

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Е. С. Пикалов

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Механические и физические методы очистки
промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу

Учебное пособие



Владимир 2015

УДК 628.5
ББК 20.1
ПЗ2

Рецензенты:

Доктор химических наук, профессор
зав. кафедрой химии Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Б. А. Кухтин

Кандидат химических наук, доцент кафедры промышленной экологии
Ивановского государственного химико-технологического университета
Е. С. Бобкова

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Пикалов, Е. С.

ПЗ2 Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу : учеб. пособие / Е. С. Пикалов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 79 с. – ISBN 978-5-9984-0560-0.

Рассмотрены теоретические основы защиты окружающей среды, закономерности механических и физических процессов по защите атмосферы и гидросферы, а также конструкции и принцип действия аппаратов для проведения этих процессов.

Предназначено для бакалавров всех форм обучения направления 241000 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 1. Ил. 40. Библиогр.: 9 назв.

УДК 628.5
ББК 20.1

ISBN 978-5-9984-0560-0

© ВлГУ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	6
1.1. Основные понятия и определения.....	6
1.2. Классификация и характеристика отходов	7
1.2.1. Источники и виды загрязнений	7
1.2.2. Общие сведения об отходах	8
1.2.3. Источники и виды загрязнений атмосферы	14
1.2.4. Источники и виды загрязнений гидросферы.....	18
1.3. Классификация методов защиты окружающей среды.....	22
1.4. Основы утилизации газообразных и жидких отходов	26
Контрольные вопросы	30
Глава 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	31
2.1. Основы процессов осаждения	31
2.1.1. Обтекание потоком твердых тел.....	31
2.1.2. Гидродинамика зернистых слоев.....	35
2.2. Интенсификация процессов осаждения	38
2.3. Закономерности процессов фильтрования	42
Контрольные вопросы	45
Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ.....	46
3.1. Аппараты для осаждения аэрозольных частиц.....	46
3.1.1. Гравитационные и инерционные осадители	46
3.1.2. Центробежные осадители.....	47
3.2. Газовые фильтры и туманоуловители	49
3.3. Мокрая газоочистка	51
3.4. Электрическая очистка газов.....	54
3.5. Интенсификация процессов защиты атмосферы.....	58
3.5.1. Агрегация аэрозольных примесей	58
3.5.2. Охлаждение и конденсация газовых примесей.....	60
Контрольные вопросы	62

Глава 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ	63
4.1. Первичная обработка сточных вод	63
4.1.1. Усреднение.....	63
4.1.2. Процеживание.....	64
4.1.3. Удаление крупнодисперсных примесей	66
4.2. Отстаивание взвесей	68
4.2.1. Назначение и классификация отстойников.....	68
4.2.2. Первичные отстойники.....	68
4.2.3. Отстойники для разделения суспензий и эмульсий.....	69
4.2.4. Тонкослойные отстойники	71
4.3. Центробежные осадители	72
4.4. Фильтры и фильтрующие центрифуги	74
Контрольные вопросы	75
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	 77
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	 78

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность человеческого общества основана на взаимодействии с окружающей средой, которое включает в себя добычу и переработку природных ресурсов, а также создание и эксплуатацию антропогенных систем: жилых комплексов, промышленных зон и т. д. При этом происходит неизбежная деградация окружающей среды и накопление в ней различных отходов. В результате научно-технического прогресса, роста населения и увеличения объемов производства влияние человека на окружающую среду, в том числе отрицательное, постоянно возрастает. Поэтому все более актуальной становится проблема защиты окружающей среды.

В данном учебном пособии рассмотрены теоретические основы защиты окружающей среды, приведён обзор механических и физических методов очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу. Эти методы широко применяются для очистки выбросов от неоднородных загрязнений, которые в большинстве случаев составляют основную часть примесей в выбросах.

В качестве механических рассматриваются методы, применение которых не изменяет свойств выброса (температуры, влажности и т. д.) и основано на движении выделяемых частиц под действием силы тяжести, центробежной силы и сил инерции.

Под физическими понимаются методы, основанные на явлениях, которые способствуют механической очистке выбросов, но не являются результатом химического взаимодействия. К таким явлениям относятся изменение направления и скорости движения частиц примесей, а также их агрегация и конденсация в результате увлажнения и охлаждения, воздействия электромагнитных полей и звуковых колебаний и т. п.

Пособие предназначено для изучения теоретического материала по курсу «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» и при освоении дисциплин, связанных с влиянием человека на окружающую среду и созданием малоотходных технологий.

В библиографическом списке приведена литература, которая применялась при составлении данного пособия и может быть рекомендована как дополнительная для более глубокого изучения изложенного материала.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

1.1. Основные понятия и определения

Окружающая среда – совокупность естественных (природных) и антропогенных (измененных человеком) экологических систем, служащих средой обитания различных биологических сообществ.

Технология защиты окружающей среды – наука о взаимодействии технических и природных комплексов, основанном на рациональном природопользовании и предотвращении загрязнения окружающей среды.

