуже. Увеличение эффекта осаждения частиц за счет уменьшения диаметра циклона и повышения скорости потока возможно до некоторых пределов, ограниченных техническими и экономическими факторами, такими как рост энергетических затрат, ухудшение очистки вследствие повторного захвата отсепарированных частиц, абразивный износ, увеличение металлоемкости и другими. Для широко распространенных циклонов оптимальные значения скоростей потоков и конструктивных параметров установлены опытным путем и приводятся в справочной литературе.

2.2.1. Конструкции циклонов

Циклоны НИИОГаз. В институте НИИОГаз разработан ряд конструкций цилиндрических и конических циклонов. Широкое распространение получили цилиндрические циклоны (рис. 2.4) ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24. Цифровое обозначение циклона соответствует углу наклона крышки аппарата и патрубка, подводящего запыленный поток. Для данных циклонов характерна удлиненная цилиндрическая часть корпуса. Циклон ЦН-15у имеет укороченную коническую часть. Его применяют при ограничении по высоте, он имеет несколько худшие показатели, чем ЦН-15.

Циклон ЦН-11 предназначен для очистки воздуха (газов) от сухой неслипающейся неволокнистой пыли, образующейся в различных помольных и дробильных установках и при транспортировании сыпучих материалов.

Для улавливания взрывоопасной и легковозгораемой пыли циклоны ЦН должны быть выполнены по специальным чертежам и не иметь узлов, где могло бы происходить скопление пыли, и должны быть снабжены необходимым коли-

чеством взрывных клапанов.

Цилиндрические циклоны ЦН в зависимости от требуемой производительности можно устанавливать одиночно или компоновать в группы по два, четыре, шесть, восемь циклонов (рис. 2.5).

Соотношение размеров (в долях внутреннего диаметра) для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24 дано в табл. 2.2.

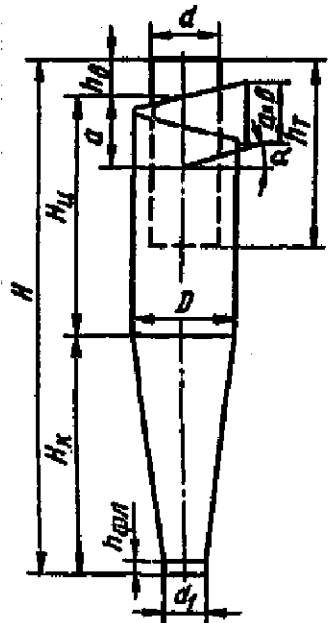


Рис. 2.4. Циклон ЦН конструкции НИИОГаз.

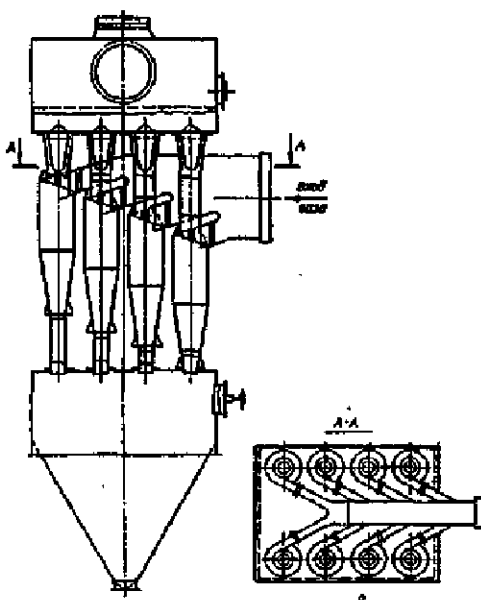


Рис. 2.5. Групповая установка циклонов ЦН.

Таблица 2.2. Соотношение размеров (в долях внутреннего диаметра) для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24

Наименование	Тип циклона	
	ЦН-15; ЦН-15у; ЦН-24	ЦН-11
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	0,59 для всех типов	
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия, d_1	0,3-0,4* для всех типов	
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер), b	0,2 для всех типов	
Ширина входного патрубка на входе (внутренний размер), b_1	0,26 для всех типов	

Длина входного патрубка, l	0,6 для всех типов	
Диаметр средней линии циклона, D_{cp}	0,8 для всех типов	
Высота установки фланца, h_{ϕ}	0,1 для всех типов	
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона, α	15°; 15°; 24°	11°
Высота входного патрубка (внутренний диаметр), a	0,66; 0,66; 1,11	0,48
Высота выхлопной трубы, $h_{т}$	1,74; 1,5; 2,11	1,56
Высота цилиндрической части циклона, $H_{ц}$	2,26; 1,51; 2,11	2,06
Высота конуса циклона, $H_{к}$	2,0; 1,50; 1,75	2,0
Высота внешней части выхлопной трубы, $h_{в}$	0,3; 0,3; 0,4	0,3
Общая высота циклона, H	4,56; 3,31; 4,26	4,38

* Большой размер принимается при малых D и большой запыленности

К коническим циклонам НИИОГаз относятся аппараты СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М (рис. 2.2,г; табл. 2.3). Циклоны имеют удлиненную коническую часть и спиральный входной патрубок. Циклоны обладают высокой эффективностью очистки. Они предназначались для улавливания сажи.

Таблица 2.3. Соотношение размеров (в долях диаметра D) для циклонов СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Наименование	Тип циклона		
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутренний диаметр цилиндрической части, D	До 3500 мм		До 4000 мм
Высота цилиндрической части, $H_{ц}$	0,535	0,515	0,4
Высота конической части, $H_{к}$	3,0	2,110	2,6
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	0,334	0,340	0,22
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия, d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка, b	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы, $h_{в}$	0,2-0,3	0,2-0,3	0,3
Высота установки фланца,	0,1	0,1	0,1

$h_{\text{фп}}$			
Высота входного патрубка, a	0,535	0,515	0,4
Длина входного патрубка, l	0,6	0,6	0,6
Высота заглубления выхлопной трубы, $h_{\text{т}}$	0,535	0,515	0,4
Текущий радиус улитки, ρ	$D/2+b\Box/2\pi$	$D/2+b\Box/\pi$	$D/2+b\Box/\pi$

Фракционная эффективность циклонов ЦН-11, ЦН-15 и конических циклонов представлена на рис. 2.6.

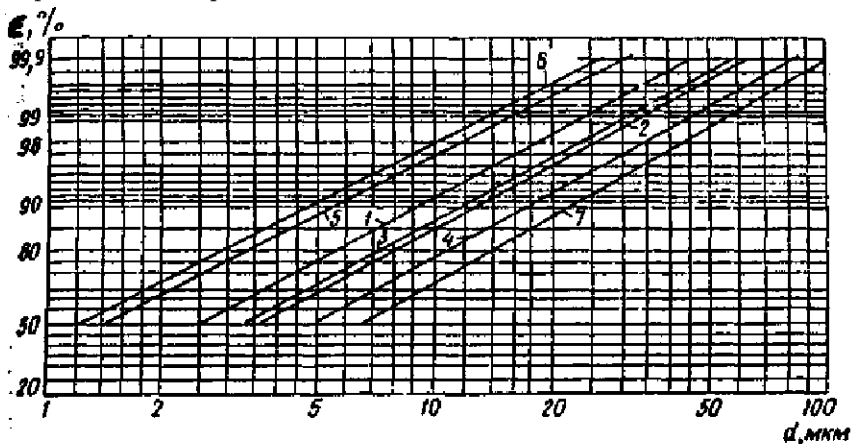


Рис. 2.6. Фракционная эффективность циклонов ЦН НИИОГаз: 1 - ЦН-11; 1 - ЦН-15; 3 - ЦН-15у; 4 - ЦН-24; 5 - СДК-ЦН-33; 6 - СК-ЦН-34.

Циклоны СИОТ (Свердловский институт охраны труда) полностью лишены цилиндрической части. Выхлопная труба опущена в верхнюю часть конуса. Входной патрубок имеет треугольное сечение (рис. 2.7, табл. 2.4). Циклоны СИОТ применяют для очистки газов (воздуха) от сухой неволокнистой, несляпающейся пыли.

Таблица 2.4. Циклоны конструкции СИОТа

Номер циклона	Производительность, тыс. м ³ /ч	Размеры, мм										Масса, кг
		A_1	A_2	A_3	B	H	h	h_1	d	d_1		
1	1,5	703	264	135	675	1720	1360	235	170	68	51	
2	3	1045	380	195	970	2455	1960	335	245	98	102	
3	4,5	1242	465	240	1184	2995	2400	407	300	120	148	
4	6	1428	535	275	1363	3440	2765	460	345	138	195	
5	7,5	1595	597	310	1520	3830	3075	525	385	154	244	
6	8,5	1698	635	330	1620	4080	3280	555	410	164	275	
7	10	1943	690	335	1758	4423	3555	605	445	178	323	

При установке циклона на всасывающей линии вентилятора очищенный газ (воздух) выходит из аппарата через раскручиватель с винтовой крышкой, а при установке на нагнетательной линии - через шахту с колпаком или раскручивателем в виде плоского щита.

Циклоны ВЦНИИОТ. Циклоны с обратным конусом разработаны ВЦНИИОТ (г. Москва) (рис. 2.8, табл. 2.5).

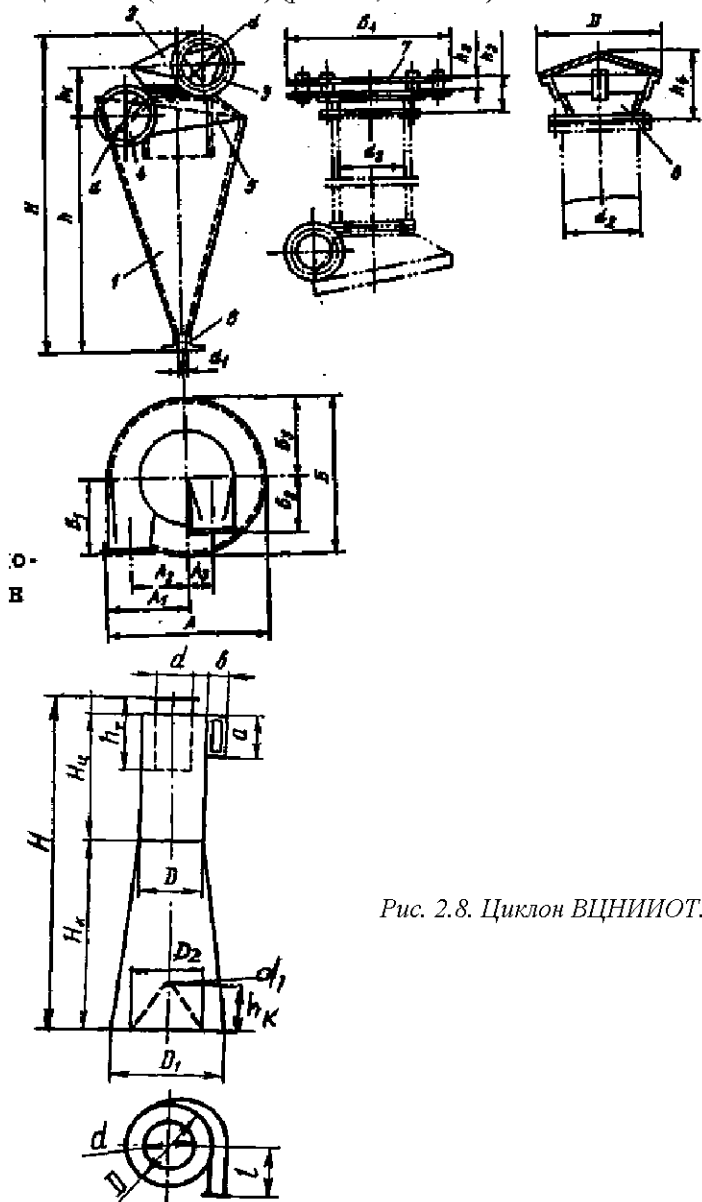


Рис. 2.7. Циклон конструкции СИОТа: 1 - корпус; 2 - раскручиватель; 3, 4 - входной и выходной патрубки; 5 - крышка корпуса; 6 - пылеотводящий патрубок; 7 - раскручиватель; 8 - колпак.

Рис. 2.8. Циклон ВЦНИИОТ.

Применяют для улавливания сухой не слипающейся, не волокнистой и абра-

живной; а также слабослипающей (сажа, тальк) пыли. Пылегазовый поток проходит в бункер через кольцевую щель между двумя соосными конусными поверхностями. Обеспыленный газ (воздух) возвращается в корпус циклона через отверстие в вершине внутреннего конуса.

Таблица 2.5. Соотношение размеров (в долях диаметра D) для циклонов типа ВЦНИИОТ

Наименование	Величина
Внутренний диаметр цилиндрической части, D	До 1000 мм
Высота цилиндрической части, $H_{ц}$	2,0
Высота конической части, $H_{к}$	3,0
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	0,5
Диаметр нижней части конуса, D_1	1,6
Диаметр внутреннего конуса, D_2	1,4
Диаметр отверстия внутреннего конуса, d_1	0,1
Высота внутреннего конуса, $h_{к}$	0,68
Высота заглибления выхлопной трубы, h	2,1
Полная высота циклона, H	5,2
Длина входного патрубка, l	0,6
Высота входного патрубка, a	1,0
Ширина входного патрубка, b	0,25

Для унификации циклонов (их в нашей стране применяется несколько десятков типов) в институте охраны труда (Санкт-Петербург) были проведены сравнительные испытания по единой методике. По результатам испытаний циклон ЦН-11, как обладающий наибольшей эффективностью и хорошо приспособленный для групповой установки, был рекомендован для преимущественного применения. Циклоны ЦН-15, СИОТ и ВЦНИИОТ несколько уступают по эффективности циклону ЦН-11, но имеют определенные преимущества в отношении габаритов: циклон СИОТ по высоте на 30 % меньше, чем ЦН-11, но больше его по диаметру на 17%; диаметр циклона ЦН-15 на 10% меньше, чем ЦН-11.

Циклоны больших размеров имеют худшие показатели по очистке, и поэтому часто для достижения необходимой пропускной способности компонуют группы циклонов меньшего диаметра. Компоновка может выполняться прямоугольной или круговой. Группы циклонов обычно имеют общие подводящие и отводящие коллекторы, объединенный пылесборник. Бункеры групп до 4 циклонов могут выполняться круглой и прямоугольной формы, выше 4 - только прямоугольной. Группы рекомендуется компоновать из четного числа циклонов.

Общее количество циклонов в группе может быть доведено до 16, однако более 8 циклонов компоновать вместе нежелательно. При большом числе циклонов практически невозможно организовать равномерное распределение газов ко всем аппаратам, что приводит к нерасчетным режимам их работы и существенному снижению степени очистки газа. Ухудшают очистку и перетоки пыли в общем бункере, из-за которых она интенсивнее, чем в одиночных циклонах, захватывается очищенным газом.

Батарейные циклоны. При необходимости обеспечения большой пропускной способности используют батарейные циклоны (мультициклоны). Они состоят из циклонных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общий бункер. Подключение циклонов параллельное от общего коллектора загрязненных газов, отвод очищенного газа также объединен. Циклонные элементы могут быть с возвратным потоком или прямоточные. Прямоточные элементы обладают всеми недостатками аналогичных одиночных циклонов и используются реже возвратно-поточных. В отечественных циклонных элементах подвод загрязненных газов производится коаксиально через завихрители типа "винт" и "розетка" (рис. 2.9, а и б) или тангенциально через укороченные улитки (рис. 2.9, в); четырехзаходный улиточный (рис. 2.9, г).

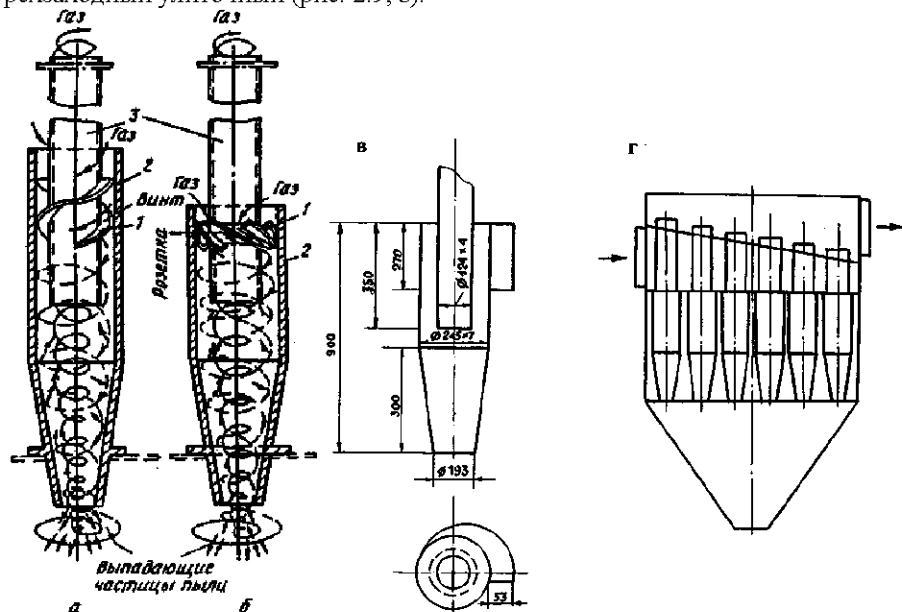


Рис. 2.9. Циклонные элементы батарейного циклона: а - с направляющим аппаратом типа «винт»; б - с направляющим аппаратом типа «розетка»; в - вход через укороченные улитки; г - четырехзаходный улиточный вход.

Розеточные завихрители по сравнению с винтовыми обеспечивают более высокую очистку газа, но в большей степени подвержены забиванию пылью. Для пылей третьей группы слипаемости направляющие типа "розетка" не рекомендуются, а пыли четвертой группы (сильнослипающиеся) вообще нежела-

тельно очищать в батарейных циклонах.

Элементы с полуулиточным подводом имеют лучшие показатели очистки за счет герметичности узла ввода газов. В то же время степень очистки газов в батарейных циклонах любых типов ниже, чем в одиночных циклонах. Недостатки, присущие групповой установке циклонов, в батарейных циклонах усугубляются большим числом объединяемых элементов. Технические характеристики некоторых типов батарейных циклонов с возвратно-поточными элементами приведены в таблице 2.6, а с прямоточными - в таблице 2.7.

Таблица 2.6. Технические характеристики батарейных циклонов с возвратно-поточными элементами.

Тип циклона	Число элементов, шт	Оптимальная скорость газов в элементе, м/с	Пропускная способность м ³ с	Коэффициент сопротивления	Тип направляющего аппарата элемента	Область применения
Ц-254Р	25; 30; 40; 50; 60; 80	4,5	5,5... 16	90	розетка	Очистка высокотемпературных газов (до 1000°С) от золы и пыли
БЦ-2	20; 25; 30; 36; 42; 46	4,5	4,2; 5,25; 6,3; 7,55; 9,2; 11,7	65	розетка	Очистка невоспламеняющихся и пожаро- взрывоопасных аэрозолей с температурой до 150°С
ПБЦ	24;36,48; 92; 116; 140	3,5	3,3; 7; 9,7; 13,9; 20,8; 27,8	120	полуулиточный	

Таблица 2.7. Технические характеристики батарейных циклонов с прямоточными элементами.

Тип циклона	Количество секций	Количество элементов водной секции		Пропускная способность м ³ с	Область применения
		по длине	по ширине		
БЦ1×8×8...БЦ1×11×16	1	8...11	8...16	8,5...27,3	Очистка от крупной
БЦ2×5×6...БЦ2×11×16	2	5...11	6,16	8...54,7	золы продуктов сгорания
БЦ 3×8×9	3	8	9	33,5	парогенераторов
БЦ4×8×9...БЦ4×11×18	4	8...11	9...18	38,7...121	производительностью
БЦУ-М	1...2	10...14	7Л4	13...240	25...320т/ч

2.3. Вихревые пылеуловители

Вихревые пылеуловители появились в промышленности в 50-х годах, но тем

не менее они успели получить значительное распространение. 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.

Применяют два вида вихревых пылеуловителей: сопловые (рис. 2.10, а) и лопаточные (рис. 2.10, б).

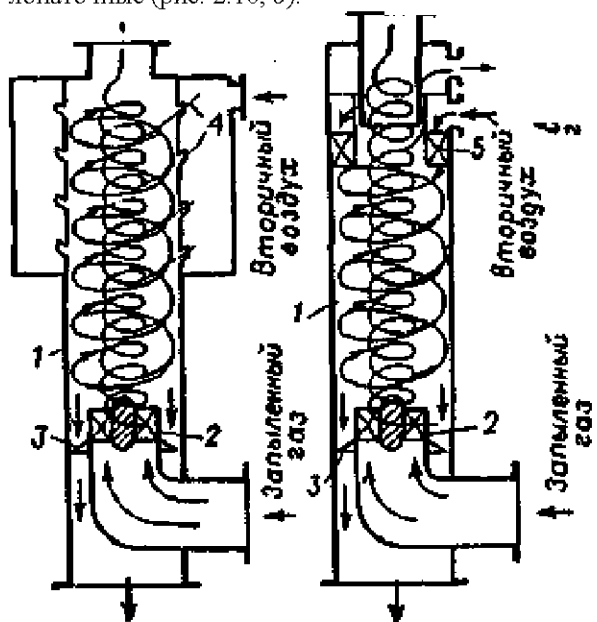


Рис. 2.10. Вихревые пылеуловители соплового (а) и лопаточного (б) типов: 1 - камера; 2 - лопаточный завихритель; 3 - подпорная шайба; 4 - сопла; 5 - кольцевой лопаточный завихритель.

В аппарате того и другого типа запыленный газ поступает в камеру через входной патрубок с завихрителем типа «розетка» и обтекателем. В кольцевом пространстве между корпусом аппарата и входным патрубком расположена подпорная шайба, которая обеспечивает безвозвратный спуск пыли в бункер.

В вихревом аппарате соплового типа (рис. 2.10, а) запыленный поток закручивается лопаточным завихрителем и движется вверх, подвергаясь при этом воздействию вытекающих из тангенциально расположенных сопел струй вторичного газового потока. Под действием центробежных сил взвешенные в потоке частицы отбрасываются к периферии, а оттуда - в возбуждаемый струями вихревой поток вторичного газа, направляющий их вниз в кольцевое межтрубное пространство. Вторичный обтекания потока очищаемого газа постепенно полностью проникает газовый поток в ходе в него. Обтекатель направляет поток газа к периферии. Пылевые частицы за счет воздействия центробежных сил перемещаются из центральной части потока к периферии.

Далее процесс в аппаратах двух видов несколько отличается. В сопловом аппарате на запыленный поток воздействуют струи вторичного воздуха (газа), выходящие из сопел, расположенных тангенциально. Поток переходит во вращательное движение.

Отброшенные под действием центробежных сил к стенкам аппарата пылевые частицы захватываются спиральным потоком вторичного воздуха (газа) и

вместе с ним движутся вниз в бункер. Здесь частицы пыли выделяются из потока, а очищенный воздух (газ) снова поступает на очистку,

Сопла для подачи вторичного воздуха нужно расположить по нисходящей спирали. Оптимальной явилась установка 8 сопел диаметром 11 мм двумя спиральными рядами под углом наклона 30° . В качестве оптимальной рекомендуется установка лопаток завихрителя под углом $30^\circ \dots 40^\circ$ при отношении диаметра завихрителя к диаметру аппарата, равном $0,8 \dots 0,9$.

Вихревой пылеуловитель лопаточного типа (рис. 2.13, б) отличается тем, что вторичный поток вводится в верхней части аппарата через завихритель. В аппарате лопаточного типа вторичный воздух, отобранный с периферии очищенного потока, подается кольцевым направляющим аппаратом с наклонными лопатками. По основным показателям аппараты лопаточного типа оказались более эффективными: при одинаковом диаметре камеры - 200 мм и производительности $330 \text{ м}^3/\text{ч}$ гидравлическое сопротивление соплового аппарата составило $3,7 \cdot 10^3$ Па, эффективность 96,5 %, а лопаточного - соответственно $2,8 \cdot 10^3$ Па и 98% (при улавливании особо мелкодисперсной пыли).

Применяют следующие способы подведения к вихревому пылеуловителю воздуха, необходимого для закручивания обеспыливаемого потока: из окружающей среды, из очищенного потока, из запыленного потока. Первый вариант целесообразен, если очистке подвергается горячий газ, который необходимо охладить. Применяя второй вариант, можно несколько повысить эффективность очистки, так как для использования в качестве вторичного воздуха отбирают периферийную часть потока очищенного воздуха с наибольшим содержанием остаточной пыли. Третий вариант наиболее экономичен: производительность установки повышается на $40 \dots 65$ % с сохранением эффективности очистки.

Производительность вихревого пылеуловителя по газам можно менять в пределах от 0,5 до 1,15 по отношению к номинальной. Это объясняется решающим влиянием на эффективность очистки параметров вторичного потока, при сохранении которых остается неизменной окружная скорость закручивания потока запыленных газов и соответственно центробежная сила, действующая на частицы пыли.