Природопользование – отрасль материального производства и наука, изучающая и решающая проблемы использования (добычи и переработки) ограниченных природных ресурсов для промышленных целей без деградации окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды – изменение параметров окружающей среды в результате накопления в ней веществ и субстанций различного происхождения в несвойственных для этой среды количествах, что приводит к ухудшению условий жизни.

Загрязнение окружающей среды происходит в результате сброса (выброса) отходов и выхода энергетических потоков различной природы.

Отходы – побочные продукты промышленного производства, образующиеся на разных стадиях получения основного продукта (отходы производства), или побочные продукты деятельности коммунально-бытовой сферы (отходы потребления), которые характеризуются определенными физико-химическими свойствами.

Методы защиты окружающей среды разделяют на две группы:

1. Активные методы – совершенствование производственных процессов, направленное на создание и развитие ресурсо-, энергосберегающих и малоотходных технологий.

Активные методы предполагают максимальное и комплексное использование сырьевых и энергетических ресурсов, рекуперацию отходов, замену токсичных и не утилизируемых отходов на нетоксичные и утилизируемые.

Рекуперация – извлечение из отходов ценных компонентов, возвращаемых в технологический процесс.

2. Пассивные методы – рациональное размещение источников загрязнения и ограничение промышленных выбросов (сбросов) с последующей утилизацией, обезвреживанием или захоронением отходов.

Утилизация – переработка отходов одних видов производства в материалы, которые могут быть вторичными ресурсами для других видов производства.

Пассивные методы предполагают расположение источников загрязнения вдали от населенных пунктов с учетом особенностей местности для снижения нагрузки на окружающую среду, а также очистку отходов производства от вредных примесей и снижение уровня энергетических выбросов.

1.2. Классификация и характеристика отходов

1.2.1. Источники и виды загрязнений

Источники различного рода загрязнений подразделяются на естественные, которые образуются в результате природных процессов (эрозия, извержения вулканов, деятельность живых организмов и пр.), и искусственные (антропогенные), которые являются результатом бытовой деятельности человека, работы промышленных предприятий, тепловых и энергетических установок, а также транспорта.

В зависимости от своей природы загрязнения делятся на следующие группы:

Механические отходы – отходы, которые накапливаются в окружающей среде, не оказывая на нее физико-химического воздействия (например, мусор).

Химические отходы – отходы, которые при попадании в окружающую среду могут вступать в химические реакции с ее компонентами с образованием различных новых веществ.

Физические (энергетические) загрязнения – энергетические потоки, вызывающие изменение физических параметров среды. Могут быть причиной аномального поведения растений и животных. Различают:

- тепловые загрязнения, приводящие к изменению температуры среды. Возникают в основном при выбросах нагретого воздуха, отходящих газов и сточных вод. Могут быть вторичным результатом изменения химического состава среды;

- световые загрязнения (в том числе инфракрасные и ультрафиолетовые излучения), приводящие к изменению естественной освещенности под действием искусственных источников света;

- шумовые и вибрационные загрязнения (в том числе инфра- и ультразвук), появляющиеся в результате работы оборудования и транспорта. Приводят к изменению интенсивности шума сверх природного уровня и возникновению вибрационных колебаний;

- электромагнитные загрязнения, приводящие к изменению электромагнитных полей среды и возникновению ионизирующих излучений. Возникают в результате работы линий электропередач, бытовых источников и промышленных установок;

- радиационные загрязнения, приводящие к повышению естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ.

Биологические загрязнения – проникновение и развитие в окружающей среде чуждых или вредных для неё растений и животных, а также приобретение живыми организмами патогенных свойств.

Все перечисленные виды загрязнений взаимосвязаны, и каждый из них может явиться толчком для возникновения других видов загрязнения.

1.2.2. Общие сведения об отходах

Классификация отходов по фазовому составу

Отходы, попадающие в окружающую среду, представляют из себя систему или образуют систему, вступая во взаимодействие с окружающей средой.

Система – любое тело или группа тел, находящихся во взаимодействии.

Фаза – часть системы, обладающая однородным составом и определенными свойствами, отличными от других частей системы.

Компонент – химически однородное вещество, которое может быть выделено из системы и существовать длительное время в изолированном состоянии.

Таким образом, система состоит из одной или нескольких фаз, а фаза – из одного или нескольких компонентов. Системы классифицируют следующим образом:

Гомогенные системы – системы, состоящие из одной или нескольких фаз, между которыми нет поверхности раздела.

Гетерогенные системы – системы, состоящие из нескольких фаз, отделенных друг от друга поверхностями раздела.

Гетерогенная система, называемая также неоднородной, или дисперсной, состоит из одной сплошной фазы, называемой также внешней фазой, или дисперсионной средой, и одной или нескольких дисперсионных, или внутренних фаз, которые распределены в сплошной фазе в виде изолированных частей различного размера.

В зависимости от агрегатного состояния фаз, составляющих систему, отходы классифицируют следующим образом (таблица).

Классификация отходов

Агрегатное состояние примесей	Агрегатное состояние среды		
	Газообразное	Жидкое	Твердое
Газообразное	Вредные газы и пары	Пены	Осевшая пыль
Жидкое	Туманы, дымы	Истинные и коллоидные растворы, эмульсии	Осадки сточных вод
Твердое	Пыли, дымы	Коллоидные растворы, суспензии	Твердые отходы

Классификация газообразных отходов

Газообразные отходы представляют собой выбросы в атмосферу, в которых основной фазой является газ, в частности воздух.

Газообразные отходы разделяются на две группы:

Вредные газы и пары – гомогенная система газ-газ, которая при попадании в атмосферу образует гомогенную смесь с воздухом.

Аэрозоли – полидисперсные системы, в которых дисперсионной средой является газ, в частности воздух, а дисперсионной фазой – твердые или жидкие частицы.

Различают два типа аэрозолей:

Дисперсионные (механические) – аэрозоли, образующиеся при измельчении твердых и диспергировании жидких веществ.

Конденсационные – аэрозоли, образующиеся при конденсации насыщенных паров, а также в результате газовых реакций.

Частицы дисперсионных аэрозолей обычно крупнее, имеют неправильную форму и обладают большей полидисперсностью. Частицы конденсационных аэрозолей имеют часто правильную шарообразную или кристаллическую форму и, сливаясь, снова получают шарообразную форму.

К аэрозолям относятся:

Пыль – дисперсионная аэрозоль с твердыми частицами размером свыше 5 мкм. Пылью также называют совокупность осевших частиц.

Туман – газообразная среда с жидкими частицами как конденсационными, так и дисперсионными размером менее 5 мкм.

Дым – конденсационная аэрозоль с твердой дисперсной фазой или включающая частицы и твердые, и жидкие размером менее 5 мкм.

Классификация жидких отходов

Жидкие отходы представляют собой сточные воды, в которых основной фазой является жидкость, в частности вода.

Жидкие отходы подразделяют на три группы:

Истинные растворы – гомогенная система из двух жидкостей, неограниченно смешивающихся между собой в любых количествах.

Коллоидные растворы – система из двух жидкостей или система жидкость-твердое тело с размером частиц менее 10^{-1} мкм. К коллоидным растворам относятся ионные растворы с размером частиц 10^{-3} мкм (соли, основания, кислоты), молекулярные растворы с размером частиц $10^{-2} \dots 10^{-3}$ мкм (газы, растворимые в воде, органические вещества) и растворы с размером частиц $10^{-1} \dots 10^{-2}$ мкм (золи и растворы высокомолекулярных соединений).

Взвеси – гетерогенные системы, в которых размер дисперсных частиц составляет более 10^{-1} мкм.

К взвесям относятся:

Суспензия – неоднородная система, состоящая из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. В зависимости от размеров частиц различают грубые суспензии с частицами размером более 100 мкм, тонкие (0,5...100 мкм) и мути (0,1...0,5 мкм). Промежуточное положение между суспензиями и истинными растворами занимают коллоидные растворы с размерами частиц менее 0,1 мкм.

Эмульсия – неоднородная система из двух несмешивающихся или частично смешивающихся жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде жидких капель. Величина частиц дисперсной фазы в эмульсиях колеблется в пределах, аналогичных суспензиям.

Пена – неоднородная система, состоящая из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа.

Характеристика неоднородных систем

Неоднородные системы характеризуются массовым, или объемным, соотношением фаз и размерами частиц дисперсной фазы.

Соотношение фаз характеризуется концентрацией дисперсной фазы. При определенных концентрациях дисперсной фазы возможен ее переход в сплошную. При этом сплошная фаза становится дисперсной. Этот переход называется инверсией фаз. Например, при инверсии фаз в пыли образуется осевшая пыль, представляющая собой мелкозернистый материал, а при инверсии фаз в суспензии образуется осадок (шлам), в котором концентрация твердой фазы составляет от 35 до 55 %.

Соотношение размеров частиц дисперсной фазы характеризуется дисперсностью. Системы, содержащие частицы, сильно отличающиеся по размерам, называют полидисперсными, а системы, содержащие частицы одного размера, – монодисперсными. В большинстве случаев системы с твердой дисперсионной фазой являются полидисперсными, а системы с жидкой дисперсионной фазой близки к монодисперсным. Полидисперсные системы характеризуются средним размером частиц и фракционным, или дисперсным, составом, т.е. процентным содержанием частиц различного размера.

Частицы в неоднородных системах непрерывно взаимодействуют между собой. При этом мелкие частицы становятся крупнее, а крупные разрушаются. Эти явления в свою очередь влияют на такие процессы, как осаждение, витание и перемещение. Укрупнение капель или пузырей путем их слияния называется коалесценцией, а укрупнение твердых частиц путем их слипания – коагуляцией. Процесс укрупнения дисперсных частиц также носит общее название агломерации, или агрегирования.