Вихревой пылеуловитель может применяться для очистки вентиляционных и технологических выбросов от мелкодисперсной пыли в химической, нефтехимической, пищевой, горнорудной и других отраслях промышленности. В вихревых пылеуловителях достигается весьма высокая для аппаратов, основанных на использовании центробежных сил, эффективность очистки – $98 \dots 99$ % и выше. На эффективность очистки оказывает незначительное влияние изменение нагрузки (в пределах от 50 до 115 %) и содержания пыли в очищаемом воздухе (газе) - от 1 до $500 \text{ г}/\text{м}^3$. Аппарат может применяться для очистки газов с температурой до 700°C . В вихревом пылеуловителе не наблюдается износа внутренних стенок аппарата, что связано с особенностями его воздушного режима. Аппарат более компактен, чем другие пылеуловители, предназначенные для сухой очистки выбросов.

Степень очистки в вихревых пылеуловителях значительно выше, чем в сухих циклонах, и может достигать значений, характерных для мокрых циклонов. Эффективность вихревых пылеуловителей при очистке воздуха (газа) от ряда

пылей и пылевидных материалов, имеющих различный медианный диаметр частиц, характеризуют следующие данные (табл. 2.8).

Таблица 2.8. Эффективность вихревых пылеуловителей

Пыль или пылевидный материал	Медианный диаметр частиц, мкм	Эффективность пылеулавливания, %
Синтетический порошок	4	98,0
Целлюлоза	6	96,5
Стиральный порошок	10	98,0
Карбонат кальция	11	99,0
Эпоксидная смола	22	98,0
Полиакрилонитрил	32	99,8

За рубежом вихревые пылеуловители изготавливаются на производительность от 330 до 30000 м³/ч очищаемого газа (воздуха). Одиночные аппараты при необходимости можно сгруппировать на требуемую производительность. Известны установки с производительностью более 300000 м³/ч. Имея высокую эффективность очистки, установки вихревых пылеуловителей успешно конкурируют с электрическими и тканевыми пылеуловителями.

Пылеуловитель выбирают, исходя из расхода запыленного газа, по которому можно рассчитать диаметр аппарата. Затем определяется критический диаметр частиц, полностью улавливаемых в пылеуловителе, и эффективность пылеуловителя.

Контрольные вопросы.

1. Назначение, устройство и принцип действия пылеосадительных камер.
2. Назначение, устройство и принцип действия циклонных осадителей.
3. Назначение, устройство и принцип действия циклонов.
4. Назначение, устройство и принцип действия вихревых пылеуловителей.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Лекция 3.

Фильтрация аэрозолей

План лекции.

Основные физические принципы фильтрации аэрозолей.

Волокнистые фильтры.

Тканевые фильтры.

Фильтровальные ткани.

Рукавные фильтры.

Зернистые фильтры.

В фильтрационных сепараторах очистка воздуха (газа) от аэрозольных загрязнений (пыли, сажи, капельной влаги) происходит при прохождении загрязненного потока через слой пористого материала. В качестве фильтрующего слоя используют ткани, кокс, гравий и др.

Фильтрация диспергационных и конденсационных аэрозолей в пористой среде обеспечивает высокую степень осаждения взвешенных частиц с любыми размерами, вплоть до близких к молекулярным. Дисперсная примесь улавливается при огибании потоком аэрозоля препятствий, образованных на его пути структурными элементами пористого слоя.

Процесс фильтрации основан на многих физических явлениях (эффект зацепления, в том числе ситовый эффект, - аэрозольные частицы задерживаются в порах и каналах, имеющих сечение меньше, чем размеры частиц; действие сил инерции - при изменении направления движения запыленного потока частицы отклоняются от этого направления и осаждаются; броуновское движение - в значительной мере определяет перемещение высокодисперсных субмикронных частиц; действие гравитационных сил, электростатических сил - аэрозольные частицы и материал фильтра могут иметь электрические заряды или быть нейтральными).

Существенными для фильтрации считаются следующие механизмы осаждения частиц на препятствиях: касание (зацепление), отсеивание (отсев, ситовый эффект), инерционный захват, гравитационное и диффузионное осаждение, электростатическое взаимодействие. Доля вклада каждого из них может изменяться от 0 до 1 в зависимости от условий, в которых происходит осаждение.

Перечисленные факторы указывают причину приближения частиц к препятствию на расстояние, при котором становится возможным их осаждение, то есть отделение от газовой фазы. Само же отделение происходит в случае удержания частиц на структурном элементе пористой среды силами межмолекулярных (вандерваальсовых, квантовых электрических) или химических связей.

Общим способом взаимодействия частиц с препятствием для всех разновидностей пористых сред является касание, т.е. когда препятствием будут уловлены (захвачены) и удержаны все частицы, которые могут его задеть (коснуться, зацепить). Поэтому частицы, проходящие от препятствия на расстоянии меньше своего радиуса, считаются осажденными за счет касания.

В процессе фильтрации практически всегда происходят отсеивание и инерционный захват частиц. Ситовый эффект определяет степень осаждения частиц, которые по размерам не проходят сквозь поры. Он приобретает одно из определяющих значений после осаждения на структурных элементах фильтра первичного слоя улавливаемых частиц (автослоя), который уменьшает размеры пор и выполняет в дальнейшем функции фильтрующей среды.

Массивные частицы вследствие инерции не могут огибать препятствие вместе с газовым потоком. Сойдя с линии тока, частицы могут столкнуться с препятствием или зацепить его. При фильтрации за счет инерционного захвата оса-

ждаются частицы размером более 1 мкм.

Гравитация, диффузия и электростатические силы оказывают влияние на осаждение частиц только в определенных условиях. Гравитационное осаждение может быть заметно, если в фильтрующей среде возможно образование застойных зон, например, в круглых порах и полостях.

Частицы размером менее 0,1 мкм могут приблизиться к препятствию, совершая хаотичные перемещения (диффундируя) под воздействием броуновского движения молекул. Доля диффузионного осаждения в улавливании более крупных частиц незначительна.

Электростатические силы проявляются при взаимодействии носителей зарядов. Частицы загрязнителей и элементы пористой среды обычно имеют небольшое число зарядов, приобретенных естественным путем (при диспергации компактных объектов, трении движущихся частиц, адсорбции газовых ионов), но сила их взаимодействия невелика. Необходимость учета электростатического взаимодействия возникает только при искусственной зарядке фильтрующего материала и частиц.

Большинство фильтров обладает высокой эффективностью очистки. Фильтры применяют как при высокой, так и при низкой температуре очищаемой среды, при различной концентрации в воздухе взвешенных частиц.

Соответствующим подбором фильтровальных материалов и режима очистки можно достичь требуемой эффективности очистки в фильтре практически во всех необходимых случаях.

Обладая многими положительными качествами, фильтрующие устройства в то же время не лишены недостатков: стоимость очистки в фильтрах выше, чем в большинстве других пылеуловителей, в частности, в циклонах. Это объясняется большей конструктивной сложностью фильтров по сравнению с другими аппаратами, большим расходом электроэнергии. Многие конструкции фильтрационных пылеуловителей более сложны в эксплуатации и требуют квалифицированного обслуживания.

По типу структурных элементов пористого слоя различают волокнистые, тканевые и зернистые фильтры. В волокнистых фильтрах осаждение взвешенных частиц происходит на слоях волокон, удерживаемых конструкциями в виде прямоугольных рам, колец и др.

3.1. Волокнистые фильтры

В волокнистых фильтрах фильтрующий слой образован относительно равномерно распределенными тонкими волокнами фильтрующих материалов. Эти фильтры предназначены для улавливания частиц мелкодисперсной и особо мелкодисперсной пыли при ее концентрации в очищаемом воздухе (газе) в пределах $0,5 \dots 5 \text{ мг/м}^3$.

Волокнистые фильтры могут быть подразделены на тонковолокнистые, глупобкие и грубоволокнистые фильтры.

Тонковолокнистые фильтры имеют диаметры волокон менее 5 мкм и используются для улавливания высокодисперсной пыли и других аэрозольных частиц размером $0,05 \dots 0,1 \text{ мкм}$ с эффективностью по субмикронным частицам не менее 99 %. В качестве фильтровального материала используется ФП (фильтр

Петрянова).

Фильтры с материалом ФП часто используются для улавливания опасных (высокотоксичных, радиоактивных, бактериологически зараженных и др.) аэрозолей с последующим уничтожением или захоронением.

Удельный расход обрабатываемых газов на один квадратный метр поверхности фильтра имеет размерность скорости. Эта величина является характеристикой удельной нагрузки, а не скорости.

Удельная нагрузка W_{sf}^* на фильтры подобного типа находится в пределах $0,01 \dots 0,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{с})$, сопротивление чистых фильтров - в пределах 200...300 Па, отработавших - 700...1500 Па. Фильтры предназначены для длительной работы (от нескольких месяцев до нескольких лет) при невысоком содержании дисперсной примеси (до $0,5 \text{ мг/м}^3$) с последующей заменой, поскольку регенерация отработанных фильтров невозможна.

Характеристики фильтров тонкой очистки, используемых для обработки технологических газов, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Характеристики фильтров тонкой очистки

Марка фильтра	Фильтрующая поверхность, м^2	Максимальная производительность, $\text{м}^3/\text{с}$	Фильтрующий материал	Размеры фильтра, мм	Предел температур, $t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$
ФБ-0,5	0,5	0,02	ФПП-25	235x235x256	60
ФБ-2	2	0,06	ФПП-25	330x300x390	60
ФБ-10	10	0,285		510x510x552	60

Для тонкой очистки газовых выбросов, когда температура очищаемой среды выше 60°C и в ней находятся вещества, разрушающие материалы ФП (при наличии в обрабатываемых газах веществ, агрессивных по отношению к перхлорвинилу, ацетилцеллюлозе, полиакрилонитрилу) применяют фильтры ПФТС, снаряженные стекловолокном (рис. 3.1). Производительность фильтров $200 \dots 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$, сопротивление $200 \dots 1000 \text{ Па}$.

Основного недостатка тонковолокнистых фильтров (короткий срок службы фильтрующего слоя из-за неприменимости регенерации) лишены *глубокие фильтры* (фильтры долговременного пользования). Первый слой фильтра на пути движения очищаемой среды состоит из грубых волокон, последний слой - из тонких. Диаметр грубых волокон $8 \dots 19 \text{ мкм}$. Фильтры имеют высоту фильтрующего слоя от $0,3$ до 2 м и рассчитаны на работу при давлении до $0,3 \text{ МПа}$. Фильтр применяется в системах стерилизации воздуха в производстве антибиотиков, витаминов и других био- и медицинских препаратов. Они могут применяться и для тонкой очистки некоторых видов технологических газовых выбросов. Фильтр периодически стерилизуют острым паром, затем просушивают сухим воздухом. Они рассчитаны на срок службы $10 \dots 20 \text{ лет}$.

Грубоволокнистые фильтры. Эти фильтры называют также предфильтрами, так как их устанавливают перед тонковолокнистыми фильтрами для предварительной очистки воздуха (газов). Благодаря этому снижается стоимость очистки,

поскольку стоимость грубоволокнистых фильтров почти в 10 раз ниже тонковолокнистых, их легче заменять или регенерировать. Фильтровальный материал предфильтра состоит из смеси волокон диаметром от 1 до 20 мкм. Фильтр марки ФГ показан на рис. 3.2. Грубоволокнистые фильтры отличаются низким начальным сопротивлением (порядка 100 Па) и высокой пылеемкостью. При удельной нагрузке $0,05 \dots 1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ фильтры должны полностью улавливать частицы крупнее 1 мкм.

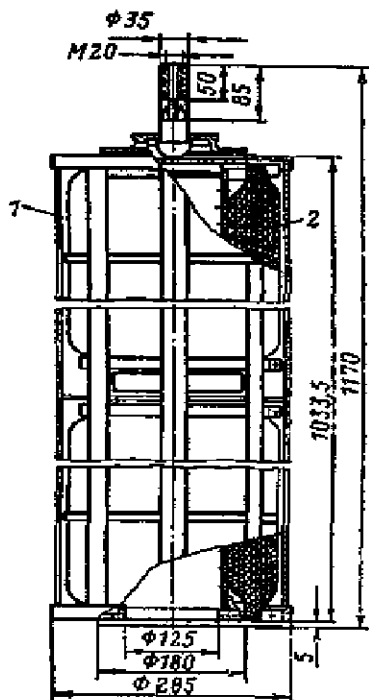


Рис. 3.1. Фильтр ФГТС-500: 1 – каркас; 2 – фильтрующий пакет.

3.2. Тканевые фильтры

Широко распространены тканевые фильтры. Рукавные тканевые фильтры применяются для очистки больших объемов воздуха (газов) со значительной концентрацией пыли. Фильтрующими элементами в этих аппаратах являются рукава из специальной фильтровальной ткани.

Рукавные фильтры обеспечивают тонкую очистку воздуха от пылевых частиц, имеющих размер менее 1 мкм. Наряду с циклонами рукавные фильтры являются одним из основных видов пылеулавливающего оборудования и широко применяются на предприятиях черной и цветной металлургии, химической промышленности, промышленности строительных материалов, пищевой промышленности, в энергетических установках и др.

Известны всасывающие и нагнетательные рукавные фильтры.

Всасывающие фильтры устанавливаются до вентилятора, т.е. на его всасывающей линии. Нагнетательные рукавные фильтры устанавливаются на нагнетательной линии. Воздух, очищенный в рукавах нагнетательных фильтров, посту-

пает непосредственно в помещение, где установлены фильтры. Недостатком нагнетательных фильтров, из-за которого не может быть рекомендовано их применение, является поступление воздуха после фильтров в помещение. При наличии неплотностей в рукавах происходит выбивание пыли в помещение. Запыленный воздух проходит через вентилятор, что вызывает более быстрый износ вентилятора, а при перемещении воздуха, содержащего пожаро- и взрывоопасную пыль, это недопустимо.

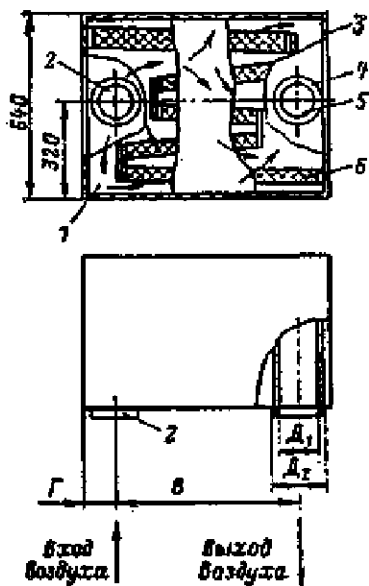


Рис. 3.2. Фильтр грубой очистки ФГ: 1 - форкамера; 2 - входное отверстие; 3 - корпус; 4 - выходное отверстие; 5 - уплотнительное кольцо; 6 - фильтрующий элемент.

Недостатком всасывающих фильтров является наличие значительных подсосов воздуха.

В эксплуатации находятся многие конструкции рукавных фильтров, отличающиеся формой корпуса, диаметром и длиной рукавов, видом применяемой фильтровальной ткани, способом регенерации и др.

В настоящее время выпускается и эксплуатируется множество разнообразных конструкций тканевых фильтров. По форме фильтровальных элементов и тканей они могут быть рукавные и плоские (полотняные), по виду опорных устройств - каркасные, рамные и т.д., по наличию корпуса и его форме - цилиндрические, прямоугольные, открытые (бескамерные), по числу секций - одно- и многосекционные. Фильтры могут также различаться по способу регенерации и ряду других признаков.

3.2.1. Фильтровальные ткани

В тканевых фильтрах применяются тканые или валяные материалы, выполняющие роль подложки для фильтрующей среды, которой является первичный слой уловленной пыли. Ткани для фильтров изготавливают из натуральных, или синтетических волокон диаметром 10... 30 мкм, скручиваемых в нити диаметром около 0,5 мм. Размеры пор между нитями обычно составляют 100... 200 мкм.

Эффективность очистки воздуха (газов) в рукавных пылеуловителях в основном зависит от свойств фильтровальной ткани, из которой изготовлены рукава аппарата, а также от того, в какой мере эти свойства соответствуют свойствам очищаемой среды и взвешенных в ней частиц.

При прохождении запыленного воздуха (газа) через ткань пылевые частицы задерживаются между нитями и ворсом. Сетка образуется нитями основы и утка и дополнительно переплетается ворсинками. Наличие ворса повышает эффективность фильтрации.

Ворс должен быть обращен навстречу запыленному потоку. При движении запыленного потока воздух прижимает ворсинки к ткани. При обратной продувке происходит выпучивание ворсинок, и накопившиеся пылевые частицы удаляются (рис. 3.3). Если же ворс будет направлен в противоположную сторону, то количество задержанной пыли уменьшается, поскольку происходит выпучивание ворсинок. Затрудняется и регенерация, так как ворсинки прижимаются к нитям и препятствуют отделению пыли от ткани.

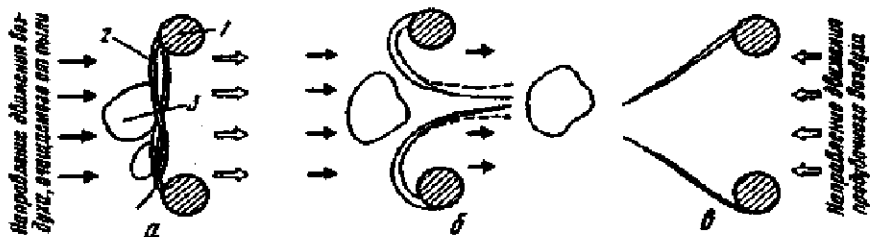


Рис. 3.3. Положение ворса фильтрованной ткани при различных режимах работы: а - рабочее положение ворса; 1 - нить ткани; 2 - нить ворса; 3 - частицы пыли; б - пылевой пробой ткани; в - обратная продувка.

Чистая ткань не обеспечивает необходимую эффективность очистки. После регенерации на ткани остается некоторый слой пыли. После нескольких циклов (запыление - регенерация и т. д.) ткань приобретает рабочее состояние.

В ней создается остаточный слой пыли, который вместе с тканью образует фильтрующий слой. В процессе фильтрации этот слой увеличивается. После очередной регенерации он уменьшается до остаточной величины. Обычно после нескольких циклов запыления и регенерации сопротивление ткани стабилизируется. Однако в некоторых случаях сопротивление ткани непрерывно растет. Это происходит при застревании в волокнах ткани пылевых частиц, а также при конденсации влаги на поверхности, замасливание ткани и т. д., в результате чего уменьшается сечение пор.

Фильтровальные ткани должны обладать рядом положительных свойств: обеспечивать эффективную очистку, допускать достаточную воздушную нагрузку, обладать необходимой пылеемкостью, способностью к регенерации, высокой долговечностью, стойкостью к истиранию и другим механическим воздействиям, низкой гигроскопичностью, невысокой стоимостью. К ткани могут быть предъявлены дополнительные требования, обусловленные свойствами очищаемой среды: стойкость к определенным химическим веществам и высокой температуре.

Наибольшее распространение получили фильтры с гибкими фильтрующими перегородками.

В фильтровальных тканях применяются следующие виды волокон: естественные волокна животного и растительного происхождения (шерстяные, льняные, хлопчатобумажные, шелковые); искусственные органические (лавсан, нитрон, капрон, хлорин и др.); естественные минеральные (асбест); искусственные неорганические (стеклоткань, металлоткань). Данные о свойствах волокон приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Основные свойства текстильных волокон, применяемых для фильтровальных тканей

Исходный полимер или сырье	Название волокна	Плотность кг/м ³	Термостойкость, °С		Химическая стойкость в различных средах		Стойкость в средах		Горючесть	Прочность на разрыв, МПа	Разрывное удлинение, %	Стойкость к истиранию	Влагоемкость, %, при 20°С	
			при длительном воздействии	при кратковременном воздействии	кислоты	щелочи	Окисляющие агенты	Растворители					при □ = 65 %	при □ = 90 ÷ 95 %
Целлюлоза	Хлопок	1520	65-85	90-95	ОП	Х	У	ОХ	Да	360-530	7-8	У	7-8,5	24-27
Протеины	Шерсть	1320	95-100	120	У	ОП	У	Х	Да	130-200	30-40	У	13-15	21,9
Полиамид	Капрон	1140	80-90	120	ОП	ОХ	У	Х	Да	450-600	18-32	ОХ	3,5-4,5	7-8,5
	Номекс	1380	220	260	У	ОХ	Х	Х	Нет	400-800	14-17	ОХ	-	-
Полиэфир	Лавсан	1380	130	160	Х	У-П	Х	Х	Да	450-700	15-25	ОХ	0,4	0,5
Полиакрилонитрил	Нитрон	1170	120	150	Х-У	У	Х		Да	300-470	15-17	У	0,9-2	4,5-5
Полиолефин	Полипропилен	920	85-95	120	ОХ	ОХ	Х	Х	Да	440-860	22-25	ОХ	0	0
Поливинилхлорид	Хлорин, ацетохлорин, ПВХ	1380-1470	65-70	80-90	ОХ	ОХ	ОХ	У-Х	Нет	180-230	15-30	ОП-П	0,17-0,3	0,7-0,9
Политетрафторэтилен	Фторопласт, полифен	2300	220	270	ОХ	ОХ	ОХ	ОХ	Нет	350-400	50	У-П	0	0
Полюкси-	Оксалон	-	250	270	Х	-	-	-	-	-	-	Х	-	-

диазол															
Алюмоборосиликатное стекло	Стекло-лянное волокно	2540	240	315	X	У – П	ОХ	ОХ	He r	1600-3000	3-4	ОП	0,3	-	

Условные обозначения: ОХ – очень хорошая; X – хорошая; У – удовлетворительная; П – плохая; ОП – очень плохая.

В основе выбора материала фильтрующей перегородки лежат следующие показатели: термостойкость, химическая стойкость, воздухопроницаемость, разрывная нагрузка, изгибоустойчивость, а также возможная степень очистки.

Хлопковое волокно на 94...95 % состоит из целлюлозы, оно гигроскопично. При относительной влажности воздуха 65 % это волокно поглощает до 8 % влаги, при влажности 93...94 % - 25 % влаги. При нагревании до 120...130°C заметных последствий не наблюдается, при более высокой температуре происходит разрушение волокна. Слабые растворы едкой щелочи (0,5...5%-ные) не оказывают существенного влияния на хлопковое волокно, при более сильных растворах происходит его разрушение. Многие кислоты действуют на хлопковое волокно разрушающе. Так, 1,5%-ная соляная кислота при температуре 90...100°C разрушает волокно в течение 1 ч. Так же действуют азотная и серная кислоты.

В *шерстяных волокнах* содержится 90 % каротина. При нагревании свыше 170°C они разрушаются. В отличие от хлопкового волокна шерстяные волокна менее стойки к кислотам и более стойки к щелочам. Шерстяное волокно при влажности воздуха 65 % интенсивно поглощает до 15,5 % влаги, при влажности 100 % - 34 % влаги. На шерстяную ткань разрушающе действует вода температурой свыше 70°C и серная, соляная, азотная кислоты концентрацией раствора более 5...7 %. При воздействии воздуха температурой 80°C шерсть становится жесткой и ломкой. Механическая прочность шерстяного волокна ниже, чем хлопкового, однако шерстяные волокна более пригодны для изготовления фильтровальных тканей благодаря большей упругости.

Значительными преимуществами обладают фильтровальные ткани из *нитрона* и *лавсана*. Нитроновое волокно характеризуется прочностью, эластичностью, малой гигроскопичностью. При влажности воздуха 65 % оно поглощает из воздуха лишь 1 % влаги. Нитрон неограниченно долго без заметных последствий выдерживает температуру 120...130°C и ограниченное время 180°C. По сравнению с хлопком нитрон в несколько раз устойчивее к кислотам, органическим растворителям. Он устойчив также к действию микроорганизмов, моли. Ткань из нитрона не подвергается усадке.

Лавсановое волокно обладает прочностью, устойчивостью к истиранию и температуре примерно такими же, как нитроновое волокно, однако более устойчиво к химическим реагентам. Лавсановое волокно обладает малой гигроскопичностью, устойчиво к действию микроорганизмов.

Основное достоинство *волокон асбеста*: обладают высокой термостойкостью, не загнивают, стойки по отношению к растворам щелочей и кислот. Прочность невелика.

Стеклоянное волокно обладает высокой термостойкостью, химической стой-

костью, выдерживает значительные разрывные нагрузки. Стеклоткани стойки при температуре до 150...300°C. Фильтровальные стеклоткани обычно изготавливают из волокон диаметром 6...8 мкм. Стеклоткани аппретируют - покрывают кремнийорганическим соединением - силиконом и графитируют. Благодаря этому срок службы стеклоткани увеличивается.

Фильтровальные материалы могут быть ткаными и неткаными, а в зависимости от состояния поверхности - ворсованными и гладкими.

При изготовлении нетканых материалов из синтетических волокон сцепление этих волокон усиливают, пробивая слой волокон специальными иглами и получая, таким образом, иглопробивные материалы. Для этих же целей используют склеивающие добавки и др.

Сопротивление незапыленных фильтровальных тканей при нагрузках по газу (воздуху) 0,3...2 м³/(м²·мин) обычно находится в пределах 5...40 Па.

Срок службы фильтровальных тканей в зависимости от условий эксплуатации (вид пыли, ее концентрация, температура, уровень эксплуатации и др.) может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет.