Неоднородные системы также характеризуются свойствами составляющих их фаз, к которым относятся плотность, вязкость, влаж-

ность и гигроскопичность (способность поглощать влагу), магнитные и электрические свойства, а также токсичность, летучесть, химическая активность и др.

Выбор оптимального оборудования для разделения неоднородных систем определяется выбором свойства, величина которого у дисперсной среды и дисперсной фазы существенно различается. По использованию одного или нескольких из этих признаков и различаются способы разделения неоднородных систем.

Нормирование уровня загрязнений

Формированию в окружающей среде различного рода загрязнений препятствуют естественные процессы, происходящие в ней и снижающие эти загрязнения до определенного уровня. Уровень загрязнения от естественных источников является природным уровнем загрязнения и незначительно изменяется со временем. В результате научно-технического прогресса резко возрос уровень антропогенного загрязнения, в том числе за счет попадания в окружающую среду веществ, которые не могут быть утилизированы естественным путем. В связи с этим возникла необходимость в нормативах для оценки загрязнения окружающей среды. В настоящее время используются следующие нормативы, нарушение которых приводит к загрязнению и деградации экологических систем:

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – предельно допустимое содержание химических и иных веществ, а также микроорганизмов в окружающей среде.

Допустимое физическое воздействие – уровень допустимого воздействия физических факторов (температуры, звука и т.д.) на окружающую среду.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) – предельно допустимое содержание вредных веществ в непосредственной близости от источника загрязнения. Это значение не должно превышать ПДК.

Различают две разновидности ПДК:

1. В рабочей зоне (ПДК_{р.з.}) – концентрация вредных веществ, которая при работе не менее 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не вызывает заболеваний у работающих и их детей.

2. В окружающей среде (ПДК_{о.с}) – концентрация вредных веществ, которая не оказывает на человека на протяжении всей его жизни и на окружающую среду в целом вредного воздействия.

При этом устанавливают следующее неравенство:

$$\text{ПДК}_{\text{р.з}} > \text{ПДК}_{\text{о.с}}$$

Для каждой разновидности устанавливают два значения ПДК:

1. Максимально разовая (ПДК_{м.р}) – концентрация вредных веществ, не вызывающая негативных рефлекторных реакций при кратковременном воздействии (в пределах 20 – 30 мин).

2. Среднесуточная (ПДК_{с.с}) – средняя за сутки концентрация вредных веществ, которая не оказывает на человека вредного воздействия при неопределенно долгом (несколько лет) воздействии.

При этом устанавливают следующее неравенство:

$$\text{ПДК}_{\text{м.р}} > \text{ПДК}_{\text{с.с}}$$

В соответствии со значениями ПДК содержание вредного вещества в воздухе должно удовлетворять неравенству

$$\sum_{i=1}^N C_i \leq \text{ПДК} - C_{\phi},$$

где C_i – наибольшая концентрация вредного вещества, поступающего от i -го источника; N – число источников, от которых вещество поступает в окружающую среду; C_{ϕ} – фоновая концентрация вещества, т. е. концентрация уже присутствующая в окружающей среде, в том числе от источников других систем (предприятий).

Если в окружающей среде присутствуют выбросы нескольких веществ, обладающих однонаправленным действием, их безразмерная суммарная концентрация должна соответствовать условию

$$\sum_{i=1}^K q_i = \sum_{i=1}^K \left(\frac{\sum_{i=1}^N C_i}{\text{ПДК}_i - C_{\phi(i)}} \right) \leq 1,$$

где q_i – безразмерная концентрация i -го вещества, поступающего от N источников; K – число вредных веществ однонаправленного действия.

1.2.3. Источники и виды загрязнений атмосферы

Источники загрязнений атмосферы

При характеристике загрязнений атмосферы отдельно рассматривают загрязнение воздуха помещений и внешней воздушной среды, которые образуются от естественных и антропогенных источников. Очистка воздуха от естественных загрязнителей в основном происходит перед подачей воздуха в вентилируемые помещения, а очистка воздуха от антропогенных загрязнителей происходит перед их выбросом в атмосферу.

К естественным источникам загрязнений относятся различные виды эрозии, туманы, лесные пожары, извержения вулканов, деятельность живых организмов и т. п.

Антропогенные источники загрязнений отличаются большим многообразием видов и количеством источников. Основные источники загрязнения внешней воздушной среды:

- промышленные предприятия, в первую очередь химические, нефтехимические, металлургические и машиностроительные заводы, на долю которых приходится 15 – 20 % выбросов;
- теплогенерирующие установки (тепловые электростанции, отопительные и производственные котельные), на долю которых приходится около 60 % выбросов;
- транспорт, в первую очередь автомобильный, на долю которого приходится 20 – 25 % выбросов.

Незначительным источником антропогенных загрязнений также является деятельность бытового, коммунального, сельского и лесного хозяйств.

Причиной образования антропогенных загрязнений служит несовершенство технологического и транспортного оборудования, в первую очередь его негерметичность, а также отсутствие или недостаточная эффективность аппаратов и систем для очистки выбросов в атмосферу.