Удельную воздушную нагрузку ткани (скорость фильтрации), м³/(м²·ч) принимают в зависимости от концентрации пыли в очищаемом воздухе (газе), вида ткани (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Рекомендуемые нагрузки на фильтровальные ткани, м³/(м²·ч)

Ткань	Начальная запыленность воздуха (в г/м ³), до							
	крупнодисперсная пыль 2-й и 3-й групп				мелкодисперсная и очень мелкодисперсная пыль 4-й и 5-й групп			
	1	5	10	20	1	5	10	20
Фильтр-сукно № 2	1	2	3	4	5	6	7	8
Сукно ЧШ, ткань ЦМ, нитрон, лавсан, хлопчатобумажная	120-150	80-100	60-70	40-50	70-90	50-70	40-50	30-40
Стеклоткань аппретированная	60-90	50-60	40-50	30-50	50-60	40-50	30-50	30-40

Многие ткани изготавливают в виде полотен (кусков), из которых шьют рукава. Диаметр рукавов обычно в пределах 90...450 мм. Длина 2,5...10м. Отношение длины рукава к его диаметру 15...20.

Величины воздухопроницаемости характеризуют аэродинамические свойства тканей в незапыленном состоянии. По мере запыления сопротивление ткани начинает расти. Если не принимать никаких мер, оно может увеличиваться до величины напора, развиваемого вентилятором. Дальнейшее накопление пыли приведет к уменьшению подачи вентилятора. Часть пыли при повышенных пе-

репадах давления может проникнуть в поры между нитями и "забить" ткань, сделав ее непригодной для фильтрования. Во избежание этого явления фильтры через определенное время эксплуатации подвергают регенерации. Процесс регенерации является неотъемлемой частью технологии фильтрации и разрабатывается в проекте наряду с другими параметрами фильтрации.

3.2.2. Рукавные фильтры

Конструктивно гибкая фильтрующая перегородка выполняется в виде рукава, поэтому и фильтры с гибкими фильтрующими перегородками получили название «рукавные».

В нормально работающих рукавных фильтрах концентрация пыли на выходе из аппарата обычно не превышает 20 мг/м^3 . При использовании высокоэффективных фильтровальных материалов и улавливании волокнистых пылей концентрация на выходе может снижаться до 1 мг/м^3 и менее.

Общий вид рукавного фильтра показан на рис. 3.4.

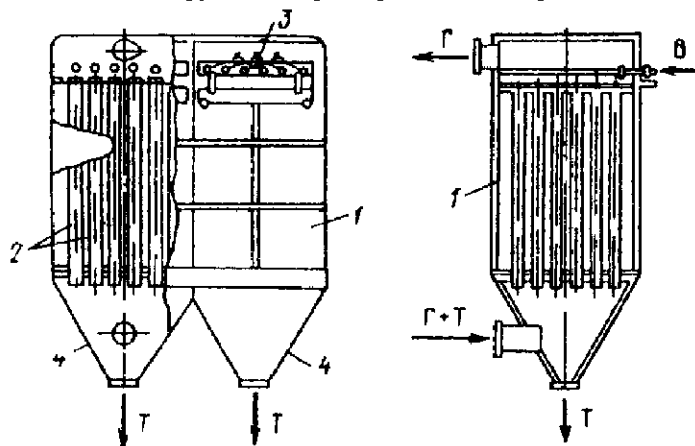


Рис. 3.4. Рукавный фильтр: 1 – корпус; 2 – фильтрующие рукава; 3 – коллектор сжатого воздуха; 4 – сборник пыли.

Регенерация фильтровальной ткани рукавов производится путем механического или аэродинамического воздействия на фильтровальную ткань с целью разрушения и удаления слоя осевшей пыли.

При выборе способа регенерации имеют значение вид ткани, конструкция аппарата, характеристики пыли и технологического процесса, другие факторы.

Механическое встряхивание может выполняться несколькими способами. Нестойкие на изгиб ткани (например, из стекловолокна) регенерируют быстрым покачиванием из стороны в сторону без изменения натяжения. Фильтры из более эластичных и нетолстых тканей можно отряхивать, придавая материалу волнообразные колебания. Широко используемые для обработки газовых выбросов рукавные фильтры (аппараты с вертикальными фильтрующими элементами в виде тканевых рукавов) встряхивают волнообразным изменением натяжения ткани, поднимая и опуская вверх рукава. Большинство встряхивающих устройств снабжается электроприводом. Иногда встряхивание комбинируют с продувкой тканей.

В ряде рукавных фильтров регенерация фильтровальной ткани осуществля-

ется путем обратной струйной и импульсной продувки рукавов.

Обратной продувкой регенерируют ткани при улавливании легкосбрасываемых пылей. Для этого изменяют направление дутья, подавая на регенерацию свежий или очищенный воздух. Последний вариант предпочтительней, так как не увеличивается количество воздуха в системе. Для выполнения обратной продувки фильтр может отключаться посекционно или полностью. Расход воздуха на обратную продувку принимают до 10% от количества очищаемого газа.

При отложениях пыли на внутренней поверхности рукавов осуществляют струйную продувку, подавая воздух из щели кольцевой трубки-каретки, одеваемой на рукав и медленно движущейся вдоль него (рис. 3.5). В полость кольца подается воздух от высоконапорного вентилятора или воздуходувки по гибкому шлангу. Воздух истекает из кольца через щель. Слой осевшей пыли разрушается в результате воздействия на него перемещающегося кольца и выдувания пыли струей воздуха, вытекающей из кольца со скоростью 10... 30 м/с. Пыль падает в бункер.

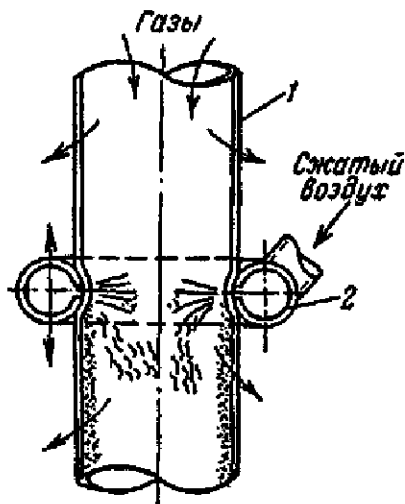


Рис. 3.5. Схема обратной струйной продувки рукавного фильтра: 1 - рукав; 2 - кольцо со щелью и патрубком для подвода сжатого воздуха.

Это наиболее мощный способ регенерации, позволяющий выдуть даже частицы пыли, застрявшие в пространстве между нитками. Поэтому фильтры, оборудованные каретками струйной продувки, могут работать с повышенными нагрузками и перепадами давления. Недостатки струйной продувки заключаются в сложности устройства перемещения каретки и истирании ею толстых фильтрующих материалов-войлоков, фетров, для которых в основном струйная продувка и используется.

Другая разновидность выдувания пыли - импульсная регенерация - используется в рукавных фильтрах при схеме подачи загрязненного воздуха снаружи внутрь рукава и отложениях пыли на его внешней поверхности (рис. 3.6). При импульсной продувке струя сжатого воздуха, исходящая из сопла распределительной трубы, подсасывает очищенный газ (воздух) и поступает в рукав. Под воздействием избыточного давления рукав раздувается, происходит разрушение слоя осевшей пыли и ее выпадение в бункер.

Кроме эффекта продувки пульсирующий поток оказывает и механическое встряхивающее действие. Импульсную регенерацию выполняют без отключения секций. Чтобы не происходило слишком интенсивной регенерации с удалением остаточного равновесного количества пыли (что приведет к большой величине проскока в начальный период работы фильтра после регенерации), варьируют давление сжатого воздуха, продолжительность и частоту импульсов. Продолжительность импульса 0,1...0,2 с, частота - 10 импульсов в минуту, давление сжатого воздуха 500...600 кПа. Расход сжатого воздуха составляет 0,1...0,2 % от количества очищенного газа (воздуха).

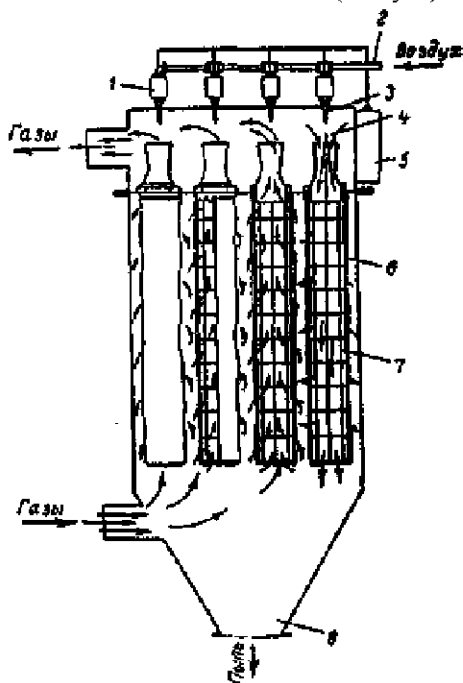


Рис. 3.6. Каркасный рукавный фильтр с импульсной продувкой: 1 - соленоидный клапан; 2 - труба для ввода сжатого воздуха; 3 - сопло; 4 - струя сжатого воздуха; 5 - прибор автоматического управления регенерацией; 6 - рукав; 7 - каркас; 8 - бункер.

Типичным рукавным фильтром с механической регенерацией и обратной продувкой является Г4-БФМ (ФВ). Изготавливаются четыре типоразмера фильтра ФВ: ФВ-30, ФВ-45, ФВ-60, ФВ-90. Фильтрующая поверхность соответственно 30, 45, 60, 90 м².

Технические данные фильтра Г4-БФМ приведены в табл. 3.4. Фильтр изображен на рис. 3.7.

Таблица 3.4 Характеристика фильтров ФВ (Г4-БФМ)

Показатели	ФВ-30	ФВ-45	ФВ-60	ФВ-90
Поверхность фильтровальной ткани, м ²	30	45	60	90
Число секций	2	3	4	6

Число рукавов	36	54	72	108
Материал рукавов	Сукно фильтровальное № 2, нитрон, лавсан НФМ			
Размеры рукавов, мм: диаметр длина	135 2090			
Сопrotивление фильтра, Па, не более	450			
Период между встряхиванием сек- ции, мин	3-4			
Мощность электродвигателя, кВт	0,6			1,1
Частота вращения, об/мин	1350			1400
Масса, кг	900	1210	1460	2000

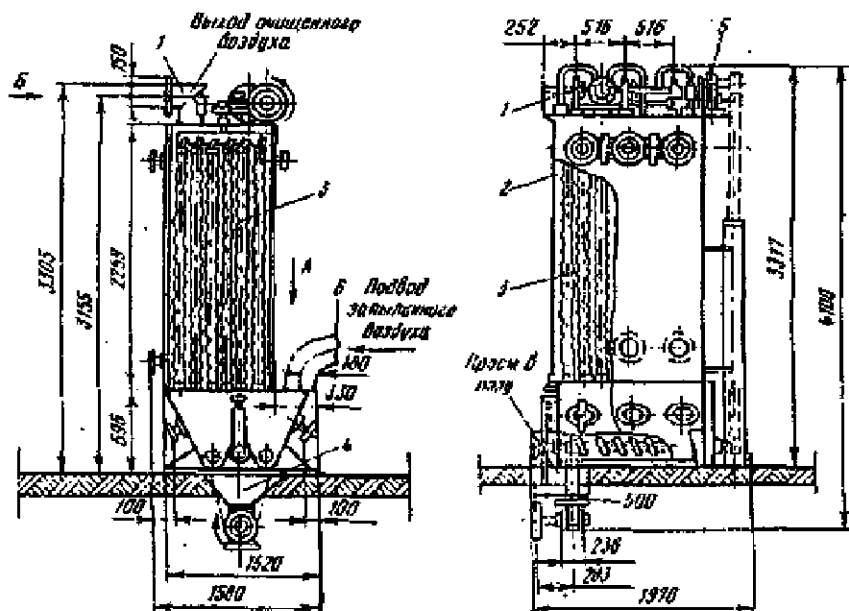


Рис. 3.7. Рукавный фильтр всасывающий типа ФВ (Г4-1БФМ): 1 - клапанные коробки для выхода воздуха; 2 - шкаф металлический; 3 - рукава; 4 - сборник пыли; 5 - электродвигатель; 6 - входной патрубок.

В фильтре предусмотрена регенерация рукавов через 3,5 мин продолжительностью 30 с. Регенерация осуществляется встряхиванием и обратной продувкой и производится посекционно.

Во время регенерации с помощью рычажно-кулачкового механизма закры-

вается клапан, установленный на выходе очищенного воздуха, и открывается клапан на входе продувочного воздуха снаружи. Наружный воздух поступает в регенерируемую секцию и проходит ткань в направлении, обратном рабочему. При этом слой пыли, осевший на внутренней поверхности ткани, опадает. Одновременно с помощью рычажно-кулачкового механизма происходит встряхивание рукавов. В результате продувки и встряхивания пыль, осевшая на рукавах, падает в бункер, из которого удаляется шнеком.

Затем регенерируемая секция включается в работу и начинается регенерация следующей секции и т.д.

В настоящее время выпускается и эксплуатируется множество разнообразных конструкций тканевых фильтров. По форме фильтровальных элементов и тканей они могут быть рукавные и плоские (полотняные), по виду опорных устройств - каркасные, рамные и т.д., по наличию корпуса и его форме - цилиндрические, прямоугольные, открытые (бескамерные), по числу секций одно- и многосекционные. Фильтры могут также различаться по способу регенерации и ряду других признаков. Однозначных или научно обоснованных критериев выбора типа фильтра среди этого многообразия конструкций нет. Рекомендуется, по возможности, использовать фильтры, разработанные для соответствующих отраслей промышленности.

Краткие сведения о характеристиках отечественных конструкций рукавных фильтров, приведенные далее в тексте и табл. 3.5, могут оказать определенную помощь в ориентации среди множества типов аппаратов и быть полезными в качестве первоначальной информации.

Таблица 3.5. Технические характеристики рукавных фильтров

Марка фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Количество секций, шт.	Количество рукавов в секции, шт.	Диаметр рукава, мм	Высота рукава, м	Пропускная способность, м ³ /с/сопротивление, Па
ФР-6П	18	1	6	390	2,5	1/500...1000
ФТ-2М	20	1	12	300	1,8	2,5/600
ФТНС-4М	12,4	1	4	386	2,6	-/490
ФТНС-8М	24,8	2	4	386	2,0	-/490
ФТНС-12М	37,2	3	4	386	2,6	-/490
ЦА-3804	4140	3	-	-	-	5,6/-
ФРУ	2,5...50	1...4	14;28;42;56	125	0,9;1;2;2,5	/1500
ФРВ-20	20	2	32	130	1,63	-
ФРН-30	30	2	48	130	1,63	-
ФР-250	281	4	288	135	2,3	-/1000...2000
СМЦ-101А	50;55;110; 115;205	2	36	200	2,2;2,45; 4,9;5,1;9,1	-/1900
РФГ	112;168;	4;6;8;10	56;84;112;	220	3,1	-

	224;280		140			
УРФМ	1610;2300	14;20	588;840	220	4,063	-/700...1500
Г4-1БФМ	30;45;60;90	2;3;4;6	36;54;72;108	135	2,09	-/1300
Г4-2БФМ	60;90	4;6	72;108	135	2,09	-/1300
ФР-518 (650)	518 (650)	6	72 (90)	127	3	2,5...3,33/ 1600
ФР-5000	5000	8	504	127	3,09	-/1500...2000
ФРДО-6500	6500	10	212	130	7,85	-
ФРО-2400-1	2400	8	42	200	8	> 14/2000
ФРО-6000-2	6000	10	54	300	10	> 14/2000
ФРО-20300-3	20300	10	216	300	10	> 14/2000
РФОСП	1,9...136	-	2...24	-	1...6	0,17...11,4/ 2000
РФСП-П	370	4	22	300	4,8	-
РФСП-1580	1580	20	24	-	-	до 130/-
ФРКИ-30	30	1	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-30	30	1	36	135	2	-/2000
ФРКИ-60	60	2	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-60	60	2	36	135	2	-/2000
ФРКИ-90	90	3	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-90	90	3	36	135	2	-/2000
ФРКИ-180	180	4	36	135	3	-/2000
ФРКИ-360	360	8	36	135	3	-/2000
ФРКДИ-550	550	6	36	135	6	-/2800
ФРКДИ	720	8	36	135	6	-/2800
ФРКДИ-1100	1100	12	36	135	6	-/2800

Фильтры ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М предназначены для очистки аспирационного воздуха от волокнистой пыли текстильных и других предприятий легкой промышленности. Регенерация рукавов производится посредством встряхивания ручным или механизированным способами. Удельные нагрузки для фильтров ФР-6П, ФТ-2М и ФТНС-М составляют 0,056, 0,1 и 0,057 м³/(м²с) соответственно.

В химической и нефтехимической технологии наибольшее распространение получили рукавные фильтры следующих типов: ФРКИ, ФРКДИ, ФРО, ФРУ, ФР, ГЧ-БФМ, ФРОС. Каждый из типов имеет, как правило, несколько типоразмеров. Из указанной серии можно подобрать фильтр с поверхностью фильтрования от нескольких квадратных метров до нескольких тысяч квадратных метров, способных работать при температурах от нескольких десятков градусов до 500°С.

Фильтры ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М предназначены для очистки аспирационного воздуха от волокнистой пыли текстильных и других предприятий легкой

промышленности. Регенерация рукавов производится посредством встряхивания ручным или механизированным способами. Удельные газовые нагрузки для фильтров ФР-6П, ФТ-2М и ФТНС-М составляют 0,056, 0,1 и 0,057 м³/(м²с) соответственно.

Фильтр ЦА-3804 предназначен для улавливания асбестовой пыли. Регенерация рукавов производится механическим встряхиванием.

Фильтры ФРУ разработаны для систем аспирации взрывоопасных химических производств, ФРВ-20 и ФРН-30 - для различных технологических процессов химических производств, ФР-250 - для аспирационных систем сажевых производств и предприятий по производству минеральных удобрений, СМЦ - для технологических процессов предприятий стройматериалов; РФГ и УРФМ - для предприятий цветной металлургии; Г4-БФМ (ранее -ФВ) - для предприятий пищевой промышленности. Регенерация производится механическим встряхиванием и одновременной обратной посекционной продувкой. Привод систем встряхивания электромеханический, за исключением фильтров УРФМ с пневмоприводом. Удельные газовые нагрузки для фильтров ФРУ составляют: 0,02 м³/(м²с), УРФМ – (0,012...0,02) м³/(м²с), Г4 – БФМ – (0,025... 0,033) м³/(м²с).

Фильтры ФР-518, ФР-650, ФР-5000, ФРДО-6500 со стеклотканями используются для очистки взрывоопасных газовых смесей с температурой до 240°С от сажи. Их регенерацию осуществляют обратной посекционной продувкой. Удельная нагрузка для фильтров ФР-518 и ФР-650 составляет (0,004... 0,005) м³/(м²с), для фильтра ФР-5000 – (0,005... 0,006) м³/(м²с).

Фильтры ФРО имеют пропускную способность более 14 м³/с и 3 типоразмера. Фильтры снаряжаются лавсановыми или стеклотканями и предназначены для улавливания пылей и возгонов из газовых выбросов металлургических и машиностроительных предприятий при температурах до 230°С. Регенерация осуществляется обратной продувкой. Удельная нагрузка для лавсановой ткани (0,008... 0,015) м³/(м²с), для стеклоткани (0,005... 0,008) м³/(м²с).

Фильтры типа РФОСП, РФСП-И, РФСП-1580 разработаны для улавливания возгонов свинца и других тяжелых металлов на предприятиях цветной металлургии при концентрации загрязнителей на входе порядка (500... 1000) мг/м³. Конечные концентрации находятся в пределах нескольких мг/м³. Фильтры снаряжаются двухслойным лавсаном, оборудованы системой струйной продувки и работают с удельными нагрузками до 0,08 м³/(м²с) для тонких и 0,15 м³/(м²с) для грубых пылей.

Фильтры общего назначения типа ФРКИ разработаны НИИОГаз. Регенерация фильтровальной ткани производится без отключения секций фильтра импульсной верхней подачей внутрь рукавов сжатого воздуха с давлением 0,3 или 0,6 МПа. Фильтрующий материал - лавсан или войлоки из синтетических волокон. Удельная газовая нагрузка для фильтров ФРКИ составляет 0,03 м³/(м²с). Фильтры ФРКН-В и ФРКН-Н-В, предназначенные для улавливания электризующихся пылей, имеют такие же характеристики, как и фильтры ФРКИ соответствующих типоразмеров. Фильтры ФРКДИ отличаются от фильтров ФРКИ большей длиной рукавов. Поэтому в них предусмотрена двухсторонняя импульсная продувка с установкой дополнительных сопел для подачи сжатого воздуха в нижней части каждого рукава. Удельная газовая нагрузка для фильтров

ФРДКИ составляет $0,027 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{с})$.

Ориентировочные значения коэффициентов очистки некоторых видов выбросов в рукавных фильтрах приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Эффективность очистки пыли в рукавных фильтрах

Процесс производства или оборудование, выделяющее дисперсные загрязнители	Содержание частиц менее 5 мкм, мг/м ³	Конечная концентрация, %	Степень очистки %	Способ регенерации*	Удельная нагрузка, м ³ /(\text{м}^2\text{с})
Переработка алюминиевой руды	-	3	-	В	0,041
Медная руда:					
погрузка	30	13	98,15	-	-
разгрузка	67	18	86,47	В	0,015
измельчение	2	6	99,75	В	0,015
Переработка железной руды: разгрузка вагонеток вторичное и третичное дробление	--	3 3	--	--	--
транспорт тонкоизмельченной руды	-	4	99,69	-	-
Производство известняка:					
первичное измельчение	-	6	-	И	0,028
сита первичного измельчения	-	6	-	И	0,035
транспортировка	-	2	-	И	0,035
обдирка и молотковая мельница	-	2	99,84	В	0,012
вторичное измельчение	-	4	-	В	0,011
сита вторичного измельчения	-	1	-	И	0,026
калибровочное сито	-	2	-	В	0,010
Переработка золотой руды, регенерация на складах	12...21	7	95,88	И	0,046
Дробление полевого шпата	-	5	99,92	О	0,015
Стеклоплавильные печи:					
сода, известняк	-	11	72	О	0,003
сода, свинец, боросиликат	-	9	94,80	В/О	0,003
Производство стекловолокна:					
боросиликатного	-	15	-	В/О	0,004
содоизвестковоборосиликатного	-	59	-	В/О	0,003
Приготовление опок:					
водяная мельница	92	3	99,71	О	0,026
мельница Раймонда	-	2	99,96	О	0,030
Электроплавильная печь	40...65	2	98,67	В	0,016
Промышленные котельные	-	37	93,15	О	0,025
Отопительные котельные:					
пылевидное сжигание	23...65	2	99,92	О	0,010
механическое слоевое сжигание	5...60	4	99,80	В/О	0,015

Мусоросжигатели	20...65	0,7	99,86	О	0,015
-----------------	---------	-----	-------	---	-------

Примечание: В - встряхивание, И - импульсный, О - обратная продувка.

3.3. Зернистые фильтры

Зернистые фильтры используют в газоочистке при невозможности применения тканевых из-за высокой температуры среды. Зернистые фильтры находят все более широкое применение в мире при обработке запыленных выбросов производства строительных материалов, предприятий химической промышленности, при получении редких металлов и в других технологических процессах. Однако по сравнению с тканевыми фильтрами они имеют меньшее распространение. Перспективным направлением можно считать использование зернистых фильтров для одновременного улавливания дисперсных и газообразных примесей газовых выбросов.

Фильтрующий слой в зернистых фильтрах образован зернами сферической или другой формы. Могут использоваться при высоких температурах – до 500...800°С, в условиях воздействия агрессивной среды. Зернистые фильтры распространены значительно меньше, чем тканевые фильтры. Различают насыпные зернистые фильтры, в которых элементы фильтрующего слоя не связаны жестко друг с другом, и жесткие зернистые фильтры, в которых эти элементы прочно связаны между собой путем спекания, прессования, склеивания и образуют прочную неподвижную систему.

Зернистые жесткие фильтры керамические, металлокерамические и другие обладают значительной устойчивостью к высокой температуре, коррозии, механическим нагрузкам. Их недостаток - высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление, трудность регенерации.

В насадке насыпных фильтров используют песок, гравий, шлак, дробленые горные породы, кокс, крошку резины, пластмасс, графита и другие материалы в зависимости от требуемой устойчивости к воздействию температуры, химических веществ.

Как и тканевые фильтры, зернистые насыпные фильтры нуждаются в регенерации. Наибольшее распространение получили следующие способы очистки фильтрующего слоя: импульсной продувкой с периодическим движением слоя; обратной продувкой и ворошением (рыхлением); обратной продувкой и вибровстряхиванием; удалением лобового слоя зерен.

Регенерация осуществляется путем рыхления слоя вручную или механически, промывки водой, замены слоя.

Зернистый фильтр может быть единственной ступенью в установке или первой ступенью перед более эффективным фильтром, например с материалами ФП.

В зернистом гравийном фильтре для улавливания пылей с наличием абразивных частиц и агрессивных газов от дробилок, грохотов, сушилок, мельниц, транспортирующих устройств предприятий по производству цемента, извести, гипса, фосфорных удобрений и др. удельная нагрузка на фильтр составляет 17...50 м³/(м²ч), сопротивление фильтра - в пределах 0,5...1,5 кПа. Эффективность очистки - до 99,8 %.

Характеристики некоторых типов фильтров с зернистым слоем, нашедших применение в промышленности, приведены в табл. 3.7, 3.8.

Таблица 3.7. Технические характеристики зернистых фильтров типа ЗФ

Показатели	ЗФ-4М	ЗФ-5М	ЗФ-6М	ЗФ-8	ЗФ-10
Пропускная способность, м/с	2,5... 5	5... 10	10... 40	10... 150	10... 30
Площадь фильтрации, м ²	2... 4	4... 8	8... 31	8... 120	16... 37
Число секций	2... 4	2... 6	2... 8	2... 30	6... 37
Число фильтрующих слоев	3	3	3	3	2
Продолжительность фильтрации/регенерации, мин	40... 60 2... 4	40... 60 2... 4	40... 60 2... 4	40... 60 2... 4	10... 15 0,5... 1
Максимальная начальная запыленность, г/м ³	20	20	20	20	5
Наполнитель	Гравий крупностью 3... 10 мм				
Максимальная температура, К	673				
Гидравлическое сопротивление, Па	600... 1500				
Степень очистки, %	95... 99				
Масса, т: с наполнителем без наполнителя	2,5... 5 1,5... 3	4,5... 9 2,5... 5	9... 14 5... 10	14... 180 10... 130	15... 34 10... 20
Способ регенерации	Обратная продувка				

Таблица 3.8. Техническая характеристика гравийных фильтров циклонов типа ФГЦН

Показатели	ФГЦН-120	ФГЦН-30
Площадь фильтровальной поверхности, м ²	124	28,8
Удельная нагрузка, м ³ /(м ² ·с)	0,25... 0,33	
Гидравлическое сопротивление, Па	1800... 2200	1600... 2000
Максимальная температура, К	673	
Наполнитель	Гравий крупностью 2... 4 мм	
Максимальная начальная запыленность, г/м ³	30	

Число элементов в аппарате	10	4
Диаметр фильтрующего элемента, мм	2600	2160
Тип циклона	ЦН-15У	ЦН-24
Диаметр циклона, мм	1200	800
Способ регенерации	Ворошение с обратной продувкой	
Привод механизма ворошения	МПО2-26ВК5,5/5,6	МПО2-18ВК6,7
Число оборотов ворошителя, мин ⁻¹	5,6	6,7
Габариты, мм: длина/ширина/высота	15300/7570/11900	5930/4440/8700
Масса, т	68	20

Контрольные вопросы.

1. Назначение, устройство и принцип действия волокнистых фильтров.
2. Назначение, устройство и принцип действия тканевых фильтров.
3. Фильтровальные ткани.
4. Назначение, устройство и принцип действия рукавных фильтров.
5. Назначение, устройство и принцип действия зернистых фильтров.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Лекция 4.

Мокрое пылеулавливание

План лекции.

Аппараты мокрого пылеулавливания.

Полые газопромыватели.

Орошаемые циклоны с водяной пленкой.

Пенные пылеуловители.

Ударно-инерционные пылеуловители.

Скоростные пылеуловители (скрубберы Вентури)

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама. Метод мокрой очистки газов от пыли считается достаточно простым и в то же время весьма эффективным способом обеспыливания.

Скрубберы - мокрые пылеуловители с корпусом в виде вертикальной колонны, полые или с насадкой. Через скруббер проходит запыленный поток, и в ап-

парат вводится жидкость.

В мокрых скрубберах реализуется тесный, бурный контакт газа и жидкости, сопровождающийся генерацией жидких капель. Захват каплей газом может привести к уносу жидкости из скруббера в перегреватель, канал, вентилятор, дымовую трубу, а затем в атмосферу. Если не принять мер к отделению захваченной потоком жидкости то это может вызвать коррозию, эрозию, забивание повреждение вентиляторов и выбросы загрязнителя.

Загрязнитель, накапливающийся в жидкости, используемой для орошения скрубберов, следует удалять из системы.

В мокрых скрубберах, предназначенных для пылезолоулавливания, в качестве орошающей жидкости чаще всего применяют воду. Ее расход для разных типов аппаратов может изменяться от 0,1 до 10 м³ на 1000 м³ обрабатываемых газов. При совместном решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) определяется условиями процесса абсорбции.

Мокрые пылеуловители имеют ряд преимуществ перед аппаратами других типов:

- отличаются сравнительно небольшой стоимостью и более высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями;

- могут быть применены для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм (например, скрубберы Вентури);

- могут не только успешно конкурировать с такими высокоэффективными пылеуловителями, как рукавные фильтры и электрофильтры, но и использоваться в тех случаях, когда эти аппараты обычно не применяются, например, при высокой температуре и повышенной влажности газов, при опасности возгорания и взрывов очищенных газов, в качестве теплообменников смешения.

Перечисленные преимущества аппаратов мокрого пылеулавливания позволяют широко их применять в системах пылеочистки сушильных установок, особенно во вторых ступенях очистки.

Однако метод мокрого обеспыливания имеет и ряд недостатков:

- улавливаемый продукт выделяется в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод и, следовательно, с удорожанием процесса очистки;

- при охлаждении очищаемых газов до температуры, близкой к точке росы, а также при механическом уносе из газоочистного аппарата газовым потоком каплей жидкости пыль может осаждаться в газопроводах, системах вентиляции, дымососах. Кроме того, брызгоунос приводит к безвозвратным потерям орошающей жидкости;

- в случае очистки агрессивных газов аппаратуру и коммуникации необходимо защищать антикоррозионными материалами.

Сравнение мокрой очистки с сухой показывает, что мокрая очистка имеет меньшую стоимость (без шламового хозяйства) и, как правило, является более эффективной, чем сухая. Большинство мокрых пылеуловителей может применяться для улавливания самых мелких частиц, даже менее 1 мкм.

Мокрые пылеуловители по эффективности и другим показателям не усту-

пают рукавным фильтрам и электрофильтрам, а по ряду показателей их превосходят (возможность очистки газов с высокой температурой и повышенной влажностью, безопасность при улавливании пожаро- и взрывоопасных пылей).

В скрубберах любого типа частицы удаляют по одному или нескольким основным механизмам улавливания: гравитационной седиментации, центробежному осаждению, инерции и касанию, броуновской диффузии, термофорезу, диффузиофорезу, электростатическому осаждению. Скорость осаждения может быть увеличена благодаря укрупнению частиц вследствие агломерации и конденсационного роста.

Распознавание механизмов процессов позволяет создать рациональный метод анализа и предсказать рабочие характеристики скруббера.

Существуют следующие аппаратные механизмы процессов мокрого улавливания аэрозолей:

- 1) улавливание каплями жидкости, двигающимися через газ;
- 2) улавливание цилиндрами (обычно твердыми, типа проволоч);
- 3) улавливание пленками жидкости (обычно текущими по твердым поверхностям);
- 4) улавливание в пузырях газа (обычно поднимающихся в жидкости);
- 5) улавливание при ударе газовых струй о жидкие или твердые поверхности.

В зависимости от способа организации поверхности контакта фаз и принципа действия мокрые пылеуловители можно подразделить на следующие группы:

- полые газопромыватели (полые скрубберы и др.);
- насадочные скрубберы;
- барботажные и пенные аппараты;
- аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны);
- аппараты центробежного действия;
- скоростные аппараты (СПУ Вентури).

Иногда мокрые пылеуловители подразделяются по затратам энергии на низконапорные, средненапорные и высоконапорные. К низконапорным аппаратам относятся пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых не превышает 1500 Па (полые газопромыватели, мокрые аппараты центробежного действия). К средненапорным относятся аппараты с гидравлическим сопротивлением от 1500 до 3000 Па (насадочные скрубберы, тарельчатые газопромыватели, газопромыватели с подвижной насадкой). К высоконапорным аппаратам относятся пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых выше 3000 Па (аппараты ударно-инерционного действия, механические и скоростные газопромыватели).

Так как основным недостатком мокрых способов обезвреживания является необходимость обработки загрязненных стоков, образовавшихся в процессе очистки газов, то приемлемыми могут быть лишь способы с минимальным водопотреблением. До принятия решения о применении мокрого способа очистки необходимо тщательно проанализировать свойства обрабатываемых выбросов. Необходимо учитывать растворимость, реакционную способность (возможность образования взрывоопасных, коррозионноактивных веществ и вторичных загрязнителей), коррозионную активность компонентов загрязнителя и газаносителя. Для твердых загрязнителей важны также смачиваемость, схватываемость,

слипаемость, для жидких - смачиваемость, плотность, параметры фазовых переходов.

Для общепромышленного применения рекомендованы следующие аппараты: 1) циклоны с водяной пленкой типа ЦВП, скоростные промыватели СИОТ; 2) низконапорные скрубберы Вентури типа КМП; 3) скрубберы Вентури с кольцевым регулируемым сечением; 4) ударно-инерционные пылеуловители; 5) пенные аппараты со стабилизатором пены.

Степень очистки газовых выбросов в мокрых скрубберах может быть найдена только на основе эмпирических сведений по конкретным конструкциям аппаратов. Методы расчетов, нашедшие применение в практике проектирования, основаны на допущении о возможности линейной аппроксимации зависимости степени очистки от диаметра частиц в вероятностно-логарифмической системе координат. Расчеты по вероятностному методу выполняются по той же схеме, что и для аппаратов сухой очистки газов, но имеют еще меньшую сходимость.

Использование метода диаметра отсекания для предсказания рабочих характеристик скруббера основано на представлении о том, что единственным и наиболее важным параметром, определяющим и трудность удаления частиц из газа и рабочие характеристики скруббера, является диаметр частиц, эффективность улавливания которых составляет 50 %, т.е. диаметр отсекания d_{50} . При анализе диапазона размеров общая эффективность улавливания устройства зависит от доли каждой фракции и от эффективности улавливания частиц каждого размера.

Иногда расчеты выполняют по так называемому "энергетическому" методу, исходящему из предположения, что количество энергии, необходимое для улавливания частиц загрязнителя, пропорционально степени очистки выбросов независимо от типа очистного устройства.

В энергетических методах расчета предполагается, что зависимость фракционных коэффициентов захвата от энергозатрат A можно выразить логарифмически нормальным законом и аппроксимировать график зависимости $\varepsilon = f(A)$ в вероятностно-логарифмической системе координат прямой (или близкой к прямой) линией.

Полному коэффициенту осаждения частиц в аппаратах придается вид экспоненциальной функции энергозатрат.

Для получения достоверных результатов требуется и очень корректный подход к определению доли энергии, затрачиваемой непосредственно на улавливание загрязнителя. Точное теоретическое определение этой величины невозможно. В практике проведения расчетов величину A составляют из нескольких позиций энергозатрат индивидуально для каждого типа газоочистного устройства. Для рассмотренных конструкций газопромывателей принимают, что доля энергии, непосредственно обеспечивающая очистку газового потока, складывается из энергии газового потока, затрачиваемой на создание газожидкостной смеси и энергии жидкого потока, затрачиваемой на диспергирование жидкости. Потери энергии на трение и местные сопротивления, возникающие при движении потоков к области контакта фаз, должны быть исключены из затрат на очистку.

Степень очистки, определенная по энергетическому методу, оказывается близкой к реальности для таких типов аппаратов, в которых осаждение загрязнителей обеспечивается преимущественно за счет одной из энергетических со-

ставляющих, а вкладом остальных составляющих допустимо пренебречь в пределах точности инженерных расчетов. Так, например, для газопромывателей с трубами Вентури, центробежных сепараторов ЦВП, скрубберов ударно-инерционного действия можно без значительной погрешности принять, что осаждение частиц в них происходит за счет энергии газового потока. Поэтому сопротивление этих аппаратов по газу может быть приравнено к величине удельных энергозатрат A в формуле (6.4).

Список перечисленных выше аппаратов может быть дополненным абсорбтором при условии, что в качестве удельной энергозатраты на очистку газов принимается сопротивление не всего аппарата, а только тарелок со слоем пены (и при наличии - каплеуловителей и стабилизирующих решеток). Сопротивление же конструктивных элементов на входе и выходе пенного аппарата (отводов, тройников, расширения и сужения потока) учитываться не должно.

В насадочных скрубберах и центробежных аппаратах с форсуночным распылением жидкости следует учитывать потери энергии и газового, и жидкого потоков.

Для полых газопромывателей основные затраты энергии на очистку газов связаны с распылом орошающей жидкости.

4.1. Полые газопромыватели

Полые газопромыватели (рис. 4.1) реализуют наиболее простую схему мокрой очистки с организацией промывки запыленных потоков газа в газоходах (воздуховодах) или отдельных камерах (емкостях) различной формы. Орошающая жидкость в них подается встречно или поперек газового потока. Чтобы унос жидкости из зоны контакта был незначительным, размер капель должен быть не менее 500 мкм, а скорость газового потока не должна превосходить (0,8...1,2) м/с.

Для уменьшения габаритов установки скорость потока увеличивают (иногда до 5 м/с и более) и устанавливают на выходе аппарата каплеуловители. Орошающую жидкость разбрызгивают чаще всего с помощью центробежных форсунок, поддерживая ее давление в пределах (0,3...0,4) МПа. Такие форсунки позволяют работать на оборотной воде, из которой удалена грубая взвесь. Диаметр зоны орошения одной форсунки принимают в пределах 500 мм. Из этих условий определяют число форсунок, устанавливаемых в скруббере.

Эффективность очистки в скруббере зависит от дисперсности пыли, размера капель, скорости их падения, расхода жидкости, скорости пылегазового потока. В полном скруббере удельный расход жидкости находится в пределах 2...2,5 л/м³, гидравлическое сопротивление 220...250 Па.

Полые газопромыватели могут найти применение для осаждения частиц крупнее 10 мкм. Полые скрубберы используют для очистки газов в металлургическом, литейном производстве, например, для очистки газов из вагранок.

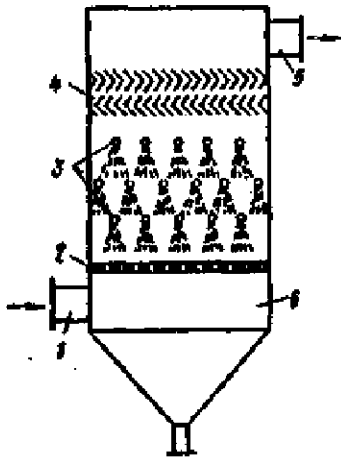


Рис. 4.1. Схема полового газопромывателя: 1 - входной патрубок; 2 - газораспределительная решетка; 3 - форсунки; 4 - каплеуловитель; 5 - выходной патрубок; 6 - бункер.

4.2. Орошаемые циклоны с водяной пленкой

Эффект действия *орошаемого циклона* по сравнению с обычным циклоном усиливается тем, что пыль, отбрасываемая под действием центробежных сил к стенкам циклона, в значительной мере поглощается водяной пленкой и превращается в шлам. В результате предотвращается вторичный унос пыли, выделившейся из потока.

В циклонах с водяной пленкой опасность взрыва и возгорания пыли практически устраняется.

Орошаемый циклон типа ЦВП (рис. 4.2) состоит из цилиндрического корпуса с коническим днищем и воздухоотводящим патрубком и воздухоподводящей улитки. Запыленный воздух подводится по касательной к корпусу со скоростью около 20 м/с. Поверхность стенок аппарата орошается водой с помощью сопел, расположенных равномерно в верхней части циклона. Сопла находятся также во входном патрубке и предназначены для смыва отложений пыли. Давление воды перед соплами 2... 2,5 кПа. Удельный расход воды - 0,05... 0,3 л/м³. Одиночные циклоны с водяной пленкой рассчитаны на очистку 1... 20 тыс. м³/ч запыленного газа и во всем диапазоне производительности обеспечивают достаточную степень очистки.

Циклон с водяной пленкой типа ЦВП можно использовать для очистки низкотемпературных газов с любым видом нецементирующейся пыли, кроме схватывающейся и реагирующей с водой. Он может быть применен в качестве каплеуловителя в установках с трубами Вентури.

Общая эффективность ЦВП - до 90 %, фракционная эффективность улавливания частиц размером 5... 10 мкм до 90... 95 %.

Основные характеристики газопромывателей ЦВП приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 Характеристика циклонов с водяной пленкой

Исполнение циклона	Скорость воздуха, м/с				Гидравлическое сопротивление, Па		Коэффициент гидравлического сопротивления	
	наименьшая*	наибольшая**	наименьшая*	наибольшая**	наименьшее	наибольшее	отнесенный к $v_{вх}$ $\xi_{вх}$	отнесенный к v_0 ξ_0
Основное	16	25,6	4,5	7,05	360	915	2,3	30
Для работы с повышенной скоростью	32	44	4,5	6,0	940	1780	1,5	78

*Во входном отверстии циклона $v_{вх}$.

**Условная средняя в поперечном сечении циклона v_0 .

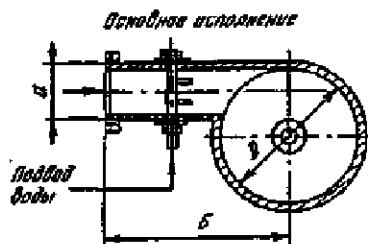
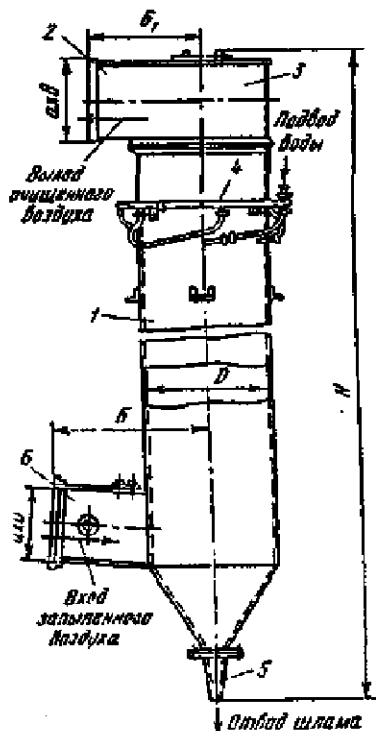


Рис. 4.2. Циклон с водяной пленкой ЦВП: 1 - корпус; 2 - выходной патрубок; 3 - улитка; 4 - коллектор; 5 - конусный патрубок (гидрозатвор); 6 - входной патрубок.

Гидравлическое сопротивление циклонов ЦВП зависит от расхода газа и конструкции аппарата. На рис. 4.3 приведена номограмма для определения гидравлического сопротивления ЦВП различных типоразмеров в зависимости от расхода газа.

Таблица 4.2. Основные размеры орошаемых циклонов ЦВП.

Тип ци-клона	Размеры, мм					Общая масса, кг
	D	B	B_1	H	$a \times b$	
ЦВП-3	315	445	283	2436	<u>110x195</u>	63,9
ЦВП-4	400	505	360	3014	140x250	106,7
ЦВП-5	500	640	450	3684	<u>175x310</u>	161
ЦВП-6	630	765	565	4554	<u>220x390</u>	237
ЦВП-8	800	1025	720	5699	<u>280x495</u>	369,7
ЦВП-10	1000	1335	900	7044	<u>350x620</u>	569,5

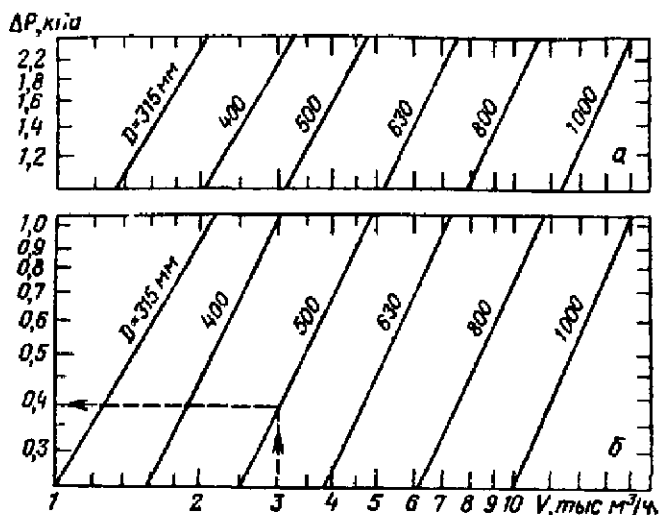


Рис. 4.3. Номограмма для определения гидравлического сопротивления ΔP циклона ЦВП в зависимости от расхода газа V и диаметра аппарата D .

Циклоны-газопромыватели типа СИОТ работают при повышенных скоростях газового потока (14... 20 м/с). В отличие от циклонов ЦВП скоростные промыватели СИОТ имеют внутри дополнительные завихрители, что позволяет их использовать для очистки больших объемов газов (до 300 тыс. м³/ч) без снижения эффективности.

Газопромыватели типа СИОТ имеют неплохую степень очистки и рассчитаны на улавливание смачиваемой не волокнистой не схватывающейся пыли при начальной запыленности до 5 г/м³. В скоростных промывателях СИОТ частицы пыли крупнее 5 мкм улавливаются более чем на 99%.

Основные характеристики аппаратов приведены в таблице 4.3.

Циклоны-промыватели СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2,5... 3 раза меньше, чем габаритные размеры скруббера, эффективность тех и других аппаратов примерно одинакова.

Таблица 4.3. Технические характеристики газопромывателей СИОТ

Показатели	Номер газопромывателя									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Производительность, м ³ /с, при скорости 14м/с										
	20м/с	3,5	4,9	6,9	9,7	13,9	20,8	27,8	38,9	55,6
		4,9	6,9	9,7	13,9	20,8	27,8	38,9	55,6	77,8
Диаметр входа, мм	560	665	790	940	1120	1330	1580	1880	2240	
Внутренний диаметр аппарата, мм	1344	1596	1896	2256	2688	3192	3792	4512	5400	
Максимальный расход воды, л/с	0,56	0,78	1,1	1,5	2,1	3,1	4,3	6,1	8,6	

4.3. Пенные пылеуловители

Пенные пылеуловители представляют собой аппараты, корпус которых разделен решеткой с равномерно расположенными мелкими отверстиями (рис. 4.4). Запыленный поток поступает под решетку, очищенный удаляется из верхней части корпуса. Вода поступает на решетку сверху. В зависимости от конструкции пылеуловителя вода с поверхности решетки отводится через отверстия в решетке и частично через слив, либо только через отверстия. Диаметр отверстий в решетке 3... 8 мм. Живое сечение 0,15... 0,25 м²/м².

Пенные аппараты относятся к низконапорным пылеуловителям, это одно из больших преимуществ данных аппаратов перед другими конструкциями. По способу отвода жидкости с решетки их подразделяют на два основных типа: с переливными решетками и с провальными решетками. Аппараты с переливными решетками не нашли широкого распространения, так как наблюдается зарастание решетки в ходе процесса пылеулавливания. Большее распространение получили аппараты второго типа.

Для очистки газов чаще всего используются провальные щелевые и дырчатые тарелки. Диаметр отверстий дырчатых тарелок принимают в пределах 3... 8 мм, а относительное свободное сечение (отношение площади отверстий к площади тарелки) $f_{ос} = 0,15... 0,25$.

Отверстия разбиты по равносоставленному треугольнику.

Щелевые тарелки могут выполняться решетчатыми, трубчатыми или колосниковыми. Трубчатые и колосниковые конструкции изготавливают сварными из трубок, прутков или пластин. Ширину щели в тарелке b принимают 4... 5 мм, свободное сечение $f_{ос} - (0,2... 0,25)$.

Оптимальная толщина дырчатых и щелевых тарелок 4... 6 мм. Удельное орошение для очистки газов от пыли принимают в пределах 0,4... 0,6 литров на 1 м³ газов.

Для создания устойчивого пенного слоя на решетке необходимо поддерживать скорость газа в свободном сечении аппарата в пределах 0,8... 2,2 м/с, при этом минимальная скорость газов, необходимая для создания устойчивого пен-

ного режима на тарелке, составляет порядка 1 м/с.

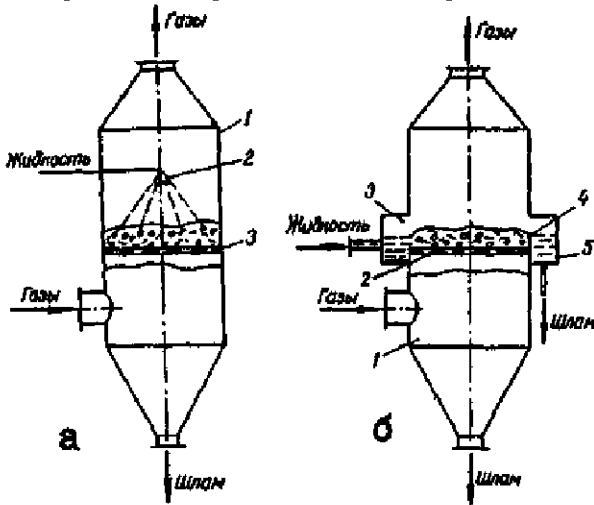


Рис. 4.4. Схемы пенных пылеуловителей: а - пенный пылеуловитель с провальной тарелкой: 1 - корпус; 2 - оросительное устройство; 3 - тарелка; б - пенный пылеуловитель с переливной тарелкой: 1 - корпус; 2 - тарелка; 3 - приемная коробка; 4 - порог; 5 - сливная коробка.