Выбросы в атмосферу подразделяются на две группы:

- организованные выбросы через дымовые трубы, вентиляционные шахты и другие устройства;
- неорганизованные выбросы через аэрационные фонари, проемы в цехах, от мест погрузки и разгрузки транспорта, из-за утечек в коммуникациях.

Неорганизованные выбросы составляют от 10 до 26 % от общего количества выбросов в атмосферу.

Основные пылегазовые загрязнители

Самые распространенные вещества, загрязняющие атмосферу:

1. Пылевидный материал – совокупность пылей смешанного происхождения в различном соотношении.

Виды пыли следующие:

Механическая пыль – пыль, образуемая в результате измельчения различных материалов.

Летучая зола – несгораемый остаток топлива, образуемый из минеральных примесей при горении материала и содержащийся в дымовом газе.

Сажа – высокодисперсный углерод, образующийся при неполном сгорании (при недостатке кислорода и низкой температуре) или термическом разложении углеводов.

В зависимости от материала, из которого образована механическая пыль, различают следующие виды:

- пыль органического происхождения, разделяемая на пыль растительного (древесная, мучная и т.п.) и животного (шерстяная, костяная и т.п.) происхождения;

- пыль неорганического происхождения, разделяемая на минеральную (кварцевая, цементная и др.) и металлическую (стальная, медная и др.).

К естественным источникам пылевых загрязнителей относят процессы эрозии природных (почва, горные породы) и антропогенных объектов, пылевые бури, лесные пожары, вулканические извержения, распространение пыльцы и спор растений, а также осаждение пыли космического происхождения.

К антропогенным источникам механической пыли относят следующие технологические процессы: обработка материалов (резание, шлифование, измельчение), сварка металлов, сортировка, загрузка и разгрузка материалов. Почти каждому виду производства, каждому материалу или виду сырья соответствует определенный вид пыли.

К антропогенным источникам летучей золы и сажи относят процессы сжигания топлива в промышленных и бытовых условиях (теплогенерирующие установки), а также при работе автотранспорта.

2. Оксиды углерода, образующиеся в результате неполного (угарный газ CO) и полного (диоксид углерода CO₂) окисления углерода в процессах горения.

К естественным источникам оксидов углерода относят лесные пожары и процессы сгорания природного метана и других углеводородов. Диоксид углерода также является одним из парниковых газов.

К антропогенным источникам оксидов углерода относят нефтехимические производства, процессы сжигания органического топлива (угля, природного газа, нефти) при работе промышленных печей различного типа, теплогенерирующих установок и автотранспорта. Угарный газ образуется также при газовой и плазменной резке металлов.

3. Диоксид серы (сернистый ангидрид SO_2), образующийся в результате окисления серы и сульфатов.

К естественным источникам диоксида серы относят извержения вулканов и процессы окисления серы и сульфатов, рассеянных в море.

К антропогенным источникам диоксида серы относят процессы сжигания топлива, содержащего серу и сульфаты (в основном угля) в промышленных и бытовых условиях, при переработке сернистых руд, при производстве серной кислоты, стекла, полимеров и некоторых лакокрасочных материалов.

4. Оксиды азота (монооксид NO и диоксид NO_2), объединяемые общей формулой NO_x и образующиеся в результате окисления азотсодержащих веществ.

К естественным источникам оксидов азота относят лесные пожары.

К антропогенным источникам оксидов азота относят все процессы горения (в том числе при работе автотранспорта), газовую и плазменную резку металлов, а также процессы производства азотной кислоты, азотных удобрений, нитратов, анилиновых красителей и других нитросоединений.

5. Летучие углеводороды (C_nH_m) – различные соединения углерода и водорода, представляющие собой не сгоревшие или не полностью сгоревшие компоненты органических видов топлива.

К естественным источникам летучих углеводородов относят лесные пожары и процессы сгорания природного метана и других углеводородов. Метан также является одним из парниковых газов.

К антропогенным источникам летучих углеводородов относят нефтехимические производства, процессы сжигания органического

топлива при работе автотранспорта, а также жидкости, применяемые при химчистке, и различные промышленные растворители.

6. Полициклические углеводороды ароматического ряда – углеводороды, характеризующиеся наличием колец (циклов) из атомов углерода, содержащих систему сопряженных двойных связей.

Это вещества антропогенного происхождения, среди которых наиболее распространены бензол (C_6H_6), толуол ($C_6H_5CH_3$), ксилол ($(CH_3)_2C_6H_4$), получаемые при перегонке каменного угля на коксохимических заводах и при перегонке нефти. Ещё одним источником этого вида загрязнений являются процессы сжигания органического топлива при работе автотранспорта.

7. Цианиды – цианистая (синильная) кислота (HCN) и ее соли (KCN , $NaCN$, CH_3CN), поступающие в атмосферу в виде аэрозолей и паров.

Источниками цианидов являются различные предприятия по производству синтетических волокон, гальванические цеха и фармакологические производства.