В новейших пенных аппаратах с провальными решетками применяют так называемые стабилизаторы пенного слоя, что позволяет повысить скорость газа до 4 м/с.

На рис. 4.5 приведен общий вид пенного аппарата со стабилизатором слоя (ПАСС). В качестве стабилизатора рекомендуется использовать сотовую решетку высотой $h_{ст} = 60$ мм с ячейками размером от 35×35 до 45×45 мм.

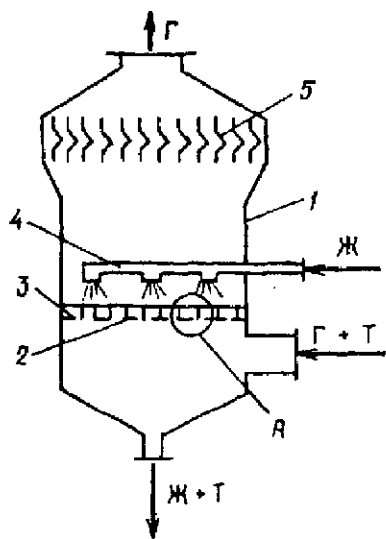
На рис. 4.6 приведены зависимости высоты слоя пены от скорости движения газа в свободном сечении аппарата. Из графиков видно, что стабилизатор позволяет увеличить высоту слоя почти в 2,5 раза во всем диапазоне скоростей.

Решетки промышленных аппаратов ПАСС могут быть дырчатыми с отверстиями величиной $d_0 = 5 \dots 8$ мм и живым сечением от 14 до 22%, а также трубчатыми с трубами диаметром 20... 32 мм и промежутками между ними $d_m = 3,0 \dots 6,5$ мм при живом сечении $S_0 = 13,0, 18,2$ %. Аппараты с трубчатыми решетками обозначаются ПАСС-Т, а с дырчатыми - ПАСС-Д. Разработан нормализованный ряд аппаратов ПАСС с корпусами круглого сечения на расход газа $V = 2,5 \dots 64$ тыс. м³/ч (табл. 4.7).

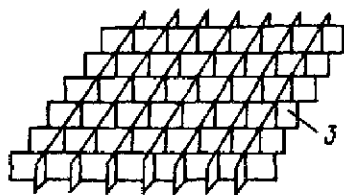
4.4. Ударно-инерционные пылеуловители

В промышленности широко распространены ударно-инерционные пылеуловители (называемых в литературе также газопромывателями ударного действия, импакторными и брызгальными скрубберами, скрубберами с самораспылением или с самогенерацией капель, ротоклонами типа N).

В скрубберах ударно-инерционного действия смесь обрабатываемых газопылевых выбросов с промывочной жидкостью создается в результате удара газового потока о поверхность жидкости, при этом газовый поток резко меняет направление движения, а частицы пыли по инерции отбрасываются на поверхность жидкости и захватываются ею. Образующиеся при ударе капли имеют размеры до 400 мкм. Вся энергия, необходимая для создания смеси, подводится



Узел А



$H_n, \text{мм}$

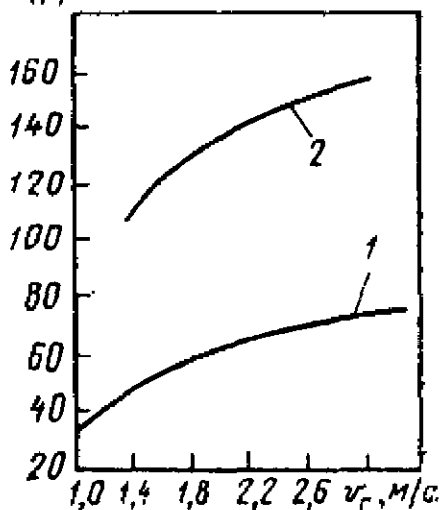


Рис. 4.5. Пенный аппарат ПАСС со стабилизатором слоя пены: 1 – корпус; 2 – провальная тарелка; 3 – стабилизатор пены; 4 – ороситель; 5 – брызгоуловитель.

Рис. 4.6. Зависимость высоты слоя пены от скорости газа в аппарате без стабилизатора (1) и со стабилизатором (2).

Наиболее простой по конструкции *импакторный пылеуловитель* ударно-инерционного типа показан на рис 4.7, а. Он представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости. Запыленные газы со скоростью 20 м/с направляются сверху вниз на поверхность жидкости. При резком изменении направления движения газового потока (на 180°) взвешенные в газе частицы осаждаются на поверхности воды, а очищенные газы направляются в выходной газопровод. Аппараты этого типа удовлетворительно работают только при улавливании частиц размером более 20 мкм. Шлам из пылеуловителя удаляется периодически или непрерывно через гидрозатвор. Для удаления уплотненного осадка со дна применяют смывные сопла.

Среди мокрых пылеуловителей ударного действия можно выделить еще два наиболее распространенных в промышленности аппарата: *статический пылеуловитель типа ПВМ* (рис 6.4, б), и *скруббер Дойля*, показанный на рис 4.7, в.

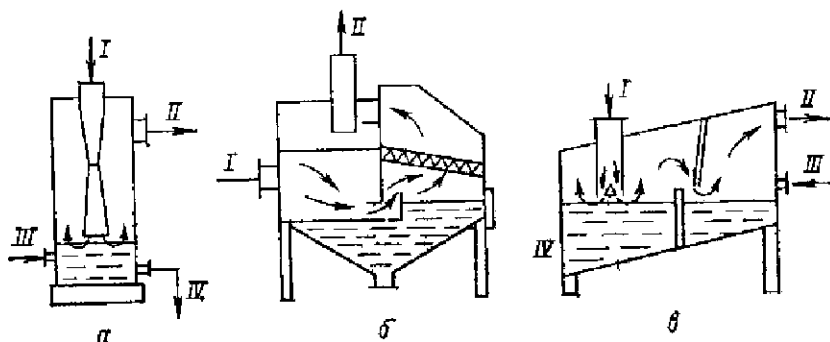


Рис. 4.7. Скрубберы ударно-инерционного действия: а - импакторный скруббер; б - газопромыватель типа ПВМ; в - скруббер Дойля.

В промывателе типа ПВМ (пылеуловители вентиляторные мокрые) загрязненные газы подаются непосредственно в корпус аппарата, а приобретают необходимую скорость для образования смеси уже в щелевом канале. Схема движения газового потока в камере этого аппарата приведена на рис. 4.7, б. Осаждение пыли в ударно-инерционных скрубберах происходит в 2 стадии. Крупные фракции пыли из-за инерции не могут повернуть после удара вместе с потоком газа. Мелкие фракции, увлекаемые газом, улавливаются каплями жидкости и вследствие образования газожидкостной смеси отделиваются от потока после прохождения импеллерной щели или на сепараторе уноса. Аппараты ПВМ рассчитаны на следующие производительности по очищаемому воздуху: 3000, 5000, 10000, 20000 и 40 000 м³/ч.

В скруббер Дойля газ на очистку поступает через трубы, в нижней части которых установлены конусы, увеличивающие скорость газовых потоков (до 35... 55 м/с). С этой скоростью газовый поток ударяется о поверхность жидкости, создавая завесу из капель. Уровень жидкости в скруббере на 2...3 мм ниже кромок газоподводящей трубы. Гидравлическое сопротивление составляет 1,5 кПа.

Степень очистки в импакторных скрубберах сопоставима с распылительны-

ми скрубберами при одинаковом перепаде давлений. Такие аппараты ударного действия, как высокоскоростные скрубберы Дойля, способны улавливать частицы пыли субмикронных размеров, но требуют значительной энергии для создания достаточного перепада давлений в потоке очищаемых газов.

Достаточно распространены и так называемые *ротоклоны* типа *N* (рис. 4.8), отличающиеся от промывателей ПВМ более сложной формой импеллеров (щелей) или схемой перемещения потоков. Эти аппараты рассчитаны на очистку от 3 до 40 тыс. м³/ч запыленного газа.

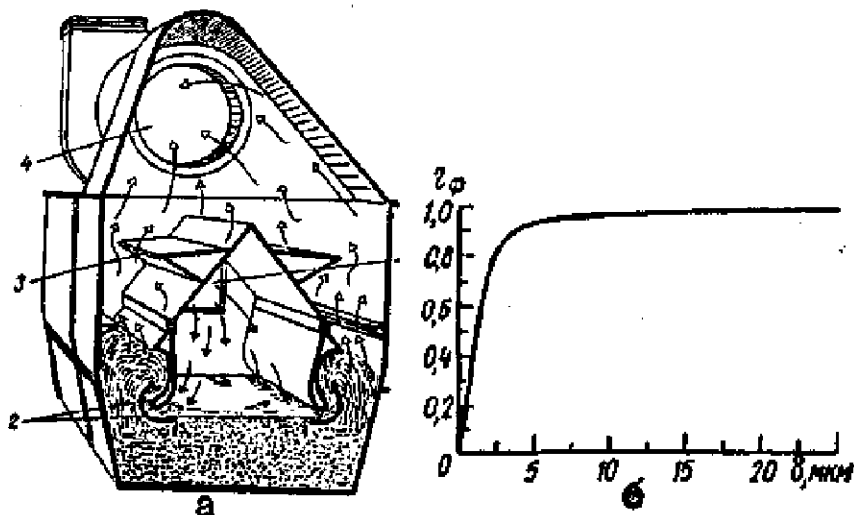


Рис. 4.8. Ротоклон типа *N*: а - схема ротоклона: 1 - устройство для подвода газов; 2 - направляющие лопатки; 3 - каплеотбойник; 4 - устройство для отвода газов; б - график фракционной эффективности ротоклона.

Запыленный поток поступает в приемную камеру и затем проходит через импеллер. Нижняя часть корпуса заполнена водой, уровень которой поддерживается автоматически. Воздух, проходя импеллер со скоростью 15...16 м/с, в соответствии с его конфигурацией неоднократно изменяет направление движения. Часть воды увлекается воздухом (газом), образуя сплошной водовоздушный (газовый) поток.

Частицы пыли задерживаются, выпадают на дно в виде шлама и периодически удаляются. Ротоклон допускает колебание расхода очищаемого воздуха (газа) в пределах $\pm 15\%$. Расход воды невелик, он не превышает 0,03 л/м³. Гидравлическое сопротивление аппарата составляет 1000...1500 Па.

Удельный расход воды при периодическом сливе шлама и температуре газа не выше 40 °С составляет $5 \cdot 10^{-6}$ м³/м³, а при непрерывном - примерно 20 г на 1 г уловленной пыли. Основным достоинством этих аппаратов является очень малый расход воды. В диапазоне гидравлических сопротивлений 1,6...2,0 кПа эти пылеуловители по степени очистки приближаются к скоростным промывателям СИОТ и ЦВП, а при гидравлическом сопротивлении 2,0...2,5 кПа превышают эффективность указанных конструкций, но она все же ниже, чем у скрубберов

Вентури.

Аппараты с самораспылением выгодно отличаются от других типов мокрых скрубберов низким потреблением воды. Для поддержания ее постоянного уровня в ванне необходимо лишь компенсировать потери со шламами, унос капель через сепаратор - каплеуловитель, испарение с поверхности и испарение диспергированной жидкости.

По имеющимся данным ротоклоны типа *N* применяются в литейном производстве (очистка воздуха от выбивных решеток, от установок для сушки песка и глины, для очистки от механических примесей), а также для очистки выбросов при производстве асбеста, при полировке металла, обжиге известняка. Эффективность очистки находилась в пределах 89,0... 99,4 %.

Мокрый пылеуловитель РИСИ. Аппарат предназначен для тонкой очистки воздуха, поступающего от аспирационных или технологических систем. Он может быть установлен на второй ступени очистки после пылеуловителя, обеспечивающего грубую или среднюю очистку (рис. 4.9). После эффективной двухступенчатой очистки воздух может быть направлен на рециркуляцию.

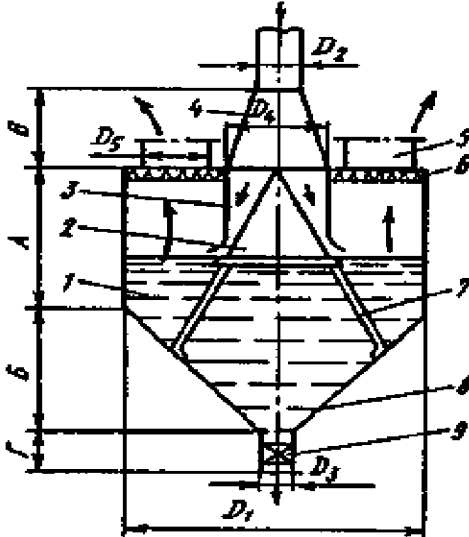


Рис. 4.9. Мокрый пылеуловитель РИСИ: 1 - цилиндрическая камера; 2 - конус-рассекатель; 3 - отражатель; 4 - диффузор; 5 - патрубок для отвода воздуха; 6 - каплеуловитель; 7 - лапки для крепления; 8 - бункер конической формы; 9 - патрубок для стока шлама.

Пылеуловитель состоит из цилиндрической камеры с коническим бункером в ее нижней части для осаждения шлама. Внутри камеры расположены конус-рассекатель и цилиндрический отражатель, имеющие на концах плавные переходы к поверхности воды. Этим обеспечивается плавное соприкосновение запыленного потока с водной поверхностью под определенным углом. В верхней части аппарата установлены каплеуловитель и патрубки для выхода очищенного воздуха. Для удаления шлама служит патрубок.

При соприкосновении запыленного потока с водной поверхностью частицы пыли, находящиеся в потоке, смачиваются водой и оседают на дно бункера. Обеспыленный воздух удаляется наружу.

При применении мокрого пылеуловителя на второй ступени его устанавливают за вентилятором, т.е. на нагнетательной линии вентилятора.

Степень очистки воздуха в мокром пылеуловителе составляет 99,9 %, гидравлическое сопротивление - 400 Па.

Расход воды в аппарате незначителен – несколько литров в час, так как вода расходуется лишь на испарение с поверхности и унос влаги с воздухом. Шлам удаляется один раз в несколько месяцев. В холодное время года при установке пылеуловителя вне помещения производится теплоизоляция корпуса и подогрев с помощью водонагревателя или подача пара или горячей воды в небольшом количестве в аппарат.

Разработаны такие аппараты на производительность 600... 10000 м³/ч. Характеристика пылеуловителя приведена в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Характеристика мокрых пылеуловителей РИСИ

№ пылеуловителя	Производительность, м ³ /ч	Размеры, мм										Масса без воды, кг
						D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅		
1	до 600	300	300	200	100	500	100	80	200	100	21,4	
2	до 1500	350	350	200	100	600	200	80	300	100	49,2	
3	до 3500	400	400	300	200	900	300	100	400	180	63,1	
4	до 7000	500	500	400	200	1200	400	100	500	280	98,4	
5	до 10000	700	700	600	200	1500	500	100	600	315	175	

4.5. Скоростные пылеуловители (скрубберы Вентури)

Среди мокрых пылеуловителей наибольшей эффективностью очистки газов (воздуха) от мелкодисперсной пыли обладают установки с трубой Вентури (СПУ Вентури).

Более высокая эффективность пылеулавливания по сравнению с полыми газопромывателями достигается в скрубберах Вентури созданием развитой поверхности контакта фаз, что требует и значительно более высоких энергозатрат. Образование тонкодисперсного аэрозоля происходит при этом как за счет механической диспергации промывочной жидкости, так и вследствие интенсивного испарения капель при резком падении давления в горловине. Очевидно, это приводит также к повышению влажности газа и интенсификации капиллярной конденсации влаги на поверхности частиц пыли. Последняя причина может служить объяснением того, что степень очистки пыли в скрубберах Вентури слабо зависит от ее смачиваемости.

Под СПУ Вентури понимают аппарат, состоящий из трубы-распылителя для измельчения жидкости под действием воздушного (газового) потока, движущегося с большой скоростью, и каплеуловителя (рис. 4.10). Основная часть скруббера – сопло Вентури 2, в конфузорную часть которого подводится запыленный поток газа и через центробежные форсунки 1 жидкость на орошение. В конфузорной части сопла происходит разгон газа от входной скорости ($w = 15... 20$ м/с) до скорости в узком сечении сопла 40... 200 м/с и более. Процесс осаждения частиц пыли на капли жидкости обусловлен массой жидкости, развитой поверхностью капель и высокой относительной скоростью частиц жидкости и пыли в

конфузорной части сопла. Эффективность очистки в значительной степени зависит от равномерности распределения жидкости по сечению конфузорной части сопла. В диффузоре трубы происходит рост давления и снижение скорости потока до 15...20 м/с, что способствует коагуляции мелких частиц. Из диффузора газовый поток выносит капли жидкости с осевшими на них частицами пыли в каплеуловитель 3, где происходит сепарация взвешенных частиц. Для улавливания пыли после трубы Вентури возможно использование скрубберов, циклонов с водяной пленкой, циклонапромывателя СИОТ и др. В этих аппаратах осуществляется улавливание предварительно скоагулированных пылевых частиц. Каплеуловитель обычно выполняют в виде прямого циклона.

Характерным элементом для данного устройства является труба Вентури (рис. 4.10, 4.11), где происходит контакт воздушного (газового) потока, содержащего во взвешенном состоянии пылевые частицы, с тонкораспыленной водой.

По величине гидродинамического сопротивления труб Вентури различают низконапорные и высоконапорные скрубберы. Низконапорные скрубберы с сопротивлением распылителя до 5 кПа применяются для улавливания пыли с размерами частиц более 20 мкм.

Эффективное улавливание мелких частиц требует более высоких энергозатрат. Скрубберы с высоконапорными трубами Вентури могут осаждать частицы размером 0,5 мкм и выше. Скорость потока в высоконапорных трубах приближается к скорости звука, а их сопротивление достигает нескольких десятков кПа.

Для труб Вентури оптимальными считаются следующие геометрические характеристики (см. рис. 4.11): угол сужения конфузора $\alpha_1 = 15^\circ \dots 28^\circ$, длина горловины $l_2 = 0,15 d_2$, угол раскрытия диффузора $\alpha_2 = 6^\circ \dots 8^\circ$.

Скрубберы Вентури могут различаться устройством каплеуловителей, конструкциями и способами установки труб, способами подвода жидкости. Каплеуловители могут быть выносными или размещаться в одном корпусе с трубой. Трубы могут иметь круглое, кольцевое или прямоугольное (щелевое) сечение горловины. Трубы с круглым сечением применяют для небольших расходов, а трубы со щелевым или регулируемым кольцевым сечением - для больших. При необходимости трубы komponуются в группы и батареи.

Вода в горловину трубы может подаваться через форсунки различных конструкций, установленные центрально или периферийно, или стекать в виде пленки по стенкам конфузора (рис. 4.12, а, б, в). Худшие показатели по дроблению капель и, следовательно, по степени очистки имеют бесфорсуночные трубы Вентури (рис. 4.12, г). В то же время они допускают использование оборотной неочищенной жидкости, что может быть важным при совместном улавливании газообразных и дисперсных примесей (например, при нейтрализации кислых газов известковым молоком).

Расход воды, распыляемой в СПУ, колеблется в широких пределах и составляет от 1 до 80 л на 100 м³ очищаемого воздуха. Расход зависит от вида улавливаемой пыли, ее концентрации в очищаемом воздухе, а также от конструкции СПУ. Для распыления воды перед форсунками необходим напор 200...300 кПа.

Эффективность улавливания частиц 5 мкм составляет 99,6 %.

СПУ Вентури применяют для улавливания пылей и возгонов черной и цветной металлургии, пылей пищевых производств, не изменяющих своих свойств

при контакте с водой, например, сахарной и др. при начальной концентрации пыли в весьма широком диапазоне - $0,05 \dots 100 \text{ г/м}^3$.

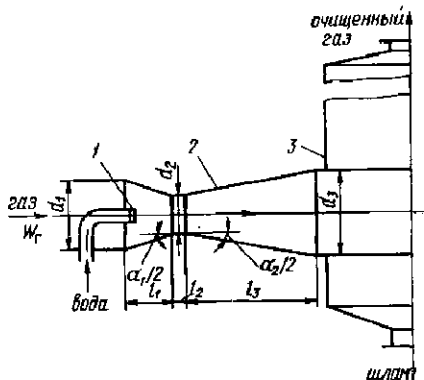


Рис. 4.10. Скруббер Вентури: 1 – форсунка; 2 – сопло Вентури; 3 – каплеуловитель.

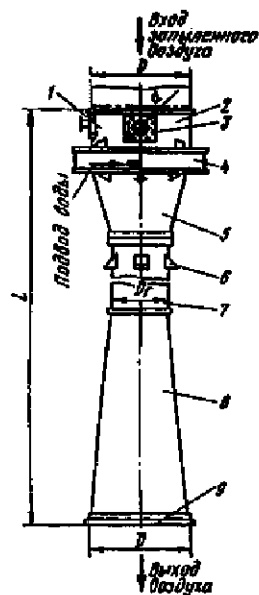


Рис. 4.11. Труба Вентури: 1 – лаз герметический; 2 – цилиндр; 3 – смывное приспособление; 4 – камера; 5 – конфузор; 6 – опора; 7 – горловина; 8 – диффузор; 9 – фланец.

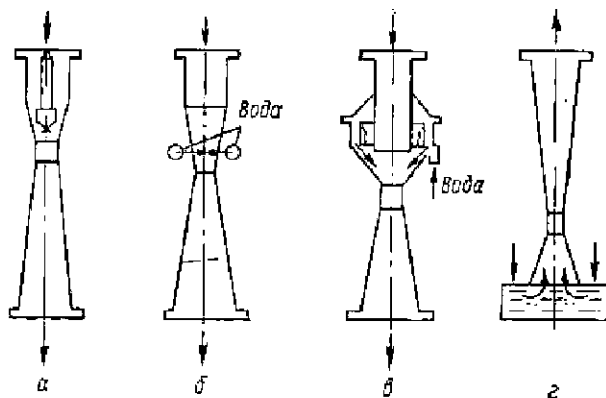


Рис. 4.12. Конструкции труб-растворителей: а – центральный (форсуночный) подвод жидкости; б – периферийное орошение; в – пленочное орошение; г – бесфорсуночное орошение.

Главным преимуществом СПУ Вентури является простота устройства и малые габаритные размеры установки.

Среди низконапорных скрубберов Вентури широкое распространение получили так называемые коагуляционные мокрые пылеуловители (КМП), которые представляют собой аппарат с совмещенной трубой - коагулятором и циклоном ЦВП. Общий вид аппарата представлен на рис. 4.13.

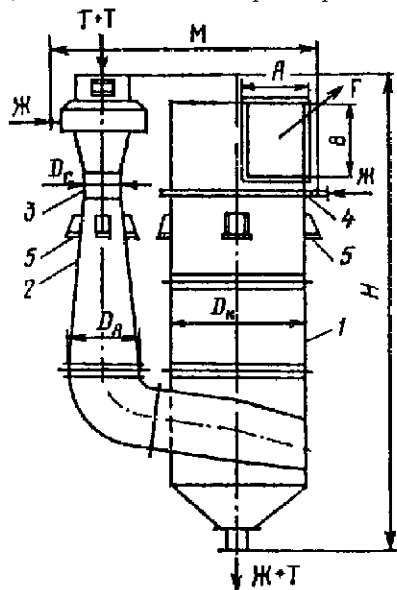


Рис. 4.13. Коагуляционный мокрый пылеуловитель КМП: 1 – сепарационная камера; 2 – труба Вентури; 3 – горловина; 4 – водяной коллектор; 5 – опоры.

За определяющий размер КМП принят диаметр горловины $D_г$ трубы коагулятора, который в ряду размеров меняется от 250 до 1000 мм. Данные аппараты могут работать в широком диапазоне расходов газа (7... 230 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$) при скорости газа в горловине 40... 70 м/с. Гидравлическое сопротивление при этом составляет 12... 35 кПа, а удельный расход воды 0,2... 0,6 л/ м^3 газа. Технические характеристики типовых КМП приведены в табл. 4.5.

Расчет степени очистки воздуха от пыли в КМП основан на экспериментально установленной зависимости диаметра частиц, уловленных на 50%, от удельной мощности контактирования $E_{\text{жс}}$, т.е. мощности, которая затрачивается только на контактирование газа с жидкостью при расходе газа $V = 1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Удельная мощность контактирования $E_{\text{жс}}$ зависит от расхода газа и орошающей жидкости, гидравлического сопротивления и типоразмера аппарата КМП.

Таблица 4.5 Технические характеристики мокрого пылеуловителя КМП

Тип аппарата	Расход газа, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	Размеры, м						
		$D_г$	$D_д$	$D_к$	H	M	A	B
КМП-2,5	6,5... 14,5	250	450	1000	3350	2300	350	620
КМП-3,2	11... 24	320	560	1200	4990	2800	410	750

КМП-7,0	17... 33,5	400	700	1500	5630	3540	530	930
КМП-5,0	26... 60	500	900	1900	7260	3960	670	1180
КМП-6,3	40... 92	630	1120	2300	8650	4670	810	1430
КМП-7,1	50... 120	710	1250	2700	9496	5220	950	1680
КМП-8,0	64... 150	800	1400	3000	10086	5810	1250	1860
КМП-10	97... 235	1000	1800	3000	10086	5810	1250	1860

Разработано 10 типоразмеров скрубберов Вентури с кольцевыми регулируемыми сечениями (рис. 4.14), позволяющих очищать запыленные газы при расходе 2... 500 тыс. м³/ч и гидравлическом сопротивлении от 4 до 12 кПа.

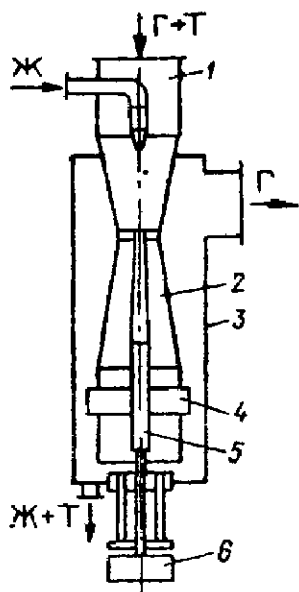


Рис. 4.14. Скруббер Вентури с кольцевой горловой и коническим обтекателем: 1 – патрубок для пыли; 2 – труба-коагулятор; 3 – сепарационная камера; 4 – завихритель; 5 – шток регулирующий; 6 – механизм управления штоком.

Технические характеристики скрубберов Вентури с кольцевым регулируемым сечением приведены в табл. 4.6.

В скрубберах четырех первых номеров регулирование расхода газа обеспечивается с помощью конических обтекателей с углом раскрытия 7°, а для остальных - эллиптическими обтекателями, позволяющими регулировать скорость газа в горловине от 85 до 145 м/с. Скрубберы последних трех типоразмеров имеют двойные циклонные каплеуловители.

Таблица 4.6 Технические характеристики скрубберов Вентури с кольцевым регулируемым сечением

Тип аппарата	Расход газа, тыс м ³ /ч	Диаметр горловины, мм	Диаметр каплеуловителя, мм	Скорость газа в каплеуловителе, м/с
--------------	------------------------------------	-----------------------	----------------------------	-------------------------------------

СВ-150/90-800	2... 7	150	800	1,4... 5,0
СВ-210/120-1200	7... 15	210	1200	2,3... 5,0
СВ-300/180-1600	15... 30	300	1600	2,5... 5,0
СВ-400/250-2200	30... 50	400	2200	3,0... 5,0
СВ-900/820-1600	50... 80	900	1600	6,9... 11,0
СВ-1020/920-2000	80... 120	1020	2000	7,1... 10,6
СВ-1150/1020-2400	120... 180	1150	2400	7,4... 11,0
СВ-1380/1220-2000	160... 240	1380	2000	7,1... 10,6
СВ-1620/1420-2400	240... 340	1620	2400	7,4... 10,4
СВ-1860/1620-2800	340... 500	1860	2800	7,1... 11,3

Таблица 4.7. Техническая характеристика типоразмерного ряда каплеуловителей

Типоразмер каплеуловителя	Диаметр аппарата, мм	Производительность, м ³ /ч	Размеры, мм
КЦТ-400	400	1700	670×670×1210
КЦТ-500	500	3100... 3890	770×770×1750
КЦТ-600	600	3890... 5600	870×870×2000
КЦТ-700	700	5600... 7625	970×970×2220
КЦТ-800	800	7625... 9960	1070×1070×2462
КЦТ-900	900	9960... 12600	1180×1180×2754
КЦТ-1000	1000	12600... 15560	1270×1270×3004
КЦТ-1200	1200	15560... 22410	1480×1480×3557
КЦТ-1400	1400	22410... 30500	1670×1670×4107
КЦТ-1600	1600	30500... 39840	1870×1870×4607
КЦТ-1800	1800	39840... 50420	2390×2130×5208
КЦТ-2000	2000	50420... 62245	2570×2320×5758
КЦТ-2200	2200	62245... 75315	2770×2520×6408
КЦТ-2400	2400	75315... 84000	2970×2720×6908

Контрольные вопросы.

1. Назначение, устройство и принцип действия полых газопромывателей.

2. Назначение, устройство и принцип действия орошаемых циклонов с водяной пленкой.
3. Назначение, устройство и принцип действия пенных пылеуловителей.
4. Назначение, устройство и принцип действия ударно-инерционных пылеуловителей.
5. Назначение, устройство и принцип действия скоростных пылеуловителей (скрубберов Вентури).

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Лекция 5.

Электрическая очистка газов

План лекции.

Аппараты электрической очистки газов.

Принцип действия электрофильтров.

Конструкции электрофильтров.

Под электрической очисткой газа понимают процесс, при котором твердые частицы удаляются из газообразной среды под воздействием электрических сил.

Фундаментальным отличием процесса электростатического осаждения от механических методов сепарации частиц является то, что в этом случае осаждающая сила действует непосредственно на частицы, а не создается косвенно воздействием на поток газа в целом. Это прямое и чрезвычайно эффективное использование силового воздействия и объясняет такие характерные черты электростатического метода, как умеренное потребление энергии и малое сопротивление потоку газа. Даже мельчайшие частицы субмикрометрового диапазона улавливаются эффективно, поскольку и на эти частицы действует достаточно большая сила. Принципиальных ограничений степени очистки нет, поскольку эффективность может быть повышена путем увеличения продолжительности пребывания частиц в электрофильтре.

Энергия, потребляемая в электрофильтре, складывается из энергии, расходуемой генератором тока высокого напряжения, и энергии, необходимой для преодоления гидравлического сопротивления при прохождении газа через электрофильтр. Гидравлическое сопротивление электрофильтра при его правильной эксплуатации не превышает 100... 150 Па, т.е. значительно ниже, чем у большинства других пылеуловителей. Энергия, подводимая к обрабатываемым газам при электроосаждении, расходуется преимущественно на оказание непосредственного воздействия на осаждаемые частицы. Этим обусловлены многие преимущества процесса электрофильтрации.

Электрофильтр относится к наиболее эффективным пылеулавливающим аппаратам. Эффективность очистки достигает 99,9 % в широких пределах концен-

траций (от нескольких мг до 200 г/м³) и дисперсности частиц (до долей мкм) и невысокой затрате электроэнергии (около 0,1...0,5 кВт·ч на 1000 м³ газов). Электрофильтр может обеспыливать влажную и коррозионноактивную газовую среду с температурой до 500°C. Производительность электрофильтров достигает сотен тысяч м³/ч очищаемого газа.

К недостаткам электрофильтров относится их высокая чувствительность к поддержанию параметров очистки, высокая металлоемкость и большие габариты, а также высокая требовательность к уровню монтажа и обслуживания.

Применение электрофильтрации имеет ряд ограничений. Электрофильтр не может быть использован для улавливания пылей, обладающих очень высоким электрическим сопротивлением. Нельзя направлять в электрофильтры взрывоопасные газовые выбросы, в том числе и такие, которые могут стать взрывоопасными в процессе обработки. Не следует использовать электроочистку, если осаждение взвешенных частиц может сопровождаться электрохимическими реакциями с выходом токсичных продуктов и тем более - добавлять таковые (например, SO₂, NH₄ и др.) для интенсификации процесса электрофильтрации.

Электрофильтры, как более сложное и дорогостоящее оборудование, обеспечивающее тонкую очистку воздуха, обычно komponуют с другими пылеулавливающими устройствами, устанавливаемыми на начальных ступенях очистки. В результате повышается экономичность использования электрофильтров и обеспечивается более полная очистка.

5.1. Принцип действия электрофильтров

В электрофильтре очистка газов от твердых и жидких частиц происходит под действием электрических сил. Частицам сообщается электрический заряд, и они под действием электрического поля осаждаются из газового потока.

Общий вид электрофильтра приведен на рис. 5.1.

Процесс обеспыливания в электрофильтре состоит из следующих стадий: пылевые частицы, проходя с потоком газа электрическое поле, получают заряд; заряженные частицы перемещаются к электродам с противоположным знаком, осаждаются на этих электродах; удаляется пыль, осевшая на электродах.

Зарядка частиц - первый основной шаг процесса электростатического осаждения. Большинство частиц, с которыми приходится иметь дело при промышленной газоочистке, сами по себе несут некоторый заряд, приобретенный в процессе их образования, однако эти заряды слишком малы, чтобы обеспечить эффективное осаждение. На практике зарядка частиц достигается пропусканием частиц через корону постоянного тока между электродами электрофильтра. Можно использовать и положительную и отрицательную корону, но для промышленной газоочистки предпочтительнее отрицательная корона из-за большей стабильности и возможности применения больших рабочих значений напряжения и тока, но при очистке воздуха используют только положительную корону, так как она дает меньше озона.

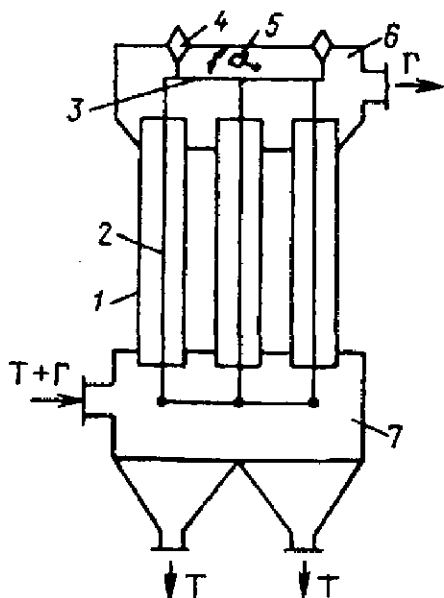


Рис. 5.1. Электрофильтр: 1 – осадительный электрод; 2 – коронирующий электрод; 3 – рама; 4 – высоковольтный изолятор; 5 – встряхивающее устройство; 6 – верхняя камера; 7 – сборник пыли.

Основными элементами электрофильтра являются коронирующий и осадительный электроды. Первый электрод в простейшем виде представляет собой проволоку, натянутую в трубке или между пластинами, второй - представляет собой поверхность трубки или пластины, окружающей коронирующий электрод (рис. 5.2).

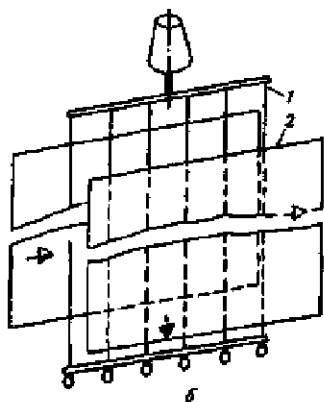
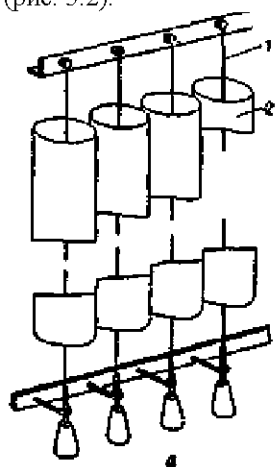


Рис. 5.2. Конструктивная схема электродов: а - электрофильтр с трубчатыми электродами; б - электрофильтр с пластинчатыми электродами; 1 - коронирующие электроды; 2 - осадительные электроды.

На коронирующие электроды подается постоянный ток высокого напряжения 30...60 кВ. Коронирующий электрод обычно имеет отрицательную полярность, осадительный электрод заземлен. Это объясняется тем, что корона при такой полярности более устойчива, подвижность отрицательных ионов выше, чем положительных. Последнее обстоятельство связано с ускорением зарядки пылевых частиц.

После распределительных устройств обрабатываемые газы попадают в проходы, образованные коронирующими и осадительными электродами, называемые межэлектродными промежутками. Сходящие с поверхности коронирующих электродов электроны разгоняются в электрическом поле высокой напряженности и приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа. Сталкивающиеся с электронами молекулы газов ионизируются и начинают ускоренно двигаться в направлении электродов противоположного заряда, при соударении с которыми выбивают новые порции электронов. В результате между электродами появляется электрический ток, а при некоторой величине напряжения образуется коронный разряд, интенсифицирующий процесс ионизации газов. Взвешенные частицы, перемещаясь в зоне ионизации и сорбируя на своей поверхности ионы, приобретают в конечном итоге положительный или отрицательный заряд и начинают под влиянием электрических сил двигаться к электроду противоположного знака. Частицы сильно заряжаются на первых 100...200 мм пути и смещаются к заземленным осадительным электродам под воздействием интенсивного поля короны. Процесс в целом протекает очень быстро, на полное осаждение частиц требуется всего несколько секунд. По мере накопления частиц на электродах их стряхивают или смывают.

Коронный разряд характерен для неоднородных электрических полей. Для их создания в электрофильтрах применяют системы электродов типа точка (острие) - плоскость, линия (острая кромка, тонкая проволока) -плоскость или цилиндр.

В поле короны электрофильтра реализуются два различных механизма зарядки частиц. Наиболее важна зарядка ионами, которые движутся к частицам под действием внешнего электрического поля. Вторичный процесс зарядки обусловлен диффузией ионов, скорость которой зависит от энергии теплового движения ионов, но не от электрического поля. Зарядка в поле преобладает для частиц диаметром более 0,5 мкм, а диффузионная – для частиц мельче 0,2 мкм; в промежуточном диапазоне (0,2...0,5 мкм) важны оба механизма.

На практике напряженность поля обычно лежит в пределах 300...600 кВ/м, но может превышать 1000 кВ/м в специальных системах. Ионная плотность имеет порядок $10^{13} \dots 10^{14} \text{ м}^{-3}$, но в специальных случаях может быть значительно выше.

Временная постоянная зарядки t_0 составляет 0,11 секунд при относительно малой ионной плотности 10^{13} м^{-3} и уменьшается до 0,001 с при высоком значении плотности 10^{15} м^{-3} . Если принять время $10t_0$ для практически полного завершения зарядки, то при умеренной плотности ионов 10^{14} м^{-3} время зарядки составит 0,1 с. Это время соответствует длине пути газа в осадителе, равной 0,1...0,2 м, так что зарядка протекает на незначительном расстоянии от входа в электрофильтр.

Напряженность поля, в котором возникает корона, называют начальной или критической. Ее величина во многом зависит от параметров обрабатываемых газов и может составлять для стандартных условий порядка (15...20) кВ/см. Критическое напряжение на электродах $U_{кр}$, при котором появляется коронный разряд, зависит от их геометрии.

Скорость дрейфа (перемещения) взвешенных частиц возрастает с напряжен-

ностью поля, однако при определенном значении напряжения на электродах наступает пробой газового промежутка и возникает дуга. Поэтому оптимальным значением напряжения на электродах считается максимально близкое к пробойному.

Так как электрическая прочность газового промежутка при отрицательной короне выше, чем при положительной, в системах очистки промышленных выбросов подают на коронирующий электрод отрицательное напряжение выпрямленного тока. Однако в отрицательной короне образуется значительное количество озона, который может инициировать в атмосфере множество реакций, приводящих к ее вторичному загрязнению. Электрофильтры для систем вентиляции и кондиционирования воздуха работают только с положительной короной.

Степень очистки газов от дисперсных примесей в электрофильтрах зависит практически от всех параметров газов и взвешенных частиц, от конструктивных характеристик аппаратов, режимов эксплуатации и ряда других факторов. Из свойств дисперсных частиц наиболее очевидно проявляется влияние удельного электрического сопротивления (УЭС), оптимальное значение которого находится в пределах ($10^6 \dots 10^9$) Ом·м. Низкоомные частицы легко заряжаются в электрическом поле, однако с приближением к электроду с противоположным знаком перезаряжаются, и между ними начинают действовать силы отталкивания. Это служит причиной вторичного уноса низкоомных частиц, даже успевших осесть на электрод. Еще менее благоприятные процессы возникают при очистке высокоомных пылей. Оседая на электроды, они образуют неоднородный электроизоляционный слой. По месту наиболее слабой изоляции напряженность поля становится максимальной. Это способствует образованию короны с противоположным знаком ("обратной короны"), резко ухудшающей работу электрофильтра.

В наибольшей мере процесс улавливания пыли в электрофильтре зависит от электрического сопротивления пыли. По величине сопротивления пыли делят на три группы:

- пыль с малым удельным электрическим сопротивлением. $УЭС < 10^4$ Ом·м. Эта пыль, соприкасаясь с осадительным электродом, мгновенно теряет заряд и приобретает заряд в соответствии со знаком электрода. В результате между частицей и электродом возникает отталкивающая сила, направляющая частицу в газовый поток. Если отталкивающая сила преодолет силу сопротивления среды, возникает вторичный унос, снижающий эффективность улавливания пыли в электрофильтре;

- пыли с УЭС в пределах $10^4 \dots 10^{10}$ Ом·м без каких-либо осложнений осаждаются на электродах и удаляются;

- пыли со значительным УЭС $> 10^{10}$ Ом·м. Улавливание этих пылей в электрофильтре представляет наибольшую сложность. Из-за медленной разрядки частиц, оседающих на электроде, на последнем накапливается слой отрицательно заряженных частиц. Возникающее электрическое поле слоя начинает препятствовать дальнейшему осаждению частиц. Эффективность электрофильтра снижается. Возможно явление обратной короны, при котором значительно увеличивается потребляемый ток при снижении напряжения на электродах. Пыли этой группы часто образуют на электродах прочный изолирующий слой, трудно под-

дающийся удалению. Высоким удельным электрическим сопротивлением обладают пыли магнезита, гипса, оксиды свинца и цинка PbO , ZnO , сульфид свинца PbS .

Снижение УЭС пыли достигается добавкой к газу ряда реагентов, например, сернистого ангидрида, аммиака, хлоридов кальция и натрия и др. Такой же результат дает добавление в газ электропроводных частиц сажи или кокса.

Высокое сопротивление ряда пылей может быть понижено охлаждением пылегазового потока ниже $130^{\circ}C$ или его нагреванием свыше $350^{\circ}C$.

Определенное влияние на степень осаждения частиц оказывают их концентрация и дисперсный состав. На входе в электрофильтр частицы могут иметь собственный электростатический заряд, который при их большом количестве (т.е. при высокой счетной концентрации) может заметно влиять на параметры осаждения частиц, снижая напряженность электрического поля в аппарате вплоть до запираания короны. Теоретически наименьший размер улавливаемых частиц в электрофильтрах не ограничен. Однако практически не все частицы в них улавливаются. При очень высокой концентрации высокодисперсных частиц (обычно субмикрометрового диапазона) наступает подавление тока короны объемным электрическим зарядом. Это приводит к тому, что концентрация ионов становится слишком низкой, чтобы обеспечить достаточную зарядку частиц.

Скорость дрейфа частиц в электрическом поле в значительной мере зависит от размеров частиц. Эта зависимость имеет сложный характер ввиду различия механизмов перемещения частиц разных размеров. Считается, что в диапазоне размеров менее $0,1 \dots 0,3$ мкм скорость перемещения частиц в электрическом поле уменьшается с их укрупнением, в диапазоне от $0,3$ до 20 мкм - увеличивается с увеличением диаметра и затем вновь несколько снижается.

Из параметров газового потока наибольшее влияние на осаждение оказывают влажность и температура. Со снижением температуры уменьшается вязкость газов, вследствие чего они оказывают меньшее сопротивление перемещению взвешенной частицы к электроду. С понижением температуры растет устойчивость коронного разряда, что позволяет работать при более высокой напряженности электрического поля. Кроме того, с охлаждением обрабатываемого потока растет его относительная влажность, что ведет к понижению УЭС частиц вследствие их увлажнения.

Очень важным фактором, связанным практически со всем процессом электроосаждения, является скорость газового потока. От нее непосредственно зависят время пребывания частиц в аппарате и его габариты.

При слабом течении газа, слишком большой скорости газа или плохих условиях удержания может происходить унос осажденных частиц. Частицы, унесенные с осадительного электрода, в случае отрицательной короны приобретут положительный заряд вследствие эмиссии. Эти частицы могут не подвергаться перезарядке или перезарядиться только частично. В любом случае частицы будут вынесены из электрофильтра, что существенно снизит эффективность улавливания. При скоростях потока более $(1 \dots 1,5)$ м/с резко растет вторичный унос пыли с электродов. Очень важно в связи с этим обеспечить равномерное распределение потока по сечению аппарата с тем, чтоб локальные скорости в межэлектродных промежутках ненамного отличались от средней скорости.

Определенное влияние на эффективность обработки газов оказывают конструктивные особенности тех или иных типов электрофильтров.

Электрофильтры работают как под разрежением, так и под избыточным давлением. Система пылеулавливания, в которой применен электрофильтр, может быть полностью автоматизирована.

5.2. Конструкции электрофильтров

Аппараты для очистки газов этим методом называют электрофильтрами. Основными элементами электрофильтров являются: газоплотный корпус с размещенными в нем коронирующими электродами, к которым подводится выпрямленный ток высокого напряжения, и осадительными заземленными электродами, изоляторы электродов, устройства для равномерного распределения потока по сечению электрофильтра, бункера для сбора уловленных частиц, системы регенерации электродов и электропитания.

Конструктивно электрофильтры могут быть с корпусом прямоугольной или цилиндрической формы. Внутри корпусов смонтированы осадительные и коронирующие электроды, а также механизмы встряхивания электродов, изоляторные узлы, газораспределительные устройства.

Часть электрофильтра, в которой размещены электроды, называют активной зоной (реже - активным объемом). В зависимости от числа активных зон известны электрофильтры однозонные и двухзонные. В однозонных электрофильтрах коронирующие и осадительные электроды в пространственном отношении, конструктивно не разделены. В двухзонных электрофильтрах имеется четкое разделение. Для санитарной очистки запыленных выбросов используют однозонные конструкции с размещением коронирующих и осадительных электродов в одном рабочем объеме. Двухзонные электрофильтры с отдельными зонами для ионизации и осаждения взвешенных частиц применяют в основном при очистке приточного воздуха. Связано это с тем, что в ионизационной зоне происходит выделение озона, поступление которого не допускается в воздух, подаваемый в помещения.

В зависимости от направления движения газа электрофильтры подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Вертикальные аппараты занимают в плане значительно меньше места, но при прочих равных условиях коэффициенты очистки в них ниже. Активная длина поля вертикального электрофильтра совпадает с активной высотой его электродов.

По мере осаждения пыли на электродах понижается эффективность пылеулавливания. Во избежание этого явления и поддержания оптимальной эффективности электрофильтров электроды периодически очищают от пыли встряхиванием или промывкой. Соответственно электрофильтры подразделяются на сухие и мокрые.

К мокрым относят аппараты, улавливающие жидкие или значительно увлажненные твердые частицы, а также электрофильтры, электроды которых очищаются самотеком (конденсатом уловленного жидкого аэрозоля) или посредством смывки осевших частиц жидкостью. К сухим относят электрофильтры, улавливающие сухие твердые частицы, которые удаляют с электродов посредством встряхивания через определенные промежутки времени.

Все мокрые электрофильтры, нашедшие применение в промышленности, имеют вертикальную компоновку. Сухие аппараты могут быть как вертикальными, так и горизонтальными. Преимущественное применение среди сухих электрофильтров имеют аппараты с горизонтальным ходом газа - горизонтальные многопольные аппараты, в которых очищаемый газ проходит последовательно через несколько электрических полей.

В зависимости от формы осадительных электродов известны электрофильтры трубчатые и пластинчатые (рис. 5.2). Трубчатые электрофильтры состоят из большого числа элементов, имеющих круглое или сотообразное сечение. По оси трубчатого элемента расположен коронирующий электрод. В пластинчатом электрофильтре имеется большое количество параллельных пластин. Между ними находятся натянутые коронирующие электроды.

Формы осадительных и коронирующих электродов могут быть самыми разнообразными. Коронирующие электроды могут набираться из тонких круглых или толстых шестигранных стержней, стальных пилообразных полос, профилированных лент с игольчатой выштамповкой. Иногда применяются и другие формы. Осадительные электроды сухих фильтров выполняют в виде профилированных пластин, желобов, реж - коробок с круглыми или сложными вырезами для лучшего удержания осажденной пыли от вторичного уноса. В мокрых электрофильтрах проблема вторичного уноса незначительна, поэтому электроды выполняют в виде наборов прутков и гладких пластин, что позволяет легко смывать осадок.

Электроды сухих фильтров встряхивают соударением или при помощи специальных ударно-молотковых механизмов. Соударения применяют в основном для встряхивания коробчатых электродов. Остальные типы коронирующих и осадительных электродов встряхивают ударами вращающихся молотковых механизмов по наковальням, прикрепленным к этим электродам.

Промывка электродов в мокрых электрофильтрах может производиться периодически или непрерывно. Для периодической промывки подают большое количество воды или другой промывной жидкости на электроды (в активную зону) при отключенном напряжении. На время промывки секции подачи газа прекращают.

Переток неочищенного газа мимо активной зоны даже в небольшом количестве может заметно ухудшить степень очистки. В горизонтальных фильтрах неактивные зоны расположены над и под электродной системой (включая бункера), а также в промежутках между крайними осадительными электродами и корпусом. В вертикальных пластинчатых фильтрах неактивны промежутки между осадительными электродами и корпусом. В вертикальных трубчатых аппаратах неактивные зоны можно устранить полностью. В пластинчатых конструкциях зазоры необходимы для встряхивания электродов и соблюдения пробойных промежутков. Поэтому в таких электрофильтрах предусматривают клапаны (щитки), создающие лабиринтное уплотнение и снижающие перетоки газа.