8. Сероводород (H_2S), образующийся в результате реакций водородсодержащих веществ (кислот, воды) с сульфидами.

К естественным источникам сероводорода относят вулканические извержения, реакции морской воды с растворенными в ней сульфидами, а также процессы гниения белков, состоящих из серосодержащих веществ.

К антропогенным источникам сероводорода относят в основном различные химические и нефтехимические производства.

9. Тяжелые металлы (свинец Pb , медь Cu , цинк Zn , кадмий Cd , хром Cr , марганец Mn , никель Ni , ртуть Hg), т. е. металлы с атомным весом свыше 50, и их оксиды, которые поступают в атмосферу в виде аэрозолей дезинтеграции и конденсации, а также в виде паров.

К естественным источникам тяжелых металлов относят процессы эрозии пород и почв, содержащих соединения этих металлов.

К антропогенным источникам тяжелых металлов относят в основном различные металлургические и химические производства. Кроме того, основным источником поступления свинца в атмосферу являются выхлопные газы автотранспорта, работающего на этилированном бензине.

10. Другие загрязнители атмосферы и их источники. Различные химические производства являются источниками паров кислот, щелочей и органических растворителей. Металлургические производства – источник аэрозолей и паров редких рассеянных металлов (бериллий Be, литий Li, ванадий V, титан Ti, цирконий Zr, вольфрам W, таллий Tl, селен Se и др.). В атомной и некоторых других отраслях промышленности имеют место выбросы радиоактивных веществ.

1.2.4. Источники и виды загрязнений гидросферы

Источники загрязнений гидросферы

При характеристике загрязнений гидросферы отдельно рассматривают загрязнение воды, поступающей на антропогенные объекты (предприятия и населенные пункты), и воды, поступающей с этих объектов в водные системы окружающей среды, которые в свою очередь разделяются на поверхностные (пресные и морские) и подземные. При очистке воды, поступающей на антропогенные объекты, особое внимание уделяется питьевой воде.

К естественным источникам загрязнений относят круговорот воды в природе, связывающий между собой загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы, а также паводки, наводнения, процессы водной эрозии, вымывающие из почвы различные загрязнители, проникновение морских вод в пресные водные системы и массовое развитие водорослей или планктона (биологическое загрязнение).

Основными источниками антропогенных загрязнений гидросферы являются сельское хозяйство, энергетические и промышленные предприятия, жилищно-коммунальные объекты, а также водный и железнодорожный транспорт, незначительными – деятельность лесных (включая лесосплав) и рыбоводческих хозяйств, захоронения различных типов отходов, загрязненный атмосферный воздух, а также аварии и катастрофы, происходящие на суше и в водных пространствах.

Причины образования антропогенных загрязнений гидросферы аналогичны причинам, приводящим к загрязнению атмосферы.

Источники загрязнения гидросферы могут быть организованными (через систему промышленной, общесплавной или ливневой канализаций) и неорганизованными, не имеющими определенного места сброса сточных вод (утечки в коммуникациях, смывы удобрений с полей).

Классификация сточных вод

Основным источником антропогенного загрязнения гидросферы являются сточные воды, то есть воды, которые были подвергнуты антропогенному воздействию или прошли через загрязненную этой деятельностью территорию и которые отводятся в водоёмы через систему канализации или самотеком.

Классификация сточных вод включает три основные категории в зависимости от их состава, происхождения и качественных показателей примесей и загрязнений:

1. Хозяйственно-бытовые сточные воды – воды, образующиеся в результате бытовой жизнедеятельности человека.

2. Промышленные сточные воды – воды, образующиеся в результате технологических процессов производств, а также воды, откачанные на поверхность в процессе добывания полезных ископаемых.

3. Атмосферные (поверхностные) сточные воды (ливневые стоки) – воды, к которым относятся талые и дождевые воды, попадающие на антропогенную территорию, а также воды, образующиеся в результате полива зелёных насаждений и промывки улиц.

Промышленные сточные воды в свою очередь подразделяются на следующие группы:

Охлаждающая вода – вода, применяемая для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах.

Средообразующая вода – вода, используемая для растворения и образования пульп (суспензий и шламов), при обогащении и переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства.

Промывающая вода – вода, применяемая для промывки продуктов и изделий, а также для процессов разделения газообразных (абсорбция, мокрые способы очистки газов), жидких (экстракция) и твердых (экстрагирование) систем.

Реакционная вода – вода, используемая в составе реагентов, а также при отгонке и других процессах, сопровождающихся химическими реакциями.

Энергетическая вода – вода, применяемая для получения пара и нагревания оборудования, помещений и материалов.

Промышленные сточные воды также подразделяют на две категории: загрязненные сточные воды, к которым относятся средообра-

зующая, промывающая и реакционная воды, называемые технологическими, и незагрязненные (условно чистые) сточные воды, к которым относятся охлаждающая и энергетические воды. Условно чистые сточные воды не подвергаются очистке.