Скорость очищаемого газа в активной зоне является одной из основных характеристик электрофильтра. Наибольшую величину электрического заряда частицы размером до 1 мкм получают за время нахождения в электрическом поле около 1 с. Скорость принимают в зависимости от конструкции электрофильтра.

Так, в сухих электрофильтрах ее значение находится обычно в пределах 0,8... 1,7 м/с. Должно быть обеспечено равномерное распределение скорости очищаемого газа по сечению аппарата. Для выравнивания скоростного поля в электрофильтре устанавливают решетки, направляющие лопатки, перфорированные пластины.

Широкое распространение в промышленности получили электрофильтры типа УГ, ЭГА и др. Эти аппараты применяют на тепловых электростанциях, в черной и цветной металлургии, химической промышленности, на предприятиях строительных материалов.

Для промышленной газоочистки из аппаратов отечественного производства могут быть рекомендованы электрофильтры общего назначения типов ЭГА, ЭГТ (горизонтальные сухие), УВ, ЭВВ (вертикальные сухие), а также ряд специализированных типов электрофильтров.

Электрофильтры серии ЭГА предназначены для обеспыливания неагрессивных невзрывоопасных газовых выбросов с температурой до 330°C. Корпуса аппаратов стальные, имеют прямоугольную форму. Корпус аппарата стальной теплоизолированный, имеет прямоугольную форму и рассчитан на разрежение до 4 кПа, в аппарате имеется 3 электрических поля, расположенных последовательно по ходу газа. Осадительные электроды представляют собой плоские полотна, набранные из прутков, а коронирующие - проволочные (диаметр проволоки 2,2 мм), натянутые при помощи грузов между осадительными. Длина одного активного поля 2,5 м, ширина 5,97 м (ширина корпуса 6,0 м), высота 7,74 м, расстояние между соседними осадительными электродами 260 мм. Уловленная пыль удаляется с электродов механическим встряхиванием посредством ударов молотков по наковальням осадительных и рамам подвеса коронирующих электродов. Аппараты ОГП изготавливались четырехпольными с активной высотой 4,5 м, длиной 1,5 м, шириной поля 2,17 (ОГП-4-8) и 3,98 м (ОГП-4-16), а ширина корпуса составляла 2,20 и 4,0 м. Допустимое разрежение в аппарате 1,5 кПа.

Электрофильтры серии ЭГТ (рис. 5.3) предназначены для очистки неагрессивных, невзрывоопасных газов с температурой до 450°C.

Их основное отличие от аппаратов предыдущих серий заключается в конструкции осадительных электродов, которые аналогичны применяемым в электрофильтрах серии ЭГА. Высота коронирующих электродов 8040 мм. Корпус аппарата рассчитан на разрежение до 4 кПа. Маркировка электрофильтров серии ЭГТ означает: электрофильтр горизонтальный высокотемпературный, первое число после букв указывает номер (габарит) типоразмерного ряда; второе - количество полей, третье - длину одного поля, м; четвертое - площадь активного сечения, м².

Электрофильтры марки ЭГ2-2-4-37 СРК (рис. 5.4) предназначены для очистки газов содорегенерационных котлоагрегатов. Электрофильтры односекционные, с двумя последовательными по ходу газа электрическими полями. Коронирующие электроды представляют собой трубчатые рамы, в которых закреплены коронирующие элементы; осадительные электроды выполнены в виде плоских полотен, набранных из пластинчатых элементов специального профиля. Расстояние между соседними осадительными электродами 300 мм, высота электродов 7200 мм, ширина поля 6000 мм.

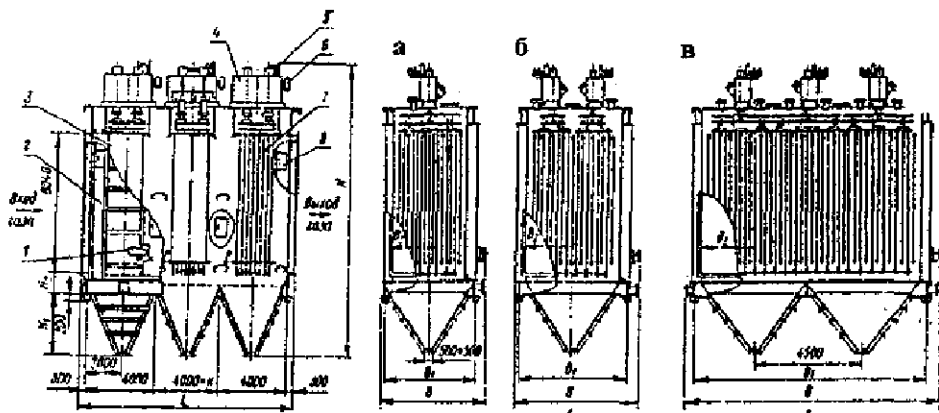


Рис. 5.3. Электрофильтр типа ЭГТ: а – электрофильтры ЭГТ2-3-2,5-20 и ЭГТ2-4-2,5-20; б – электрофильтры ЭГТ2 - 3-2,5-30, ЭГТ2 - 4-2,5-30, ЭГТ 2 - 3-2,5-40 и ЭГТ2 -4-2,5-40; в – электрофильтры ЭГТ2 - 3-2,5-60 и ЭГТ2 - 4-2,5-60; 1 - механизм встряхивания осадительных электродов; 2 - корпус; 3 - осадительный электрод; 4 - изоляторная коробка; 5 - механизм встряхивания коронирующих электродов; 6 - защитная коробка для подвода тока; 7 - коронирующий электрод; 8 - люк обслуживания.

Маркировка электрофильтра означает: электрофильтр горизонтальный; первое число обозначает номер типоразмера (габарит) осадительного электрода, второе - количество полей, третье - активную длину поля, м; четвертое - площадь активного сечения, м². Гидравлическое сопротивление фильтра 200 Па, разрежение в электрофильтре 3000 Па, пропускная способность по газу при скорости 1 м/с - 37 м³/с, температура очищаемых газов 130...250°С, ориентировочная степень очистки газов содорегенерационных котлоагрегатов 98%.

Электрофильтры типа УГМ (рис. 5.5) используются для обеспыливания неагрессивных и невзрывоопасных технологических газовых выбросов с температурой до 250°С. Аппараты односекционные, с двумя электрическими полями по ходу газов. Корпуса электрофильтров прямоугольные, теплоизолированные, рассчитаны на разрежение до 4 кПа. Осадительные электроды представляют собой плоские полотна, набранные из пластинчатых элементов специального профиля. Расстояние между соседними осадительными электродами 275 мм. Коронирующие электроды составлены из ленточно-игольчатых элементов, натянутых в трубчатых рамах. Высота электродов 3000 мм, ширина корпуса 1500 мм (УГМ-2-3,5) и 3000 мм (УГМ-2-7). Пыль с электродов удаляется механическим встряхиванием. Маркировка электрофильтров обозначает: унифицированный горизонтальный малогабаритный; первое число - количество полей, второе - площадь активного сечения, м².

Электрофильтры ЭГ-КЭН предназначены для обеспыливания газов, содержащих высокоомные дисперсные частицы с УЭС в пределах 10⁸...10¹⁰ Ом·м. Степень очистки газов в них может достигать 99,75%. Электрофильтры изготавливаются двух типоразмеров с маркировкой ЭГ-2-3-3,8-17-0,4 КЭН и ЭГ-2-4-2,5-

77-05 КЭН, которая означает: электрофильтр горизонтальный, первое число после букв обозначает типоразмерный (габаритный) номер, второе - количество полей, третье - активную длину поля, м, четвертое - площадь активного сечения, м², пятое - модификацию; аббревиатура "КЭН" означает "комбинированные электроды НИИОГаз". Аппараты имеют высоту электродов 6000 и 7150 мм, ширину 3200 и 11810 мм, производительность при скорости газов в 1 м/с - 16,7 и 77,8 м³/с, допустимые пределы температур 330 и 250°С соответственно. Гидравлическое сопротивление электрофильтров составляет 200 Па, максимально допустимое разрежение - 5 кПа. Расстояние между соседними осадительными электродами 300 мм. Коронирующие электроды набираются из профилированных лент и создают электрическое поле со сложным характером изменения напряженности. Уловленная пыль удаляется механическим встряхиванием электродов.

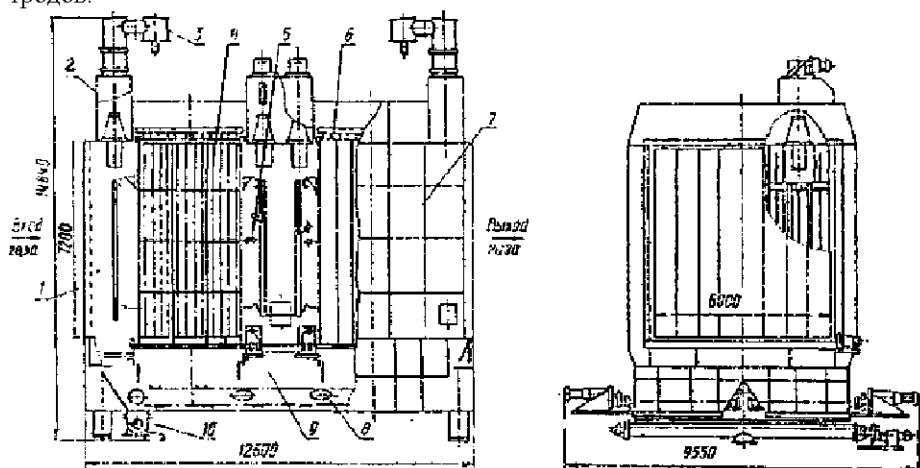


Рис. 5.4. Электрофильтр ЭГ2 - 2 - 4 - 37 СРК: 1 - газораспределительная решетка; 2 - изоляторная коробка; 3 - защитная коробка для подвода тока; 4 - коронирующий электрод; 5 - механизм встряхивания коронирующих электродов; 6 - осадительный электрод; 7 - корпус; 8 - скребковый конвейер; 9 - механизм встряхивания осадительных электродов; 10 - шнековый конвейер.

Ряд конструктивных характеристик горизонтальных электрофильтров, предназначенных для сухой очистки газов от пылей, приведен в табл. 5.1.

Вертикальные сухие электрофильтры типа УВ (рис. 5.6) могут применяться для обеспыливания неагрессивных и невзрывоопасных технологических газовых выбросов с температурой до 250°С. Электрофильтры однополюсные, используются при низкой запыленности (до 30 г/м³), в пределах оптимальных значений удельного сопротивления пыли. В частности, они находят применение при очистке аспирационного воздуха электролизных цехов алюминиевых заводов.

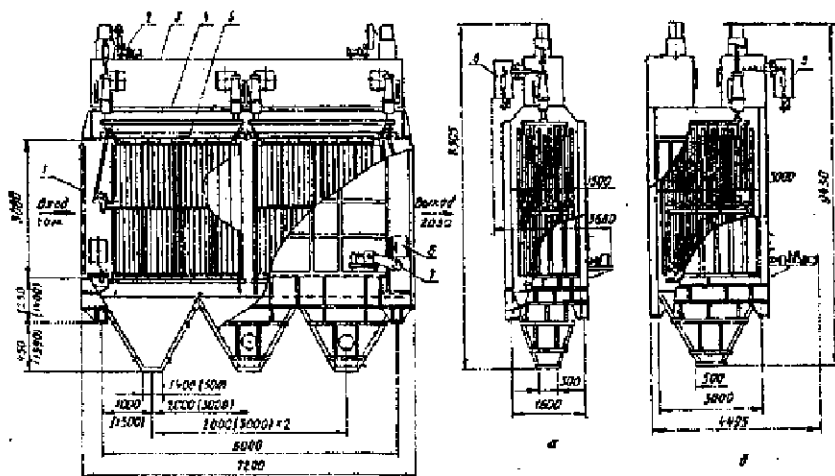


Рис. 5.5. Электрофильтры типа УГМ (исполнение корпуса - П): а - электрофильтр УГМ-2 - 3,5; б - электрофильтр УГМ-2 - 7; 1 - газораспределительная решетка; 2 - механизм встряхивания коронирующих электродов; 3 - корпус; 4 - осадительный электрод; 5 - коронирующий электрод; 6 - люк обслуживания; 7 - механизм встряхивания осадительных электродов; 8 - защитная коробка для подвода тока.

Таблица 5.1. Конструктивные характеристики горизонтальных электрофильтров.

Марка и типоразмер электрофильтра	Площадь активной сечения, м ²	Общая площадь осаднения, м ²	Габариты, м		
			длина	ширина	высота
ЭГА1-10-4-4-2	11	430	9,26	4,84	10,41
ЭГА1-10-4-6-2		645	11,82		11,41
ЭГА1-10-4-6-3		967	17,28		11,41
ЭГА1-10-6-4-2	16,5	635	9,26	4,89	12,41
ЭГА1-10-6-4-3		952	13,44		12,41
ЭГА1-10-6-6-2		952	11,82		13,41
ЭГА1-10-6-6-3		1430	17,28		
ЭГА1-14-7,5-4-3	28,7	1656	13,44	6,15	13,91
ЭГА1-14-7,5-4-4		2210	17,62		14,91
ЭГА1-14-7,5-6-2		1656	11,82		
ЭГА1-14-7,5-6-3		2485	17,28		
ЭГА1-20-7,5-4-3	41	2366	13,44	7,95	15,41
ЭГА1-20-7,5-4-4		3157	17,62		
ЭГА1-20-7,5-6-2		2366	11,82		
ЭГА1-20-7,5-6-3		3550	17,28		

ЭГА1-20-9-6-2		2827	11,82	
ЭГА1-20-9-6-3	49	4243	17,28	16,91
ЭГА1-20-9-6-4		5660	22,74	

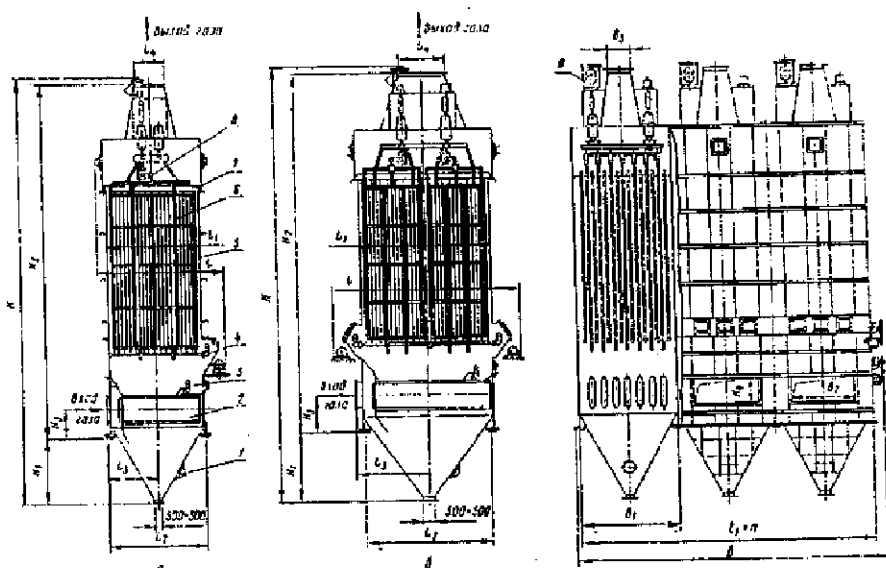


Рис. 5.6. Электрофильтры типа УВ: а - электрофильтры УВ 2×10, УВ 1×16 и УВ 2×16; б - электрофильтры УВ 2×21, УВ 3×21; 1 - люк обслуживания; 2 - газораспределитель; 3 - механизм встряхивания газораспределителя; 4 - механизм встряхивания осадительных электродов; 5 - корпус; 6 - коронирующий электрод; 7 - осадительный электрод; 8 - механизм встряхивания коронирующих электродов; 9 - защитная коробка для подвода тока.

Электрофильтры могут быть одно-, двух- или трехсекционными. Корпуса прямоугольные, теплоизолированные. Секции аппаратов разделены сплошными перегородками. Ширина секции аппаратов УВ 2×24 и УВ 3×24 составляет 6,1 м, остальных - 4,25 м. Движение газов в каждой секции организовано снизу вверх. Разрежение в аппарате до 3,5 кПа. Осадительные электроды выполнены в виде пластинчатых полотен. Расстояние между соседними осадительными электродами 275 мм. Коронирующие электроды представляют собой трубчатые рамы, в которых натянуты ленточно-зубчатые элементы. Активная длина поля (высота электродов) 7,5 м. Удаление пыли с электродов осуществляется встряхиванием. Маркировка электрофильтра означает: унифицированный вертикальный; первое число после букв - количество секций, второе - площадь активного сечения одной секции, м².

Некоторые конструктивные характеристики сухих вертикальных электрофильтров приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Конструктивные характеристики сухих вертикальных электрофильтров

Марка электрофильтра	Площадь активного сечения, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габариты, м		
			Длина	Ширина	Высота
УВ2×21,6	1200	5,75	6,69	20,15	
УВ3×32,4	1800	5,75	9,69	20,15	
УВ2×16	900	5,75	5,19	20,15	
УВ2×16 32	1800	5,75	9,69	20,15	
УВ2×24 48	2640	8,15	9,69	21,7	
УВ3×24 72	3960	8,15	14,19	21,7	

Мокрые электрофильтры ЭВМ (рис. 5.7) предназначены для улавливания туманов и капель серной кислоты с концентрацией (5...20) % об. в присутствии следов оксидов мышьяка, селена, соединений фтора. Электрофильтры выполняются вертикальными однополюсными и односекционными. Корпус стальной цилиндрический, футеруется изнутри на месте монтажа кислотоупорными материалами.

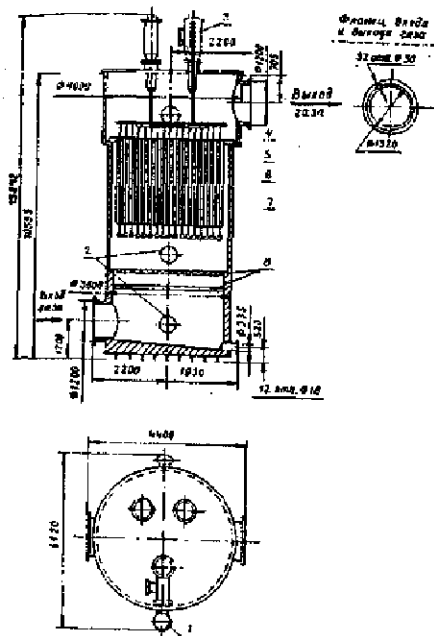


Рис. 5.7. Мокрый электрофильтр типа ЭВМ: 1 - защитная коробка для подвода тока; 2 - люк обслуживания; 3 - изоляторная коробка; 4 - коронирующий электрод; 5 - осадительный электрод; 6 - корпус; 7 - футеровка корпуса; 8 - газораспределительная решетка.

Осадительные электроды выполнены из полимерных токопроводящих пластин, имеющих повышенную теплопроводность. Коронирующие электроды изготавливают из освинцованного провода. Маркировка электрофильтра означает:

электрофильтр вертикальный мокрый.

Степень улавливания диспергированного вещества при концентрации на входе от 3 до 5% в пересчете на 100%-ю серную кислоту и двухступенчатой очистке достигает 99,7%. Допускается работа электрофильтра под разрежением до 6 кПа. Температура очищаемого газа 20... 45°C. При скорости газового потока 1 м/с пропускная способность составляет 6,8 м³/с, а сопротивление аппарата - около 100 Па. Площадь активного сечения 6,8 м², площадь осаждения 218 м². Активная длина поля (высота электродов) 3,5 м, диаметр аппарата 3,6 м.

Контрольные вопросы.

1. Назначение, устройство и принцип действия электрической очистки газов.
2. Назначение, устройство и принцип действия электрофильтров.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Лекция 6.

Совершенствование процессов и аппаратов для пылегазоочистки

План лекции.

Требования к эффективности процессов очистки аэрозолей.

Специализация аппаратов.

Предварительная обработка аэрозолей.

Режимная интенсификация.

Конструктивно-технологическое совершенствование.

Многоступенчатая очистка.

Краткие характеристики пылеуловителей.

Требования к эффективности процессов очистки аэрозолей, особенно пылеулавливания, постоянно повышаются по мере ужесточения нормативных требований к чистоте атмосферного воздуха и воздуха в помещениях производственных и гражданских зданий, а также с появлением новых технологий, применением новых материалов и, следовательно, с поступлением в воздух соответствующих выбросов.

Современные санитарно-технические средства обработки технологических газовых выбросов не обеспечивают их полного обезвреживания или восстановления первоначального качества воздуха, использованного в производственном цикле. Поэтому отработанные газы всегда вносят в атмосферу часть отходов производства. Тем не менее, при определении задач проектирования и подборе средств очистки необходимо исходить из идеальной модели, придерживаясь принципа запрета на изменение качества атмосферного воздуха в процессе производства.

На этапе подбора вариантов и поиска средств очистки нет необходимости

стремиться к достижению технической простоты или экономической целесообразности решения. Творческий поиск решений становится все более необходимым проектировщикам, так как в последнее время все чаще приходится разрабатывать нетиповые устройства, или же основательно дорабатывать существующие установки по причине их низкой эффективности, морального устаревания или несовпадения параметров технологических процессов ввиду большого разнообразия последних.

Простые методы обработки выбросов современных производственных процессов скорее всего не обеспечат надлежащей степени очистки, предотвращающей ощутимый ущерб окружающей среде. Так, например, простые пылеуловители - осадительные камеры, жалюзийные решетки, циклоны могут быть удачно применены в двухступенчатой схеме очистки для предварительной обработки выбросов. Однако следовало бы отказаться от использования мультициклонов в качестве единственного средства очистки дымовых газов парогенераторов электростанций. Объемы выбросы теплоэнергетических установок достигают 400... 500 м³/с, и поэтому проскок загрязнителя в 1... 2% может представлять серьезную опасность окружающей среде, в то время как мультициклоны обеспечивают степень очистки не более, чем на 85... 90%.

При постановке задачи проектирования должны быть охвачены все загрязнители, которые могут присутствовать в выбросах, для чего необходимо тщательно проанализировать состав выбросов, выделив нейтральную часть и компоненты, которые могут нанести ущерб окружающей среде.

Наиболее сложны для очистки выбросы, загрязнители которых представляют многофазную систему. Поскольку большинство современных очистных аппаратов не приспособлено для одновременного обезвреживания дисперсных и гомогенных загрязнителей, то в общем случае подобные выбросы должны пройти последовательно 4 стадии обработки: предварительную и тонкую очистку от аэрозоля и затем предварительное и окончательное обезвреживание газообразного загрязнителя. В частности, если газообразный загрязнитель хорошо растворяется в воде, может быть организована предварительная обработка выбросов мокрыми способами, которая позволит понизить концентрации как дисперсных, так и гомогенных загрязнителей.

При обработке выбросов, содержащих твердые аэрозольные загрязнители, низких величин проскока (1... 2% и менее) можно достичь, как правило, только двухступенчатой очисткой. Для предварительной очистки могут быть применены жалюзийные решетки и циклонные аппараты (иногда для небольших выбросов - пылеосадительные камеры), а для окончательной - пористые фильтры, электрофильтры или мокрые пылеосадители.

Жидкие аэрозоли (туманы) могут быть скоагулированы посредством изменения параметров состояния (охлаждения и повышения давления) с целью осаждения в последующем с использованием как правило мокрых способов улавливания в мокрых скрубберах, пористых и электрических фильтрах, в абсорберах.

Мокрые способы очистки твердых и жидких аэрозолей имеют существенный недостаток - необходимость отделения уловленного загрязнителя от улавливающей жидкости. По этой причине мокрые способы следует применять только при отсутствии других методов очистки, отдавая предпочтение способам с

минимальным расходом жидкости.

Существует несколько направлений совершенствования пылеуловителей и систем пылеулавливания с целью повышения эффективности очистки воздуха (газов) от пыли.

6.1. Специализация аппаратов.

Универсальных пылеуловителей, т.е. способных эффективно улавливать все виды пылей, не существует. Аппарат эффективен лишь по отношению к определенным видам пыли. При улавливании пылей с другими свойствами он не эффективен и даже может произойти нарушение его работы. Перспективными являются аппараты, специально разработанные для улавливания пылей с определенными свойствами.

Например, наиболее перспективными областями применения тканевых фильтров являются:

- тонкая очистка сбрасываемых в атмосферу топочных газов от золы на тепловых электростанциях, сжигающих каменные угли с низким содержанием серы;
- применение фильтров с высокой производительностью, в которых используется импульсный метод регенерации в цементном производстве, на предприятиях черной и цветной металлургии, в производстве абразивов и других отраслей промышленности, где имеются высокие концентрации тонкодисперсных пылей;
- использование тканевых фильтров для одновременного улавливания газообразных загрязнителей (SO_2 , HF и др.) за счет нанесения сорбирующих порошков на поверхность рукавов с целью обеспечения работоспособности фильтров и санитарной очистки газов.

6.2. Предварительная обработка аэрозолей.

Для обеспечения эффективной очистки отработанного воздуха и газов необходимо в каждом конкретном случае произвести подготовку подлежащих очистке газоздушных выбросов с таким расчетом, чтобы технологические параметры газов соответствовали оптимальным характеристикам газоочистных аппаратов. Подготовку отработанного газа к очистке от взвешенных частиц обычно проводят в следующих направлениях

- укрупнение размеров частиц с помощью различных механизмов коагуляции;
- снижение концентрации взвешенных частиц посредством предварительной очистки газов в простых неэнергоёмких аппаратах;
- охлаждение запыленных газов;
- увлажнение запыленных газов в случае применения электрической или мокрой систем очистки.

Укрупненная пыль может эффективно улавливаться ранее применяемыми или другими, более простыми аппаратами, например, циклонами. Укрупнение пыли может производиться путем турбулизации, ионизации или акустической обработки пылегазового потока.

Характерным примером эффективной турбулизации в сочетании с увлажне-

нием является обработка пыли в трубе Вентури.

Имеется положительный опыт применения ионизации и акустической обработки пылегазового потока. Ранее использование акустической обработки сдерживало отсутствие экономичных сирен. Ультразвуковые сирены имели низкий к.п.д., и их применение было нерентабельным. Разработка эффективных сирен слышимого диапазона позволяет более широко применять акустический метод. Ионизация не требует значительных затрат и дает хорошие результаты.

Кондиционирование (подготовка) газов перед очисткой осуществляется либо с целью интенсификации процессов в основных газоочистительных аппаратах, либо для обеспечения нормальной их эксплуатации.

Существует четыре способа кондиционирования.

1. Охлаждение газов. Верхний предел температуры определяется в основном материалами, из которых изготовлены аппараты. Для электрофильтров это материал электродов и корпуса. В некоторых типах электрофильтров температура газов определяется конструкцией коронирующей системы. Жесткая (рамная) конструкция не допускает сильного нагрева, поскольку возможно коробление. В рукавных фильтрах максимум температуры определяется термостойкостью ткани.

2. Подогрев газов применяется для исключения конденсации паров воды и кислот.

3. При увлажнении чрезмерно сухих газов улучшаются свойства промежутка между коронирующими и осадительными электродами в электрофильтрах и снижается удельное электрическое сопротивление (УЭС) пыли.

4. Введение в газовый поток специальных добавок (аммиак, серный ангидрид и др.), интенсифицирующих процесс в электрофильтрах.

В практике газоочистки находят широкое применение три первые способа.

Охлаждение газа может осуществляться путем подсоса наружного воздуха на возможно большем удалении от аппарата, который нуждается в охлаждении газа, или, если это невозможно, то сразу после места подсоса следует разместить перемешивающее устройство, например, в виде закручивателя потока, турбулизатора или циклона.

Подогрев газа может производиться путем сжигания топлива в отдельной топке с последующим вдуванием продуктов горения в поток кондиционируемого газа.

Распространенным способом кондиционирования газов является использование скрубберов полного испарения. Они в основном применяются перед электрофильтрами, реже - перед рукавными фильтрами.

Один из способов повышения степени улавливания аэрозольных частиц в мокрых пылеуловителях - использование эффекта конденсации, происходящей при охлаждении горячих газов, предварительно насыщенных водяным паром. При конденсации пар диффундирует в сторону капли и увлекает с собой наиболее мелкие частицы. Кроме того, частицы обволакиваются пленкой конденсата, благодаря чему улучшается их контакт с каплями. Конденсация водяных паров благоприятно сказывается и на эффективности мокрых пылеуловителей, поверхность осаждения в которых образуют пузырьки (тарельчатые аппараты, газопромыватели с подвижной шаровой насадкой и др.). Если предполагается ис-

пользовать эффект конденсации, на тракте газоочистки предусматривается устройство для введения в горячий поток газа (аэрозоля) тонкораспыленной воды. Это может быть вертикальный полый скруббер, рассчитанный на полное испарение, горизонтальная камера с оросителем, либо орошаемый участок пылегазопровода.

Эффективность мокрых аппаратов при улавливании субмикронных частиц пыли может быть существенно увеличена путем предварительной зарядки взвешенных частиц. Наилучшие результаты при использовании метода электризации в мокром пылеулавливании достигаются при разноименной зарядке частиц и капель орошающей жидкости. Положительный эффект достигается при предварительной электрической зарядке улавливаемых частиц и капель орошающей жидкости путем размещения ионизатора в зоне, где начинается контакт аэрозоля с каплями. Если относительная скорость частиц и капель невелика, то параметр электростатического осаждения может превзойти параметр инерционного осаждения. Если аэрозоль пропускается через электрофильтр с последующим доулавливанием остатка в мокром аппарате, то заряд, полученный частицами в электрофильтре, заметно повышает эффективность доулавливания.

В качестве интенсификаторов пылеулавливания в некоторых случаях применяются поверхностно-активные вещества, улучшающие смачиваемость гидрофобных частиц. Смачиватели способствуют растеканию воды в виде сплошной пленки по поверхности осаждения, и поэтому частицы, ударившись о поверхность, не могут быть сдуты с нее, как с сухой стенки.

Специальными способами интенсификации работы электрофильтров можно считать мероприятия, связанные с УЭС пыли. Оптимальным считается УЭС в пределах примерно от 10^5 до 10^{10} Ом·см. При меньших значениях УЭС пыль мгновенно разряжается на осадительных электродах, отрывается от них и вторично уносится потоком газа. Высокие значения УЭС особенно $10^{11} \dots 10^{13}$ Ом·см, наоборот, способствуют формированию на электродах неотряхиваемого слоя пыли, что приводит к различным осложнениям, результатом которых является резкое падение степени улавливания. В большинстве случаев максимуму УЭС соответствует температура в интервале от 100 до 200 °С. Технологический процесс очистки должен быть рассчитан так, чтобы электрофильтр работал в температурном режиме, обеспечивающем максимально возможное удаление от пика УЭС.

Интенсификация электростатического пылеулавливания достигается также путем ликвидации «запирания короны», которая возникает при подаче в электрофильтр высококонцентрированного тонкодисперсного аэрозоля. Из-за малой скорости дрейфа мелкие частицы не успевают отходить от коронирующих электродов и препятствуют нормальному развитию короны. Избежать запирания короны можно применением электродов с коронирующих электродов с фиксированными точками разряда и, в основном, улавливанием части пыли для снижения концентрации аэрозоля на подходе к электрофильтру.

Одним из способов интенсификации работы электрофильтров является введение в газовый поток специальных добавок (аммиака, хлоридов натрия и калия), что позволяет снизить остаточную запыленность в 5 раз и снизить УЭС пыли в 2... 6 раз.

6.3. Режимная интенсификация.

Суть этого способа интенсификации заключается в том, что работа газоочистительного аппарата доводится до возможно более напряженных режимов, исходя из свойств очищаемого газа и улавливаемого продукта.

Например, в горизонтальном электрофильтре в каждом поле автоматически поддерживается подпробойный режим, т.е. электрические параметры, создаваемые агрегатом питания, постоянно находятся на уровне, выше которого происходят часто повторяющиеся искровые пробои между коронирующими и осадительными электродами.

В трубе Вентури режимная интенсификация может быть достигнута увеличением либо скорости газа в горловине, либо удельного расхода орошающей жидкости.

Режим циклонного процесса можно интенсифицировать, просто увеличив скорость газа в циклоне. Однако при этом энергозатраты растут пропорционально квадрату скорости газа, а степень очистки значительно медленнее. К тому же, для каждого типа циклона существует некоторый верхний предел скорости, при превышении которого энергозатраты быстро растут, а степень очистки не только не увеличивается, но в ряде случаев падает из-за вторичного уноса частиц.

Режим фильтрации аэрозоля через ткань можно сделать более напряженным, увеличив скорость фильтрации, но только до пределов, выше которых начинается «проскок» частиц через ткань. При этом возрастает гидравлическое сопротивление фильтра и снижается срок службы ткани.

6.4. Конструктивно-технологическое совершенствование.

На основании опыта эксплуатации, результатов натуральных и экспериментальных исследований выбирают оптимальное соотношение частей пылеуловителей, вводят новые элементы, способствующие более эффективному пылеулавливанию.

В конструкцию газоочистительного аппарата вносят усовершенствования, способствующие интенсификации происходящих в нем процессов, например, в электрофильтрах взамен гладких проволочных коронирующих электродов применяют игольчатые или пилообразные. Интенсивность и равномерность коронного разряда у игольчатых или пилообразных электродов значительно выше, чем у гладких.

Конструктивная интенсификация тканевой фильтрации идет по пути внедрения новых методов регенерации рукавов в рукавных фильтрах (импульсная, струйная регенерация), создания новых фильтровальных тканей с более широким диапазоном применения и лучшими фильтрующими свойствами, а также дополнения фильтрации предварительной электризацией пыли.

Интенсификация циклонного процесса в основном связана с совершенствованием конфигурации конструктивных элементов циклонов (корпуса, входного патрубка, верхней крышки, выхлопной трубы).

В мокрых методах очистки прежде всего подвергаются конструктивному усовершенствованию устройства для распыла жидкости, а также устройства, от которых зависит характер контакта очищаемого газа с жидкостью. Например,

дополнение конструкции пенного аппарата стабилизатором пены позволило в полтора-два раза повысить скорость газа в аппарате без ущерба для степени очистки и без нарушения структуры пенного слоя. Равномерное распределение газов по сечению аппарата оказывает существенное влияние на эффективность работы мокрых пылеуловителей, имеющих невысокое гидравлическое сопротивление (до 400 Па), т.е. прежде всего на работу полых скрубберов. Не менее важно для нормальной работы мокрых пылеуловителей равномерное распределение газов по отдельным аппаратам при их параллельном соединении.

6.5. Многоступенчатая очистка.

При современных требованиях к чистоте воздуха одноступенчатая очистка в большинстве случаев не может обеспечить его необходимого обеспыливания. В основном должна применяться многоступенчатая очистка. Для этого необходим рациональный подбор пылеуловителей с учетом всех факторов: требование к качеству воздуха, свойства, ценность улавливаемой пыли и возможность ее использования, наличие энергетических, водных ресурсов, экономические показатели и др.

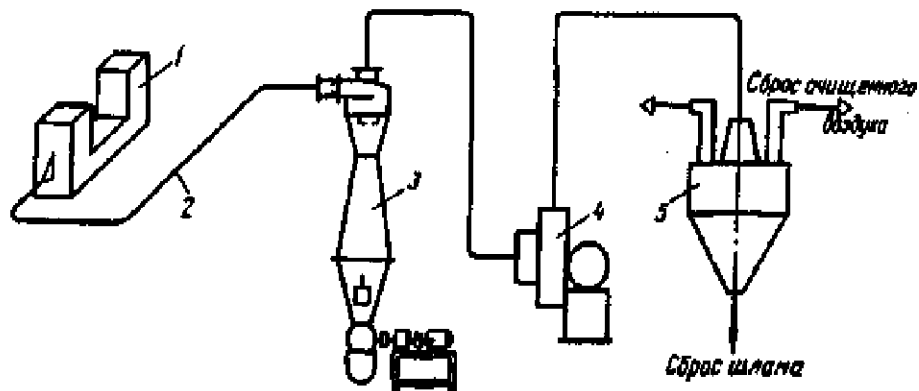


Рис. 6.1. Схема двухступенчатой очистки воздуха от пыли: 1 - пневмат; 2 - воздуховод; 3 - циклон с конусом-коагулятором; 4 - вентилятор; 5 - мокрый пылеуловитель.

6.6. Краткие характеристики пылеуловителей

Конструктивные и эксплуатационные особенности аппарата	Условия применения
<i>Сухой горизонтальный электрофильтр</i>	
Конструктивно сложнее и дороже других аппаратов. Металлоемок. Требуется квалифицированное обслуживание. Резко реагирует на нерегламентные изменения состава и характеристик очищаемых га-	В разных модификациях применим до 350...400°C. Хорошо улавливает пыли с УЭС 10^4 - 10^{10} Ом см. Характерная скорость газа 0,8-1,2 м/с. время пребывания газа в активной зоне

зов.	8-20 с; остаточная запыленность 50-150 мг/м; присутствие газов конденсата недопустимо.
<i>Сухой вертикальный электрофильтр</i>	
Особенности в основном те же, что и у горизонтального фильтра, но главным отличием является только одно поле против двух или более у горизонтального.	Используется на стесненных площадках, а также для очистки взрывоопасных смесей. Характерная скорость газа 0,7-0,8 м/с. время пребывания газа в активной зоне 7-10 с. Остаточная запыленность в 1,5...2 раза выше, чем у горизонтального фильтра.
<i>Мокрый вертикальный электрофильтр</i>	
Конструктивно проще двух предыдущих поскольку не имеет механизмов отряхивания. Имеются варианты коррозионно-стойкого исполнения (из спецсталей или свинца). Разрабатывается вариант с электродами из пластмасс.	Применяется в основном для улавливания брызг и туманов кислот либо тонких твердых частиц смеси с туманом. Температуре газа обычно ниже точки росы. Характерная скорость газа 0,7-1,0 м/с. В остальных условиях применения аналогичны предыдущим.
<i>Скруббер - электрофильтр</i>	
Комбинация из двух аппаратов в общем корпусе: нижняя зона - насадочный скруббер, верхняя - мокрый трубчатый электрофильтр. Коррозионно-стойкого исполнения не имеет. Конструктивно несложен, механизмов отряхивания не предусмотрено.	Применяется для тонкой очистки газов (до остаточной запыленности 10-15 мг/м). Скорость газа в активной части 0,6-0,8 м/с. Целесообразна установка после обычных сухих электрофильтров в качестве хвостового доочистителя. В связи с наличием двухъярусной насадки в газораспределительных решетках не нуждается.
<i>Польный скруббер полного испарения</i>	
Комплектуется форсунками очень тонкого или тончайшего распыла, перед которыми устанавливаются дополнительные фильтры для задержки взвесей. От коррозии защищается керамикой, как вариант - с подслоем из полиизобутилена или других пластмасс.	Назначение - кондиционирование сухих газов перед подачей их в сухие электрофильтры с целью снижения УЭС пыли. При относительно невысокой температуре газа (200°C и ниже) нуждается в хорошо отлаженной автоматике регулирования расхода воды. При более высоких температурах возможно регулирование отклю-

	чением части ярусов форсуночных коллекторов. Требуется эффективных встроенных газораспределительных устройств.
<i>Скруббер с неподвижной насадкой</i>	
Обычно имеет от 1 до 3 ярусов насадок. Орошение форсунками грубого или среднего распыла. В газо-распределительных устройствах не нуждается. Защита от коррозии - керамика, как вариант - с подслоем из полиизобутилена или других пластмасс.	Используется для теплообмена, абсорбции и пылеулавливания (степень очистки от пыли не превышает 50-60%). Интенсивность массообмена значительно ниже, чем у барботажных аппаратов. Требуется эффективно брызгоулавливания (встроенного брызгоуловителя или самостоятельного аппарата).
<i>Скруббер с подвижной плавающей насадкой</i>	
Насадка - из легких пластмассовых шариков, помещенных между двумя решетками, нижней и верхней (ограничительной). Нужны газораспределительные устройства, иначе газ будет идти через насадку одной стороной. Орошение форсунками грубого или среднего распыла.	Область применения четко не очерчена. Может применяться для абсорбции, пылеулавливания и теплообмена в любых отраслях производства. Скорость - газа около 5-6 м/с, уточняется при наладке. Интенсивность массообмена средняя между скруббером с неподвижной насадкой и барботажным аппаратом. Требуется после себя интенсивного брызгоулавливания.
<i>Пенный аппарат со стабилизатором слоя пены</i>	
Имеет одну или несколько (до трех) пенообразующих решеток. Стабилизатор (простая конструкция, не допускающая "сваливания" пены к одному краю решетки) делает структуру пенного слоя более равномерной и устойчивой.	Область применения четко не очерчена. Используется для теплообмена, улавливания пыли и абсорбции газов (паров); успешно используется также для туманоулавливания. Наибольшее число решеток применяется для теплообмена; для пылеулавливания достаточно одной.
<i>Труба Вентури</i>	
Аппарат с ярко выраженной зависимостью степени улавливания от энергозатрат. Конструктивные варианты; с круглой или шелевидной горловиной; с форсуночным или пленочным орошением; с	Область применения практически не ограничивается. Имеет широкое межотраслевое применение для абсорбции, кондиционирования газов, пыли и туманоулавливания: при высокой

<p>регулируемым и нерегулируемым сечением горловины. Характерен невысокими капитальными и весьма значительными энергозатратами. Степень улавливания зависит от затрат энергии и удельного орошения. Горловина подвержена абразивному износу, иногда изготавливается из износостойкого чугуна.</p>	<p>температуре газа целесообразно устанавливать перед трубой испаритель для последующей вторичной конденсации пара на улавливаемых частицах. Скорость газа от 40-50 до 150-160 м/с, удельное орошение от 0,1 до 1,0 л/м. Требуется после себя высокоэффективного брызгоулавливания. Допускается компоновка в батарее по 2, 4, 6 и 8 труб с общим входом и выходом газа.</p>
<p><i>Циклон прямоточный</i></p>	
<p>Удобен для футеровки, допускает высокую (до нескольких кг/м³) запыленность газа на входе. Конструктивно прост, не требует квалифицированного изготовления и обслуживания.</p>	<p>Обычно используется в качестве предварительной ступени перед последующими аппаратами. Скорость газа (в плане) до 8 м/с, коэффициент сопротивления около 50, степень улавливания 50-60%.</p>
<p><i>Циклоны НИИОГАЗ</i></p>	
<p>Делятся на три группы: низкоэффективные (ЦН-24), среднеэффективные (ЦН-15, ЦН-11), высокоэффективные (СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СЦН-40). Не футеруются, подвержены абразивному износу.</p>	<p>Пригодны для широкого межотраслевого применения и для решения любых задач циклонного пылеулавливания. Компонуются в группу (от 2 до 10 аппаратов в группе). Возможна последовательная установка как разных, так и одинаковых циклонов. Температура газа до 400-450°C, условная скорость от 1,5 до 5,0 м/с, коэффициент сопротивления от 75 до 500-1000 (в зависимости от типа циклона). Абсолютно недопустимы подсосы воздуха через бункер.</p>
<p><i>Батарейные циклоны</i></p>	
<p>Имеют конструктивно простые циклонные элементы, которые могут быть изготовлены из чугунного или каменного литья. Имеется много конструктивных модификаций, в том числе с рециркуляцией воздуха и его промежуточной очисткой в рецикле. Требуют тщательной герметизации во избежание беспорядочных перетоков газа в обход циклонных элементов.</p>	<p>Область применения не ограничивается. Температура газа до 400-450°C. По степени чугунного или каменного литья, улавливания не имеют преимуществ перед циклонами НИИОГАЗ, но более стойки к абразивному износу. Могут эксплуатироваться как самостоятельно, так и в качестве первой ступени перед по-</p>

	следующими аппаратами.
<i>Струйный (эжекторный) газопромыватель</i>	
Принцип действия аналогичен трубе. Вентури, на основное количество энергии подводится не с потоков газа, а со струями жидкости от насосов высокого давления ($\approx 10^6$ Па). Энергия струй тратится частично на очистку, частично - на создание за счет эжекции тяги (напора) в сети. Степень очистки на 25-30% (отн.) ниже, чем у трубы Вентури.	Разработана в основном для целлюлознобумажной промышленности. Методика расчета составлена применительно к этой области применения. Скорость газа в горловине до 26-30 м/с, удельное орошение 8-10 л/м ³ . В некоторых случаях применяется в других отраслях промышленности.
<i>Рукавный фильтр с обратной продувкой</i>	
Конструктивно прост, что облегчает создание единичных аппаратов с большой фильтровальной поверхностью (в СССР до 24 000 м ² в одном корпусе). В мировой практике обратная продувка считается устаревшим методом регенерации, поскольку она пригодна лишь для хорошо отряхиваемых пылей и не допускает высоких скоростей фильтрации (не выше 0,5-0,9 м/мин). Ткани повышенной плотности непригодны.	Применим для очистки от пыли больших объемов газа. Температура газа определяется термостойкостью ткани. Режимы фильтрации и регенерации достоверной расчетной основы не имеют, поэтому их следует принимать с запасом по данным аналогов или рекомендациям НИИ, а затем уточнять при наладке.
<i>Рукавный фильтр с импульсной регенерацией</i>	
Наиболее распространенный в России тип фильтра, однако имеет ограниченную фильтровальную поверхность в единичном аппарате (примерно на порядок меньше предыдущего). Это связано со сложностью разводки импульсных трубок по большому количеству рукавов и трудностями обслуживания воздухораспределительного хозяйства.	Применим во всех отраслях производства. Скорость фильтрации до 1,6-1,8 м/мин. Начальная запыленность (по паспортным данным) до 50 г/м, однако целесообразно устанавливать перед фильтром циклон, улавливающий 60-70% пыли, - это значительно удлиняет срок службы рукавов.
<i>Рукавный фильтр со струйной регенерацией</i>	
Обладает мощной системой регенерации, благодаря чему плотность ткани может быть значительно повышена, а скорость фильтрации - доходит до 4-4,5 м/мин при остаточной запыленности 3-5 мг/м и ниже (до 1 мг/м). Недостаток: сложная механическая система регенерации.	Основная область применения - тонкая очистка газов в цветной металлургии. Требуется высокой культуры обслуживания, постоянного поддержания механизма регенерации в исправном состоянии.

<i>Рукавный фильтр с регенерацией встряхиванием</i>	
Используется относительно редко ввиду малой эффективности регенерации. Известны три способа отряхивания; покачивание рукава без изменения натяжения и формы (для тканей, плохо работающих на излом), волнообразное (например, асбестовой промышленности), "пружинное" (колебания верха рукава в вертикальном направлении).	Применение межотраслевое (кроме специальных фильтров для асбестовой промышленности). Вид и артикул ткани - в его зависимости от конкретных условий применения. Скорость фильтрации до 1,0-1,3 м/с за исключением стеклоткани (до 0,45 м/мин).
<i>Рукавный фильтр с регенерацией встряхиванием в сочетании с обратной продувкой</i>	
Наиболее старая конструкция, до сих пор сохранившаяся в ряде модификаций. Принцип ее действия состоит в том, что одновременно с "пружинным" отряхиванием подается сухой подогретый (в специальных калориферах) воздух на обратную продувку. Эффект суммируется с эффектом продувки.	Применение межотраслевое, с преимущественным использованием в промышленности строительных материалов. Могут с успехом применяться за цементными мельницами, сушильными барабанами и другими источниками выбросов.

Контрольные вопросы.

1. Специализация аппаратов.
2. Предварительная обработка аэрозолей.
3. Режимная интенсификация.
4. Конструктивно-технологическое совершенствование.
5. Многоступенчатая очистка.
6. Краткие характеристики пылеуловителей.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Рекомендованная литература по теме лекции: [1 – 20]

Список рекомендованной литературы

1. Охрана окружающей среды. /Под ред. С.В.Белова. – М.: Высш. шк., 1991.
2. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды /А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. – М.: Химия, 1989.
3. Родионов А.И. Технологические процессы экологической безопасности (Основы энвайронменталистики) /А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000.
4. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. В 3-х т. Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2003.
5. Панин В.Ф. Экология для инженера /В.Ф. Панин, А.И. Сечин, В.Д. Федосова. Под редакцией В.Ф.Панина. – М.: Издательский дом «Ноосфе-ра», 2001.
6. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1981.
7. Зиганшин М.Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки /М.Г. Зиганшин, А.А. Колесник, В.Н. Посохин. – М.: «Экопресс – ЗМ», 1998.
8. Гордон Г.М. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии /Г.М. Гордон, И.Л. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1977.
9. Ветошкин А.Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) /А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во ПТИ, 2003.
10. Инженерная защита окружающей среды (в примерах и задачах). Учеб. пособие. /Под ред. О.Г.Воробьева. – С.-Петербург, Изд-во “Лань”, 2002.
11. Аверкин А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х частях. Ч.1. Абсорберы. Пенза: ПГАСА, 2000.
12. Аверкин А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х частях. Ч.2 Адсорберы. Пенза: ПГАСА, 1999.
13. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981.
14. Справочник по пыле- и золоулавливаю. /Под ред. Русанова А.А. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
15. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. – М.: Металлургия, 1986.
16. Квашнин И.М., Юнкеров Ю.И. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу промышленными предприятиями. - Пенза: ПГАСА, 1998. 173 с.
17. Еремкин А.И., Квашнин И.М., Юнкеров Ю.И. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. - М.: Ассоциация строительных Вузов, 2000. - 176 с.
18. Арбузов В.В. Экологические основы охраны атмосферы. Учебное пособие, Пенза, МАНЭБ, 1998.
19. Очистка промышленных газов от пыли. /Ужов В.Н. и др. М.: Химия, 1985.
20. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1974.

Учебное издание

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине
**«ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ
ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ»**

для студентов направления подготовки 44.04.04
(образовательно-квалификационный уровень магистр)
В 2-х частях. Часть 1-я: Пылеочистка

Составитель:
Валентин Иванович Сафонов

Печатается в авторской редакции.
Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____
Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типограф. Гарнитура Times
Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____
Тираж 100 экз. Изд. № _____. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство Луганского национального
университета имени Владимира Даля

*Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015 г.*

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60
E-mail: uni@snu.edu.ua **http:** www.snu.edu.ua