Основные загрязнители сточных вод

Самые распространенные вещества, загрязняющие гидросферу:

1. Взвешенный материал – совокупность суспензий и эмульсий смешанного происхождения в различном соотношении. В зависимости от происхождения различают следующие виды взвешенных частиц:

- частицы минерального происхождения, среди которых наиболее распространены песок (SiO_2), глинистые частицы ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$), частицы руды, шлака (побочный продукт или отход в виде стекловидной массы, состоящей из пустой породы), минеральных солей, растворимых кислот и щелочей;

- частицы органического происхождения, разделяемые на частицы растительного (остатки растений, растительные масла и т. д.) и животного (остатки тканей и т. д.) происхождения.

В зависимости от характера и условий взаимодействия взвешенных частиц с водой к взвешенным частицам можно отнести оседающие, всплывающие и растворимые примеси.

К естественным источникам поступления взвешенных частиц в гидросферу относят круговорот воды в природе, процессы водной эрозии и процессы оседания аэрозольных загрязнителей из атмосферного воздуха, а также извержения вулканов.

К антропогенным источникам взвешенных частиц относят различные технологические процессы, связанные с контактом воды и измельченных материалов, хозяйственно-бытовую и сельскохозяйственную деятельность.

2. Тяжелые металлы, которые при поступлении в гидросферу образуют стойкие комплексные органические соединения с хорошей растворимостью, что способствует широкому распространению тяжелых металлов в природных водах. Наиболее распространенными загрязнителями сточных вод этой группы являются железо и его соединения.

К естественным источникам тяжелых металлов относят процессы эрозии пород и почв, содержащих соединения этих металлов, а также круговорот воды в природе и процессы оседания (растворения) этих загрязнителей из атмосферного воздуха.

К антропогенным источникам тяжелых металлов относят в основном различные металлургические и химические производства.

3. Нефть и нефтепродукты – сложная смесь углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений. Попадая в водоемы, они создают разные формы загрязнения: плавающую на воде нефтяную пленку, растворенные или эмульгированные в воде примеси и осевшие на дно тяжелые фракции.

К естественным источникам нефтепродуктов относят процессы просачивания по трещинам в горных породах.

К антропогенным источникам нефтепродуктов относят промышленные стоки, аварии судов и различного рода протечки на буровых установках и при транспортировке.

4. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела в системах с жидкой фазой, вызывают снижение поверхностного натяжения. Как правило, это органические соединения, состоящие из углеводородной части и функциональных групп -ОН, -СООН, -SO₃ОН, -О- и т.п., или, чаще, их соли -ONa, -COONa, -SO₃ONa и т.п. Существуют также синтетические ПАВ (СПАВ): алкилсульфаты (ROSO₃Na или ROSO₃NH₄), алкилбензолсульфонаты ((RC₆H₄SO₃)_nM, где M – натрий, калий, кальций).

В водные объекты ПАВ поступают с хозяйственно-бытовыми (использование синтетических моющих средств в быту) и промышленными (текстильная, нефтяная, химическая промышленность, производство синтетических каучуков) сточными водами, а также в стоках с сельскохозяйственных угодий (входят в состав различных химических препаратов в качестве эмульгаторов).

5. Фенолы – производные бензола с одной или несколькими функциональными группами. Наиболее распространен фенол C₆H₅ОН. Фенолы способны образовывать в воде различные соединения. Например, с хлором фенолы образуют токсичные соединения.

К естественным источникам фенолов относят процессы метаболизма водных организмов, а также биохимический распад органиче-

ских веществ в воде и в донных отложениях, к антропогенным – химические и нефтеперерабатывающие предприятия.

6. Соединения азота (аммиак NH_3 и соли аммония NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HCO_3 , NH_4Cl) и фосфора (фосфин PH_3 , дифосфин P_2H_4 , а также фосфорные кислоты, оксиды и хлориды фосфора) обладают высокой токсичностью и являются причиной интенсивного развития фитопланктона, нарушения газового режима водоёма и образования донных отложений.

К естественным источникам образования азотных соединений относят процессы разложения органического вещества.

К антропогенным источникам азотных соединений относятся химическая и пищевая промышленность, хозяйственно-бытовая деятельность человека, а также сельское и рыбководческое хозяйства.

7. Цианиды, поступающие в гидросферу в виде продуктов газификации. Источниками цианидов являются коксохимические и машиностроительные предприятия.

8. Другие загрязнители гидросферы и их источники. Металлургические и машиностроительные заводы являются источниками сульфатов, хлоридов, фторидов и гидравлических масел. Металлургическую и химическую промышленность относят к источникам аммиака и полициклических ароматических углеводородов. Нефтеперерабатывающие предприятия и процессы разложения органических веществ являются источниками сероводорода, текстильные и пищевые предприятия – красителей. Лесная и целлюлозно-бумажная промышленность являются источниками смол, атомная промышленность – радиоактивных веществ. Сельское хозяйство является источником различных химических препаратов и минеральных удобрений.

1.3. Классификация методов защиты окружающей среды

Методы защиты атмосферы

Методы защиты атмосферы подразделяют на две группы:

Обезвреживание пылевоздушных выбросов (аэрозолей) – процессы, направленные на выделение из газа-носителя вредных дисперсных примесей с последующей их утилизацией.

Обезвреживание газовых выбросов – процессы, направленные на удаление токсичных примесей из газа-носителя и превращение этих примесей в безвредные вещества.

Обезвреживание пылевоздушных выбросов основано на гидродинамических процессах и включает в себя следующие процессы:

1) механическое (сухое) разделение, к которому относят:

- осаждение – механический процесс выделения дисперсных частиц под действием силы тяжести, центробежной силы или сил инерции;

- фильтрование – механический процесс разделения неоднородных систем с использованием перегородок, которые задерживают твердые дисперсные частицы и пропускают сплошную фазу;

2) мокрое пылеулавливание – процесс выделения дисперсных частиц на поверхности контакта газа-носителя и жидкости;

3) электрическая очистка газов – выделение дисперсных частиц при помощи их ионизации электрическим разрядом с последующим осаждением на электродах.

Очистка газовых выбросов от аэрозольных частиц чаще всего проводится в две стадии. На первом этапе из газа-носителя удаляются крупные частицы при помощи осаждения, а на втором – удаляются более мелкие частицы одним или несколькими другими способами. В случае очистки газа от твердых аэрозольных частиц иногда предварительно применяют метод коагуляции (агрегации), а при очистке жидких аэрозольных частиц – метод конденсации путем охлаждения и повышения давления. Эти методы облегчают перечисленные процессы улавливания частиц.

Процессы обезвреживания газовых выбросов следующие:

- сорбция – массообменный процесс перехода загрязнителя из газовой среды в жидкость (абсорбция) или в твердый поглотитель (адсорбция);

- хемосорбция – сорбционный процесс, в котором загрязнитель вступает в химическую реакцию с поглотителем и образует нейтральное или легко удаляемое соединение;

- термическая деструкция – сжигание горючих вредных примесей;

- каталитические и термокаталитические процессы – обезвреживание токсичных примесей в результате химических превращений.

При очистке газовых выбросов от вредных примесей также иногда применяют предварительную конденсацию для облегчения процесса обезвреживания. В случае, если газовый выброс содержит и аэрозольные частицы, и вредные газы, то предварительно проводят его очистку от дисперсных частиц, а затем обезвреживание газообразных примесей.

Методы защиты гидросферы

Методы защиты гидросферы подразделяют на две группы:

Рекуперационные методы – процессы, направленные на извлечение из сточных вод ценных веществ с их последующей переработкой.

Деструктивные методы – процессы разрушения загрязняющих веществ путем окисления или восстановления с последующим удалением продуктов разрушения в виде газа или осадка.

Механизм очистки гетерогенных сточных вод во многом аналогичен методам очистки газов от аэрозольных примесей. Методы, применяемые только для очистки сточных вод, следующие:

- флотация – процесс прилипания не смачиваемых дисперсных частиц к поднимающимся пузырькам газа с последующим их удалением из поверхностного пенного слоя;
- коагуляция – процесс агрегации дисперсных частиц на поверхности хлопьев коагулянта;
- флокуляция – процесс агрегации дисперсных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений (флокулянтов), которые соединяют частицы между собой.

Методы очистки гетерогенных сточных вод подразделяют на две группы:

- очистка от грубодисперсных примесей, включающая процессы отстаивания, центробежного осаждения, фильтрации и флотации;
- очистка от тонкодисперсных примесей, включающая процессы коагуляции, флокуляции и электрофлотации.

Методы очистки гомогенных сточных вод основаны на следующих процессах:

- дистилляция (перегонка) и ректификация – массообменные процессы выделения из сточных вод загрязнителей при взаимодействии потоков жидкости и пара, полученного испарением разделяемой смеси. Образующиеся пары отводятся из системы и конденсируются;
- выпаривание – процесс концентрирования нелетучих (в том числе твердых) или малолетучих веществ путем удаления летучего растворителя в виде пара при температуре кипения. Образующиеся пары также отводятся из системы и конденсируются;

- адсорбция – массообменный процесс перехода загрязнителя в твердый поглотитель;
- ионный обмен – процесс обмена ионами между сточной водой и твердым веществом (ионитом);
- десорбция – извлечение газовых загрязнителей из воды с их переходом в газ;
- жидкостная экстракция (экстракция) – извлечение растворенного в сточной воде загрязнителя другой жидкостью, практически не смешивающейся или частично смешивающейся со сточной водой;
- кристаллизация – выделение твердых загрязнителей в виде кристаллов с их последующим удалением при помощи методов разделения гетерогенных систем;
- мембранные процессы – избирательное извлечение загрязнителей из сточных вод с помощью полупроницаемой перегородки (мембраны).

Методы переработки и утилизации твердых отходов

Утилизация твердых отходов представляет собой их размещение на полигонах и свалках, а также различные способы обжига, переплава и сжигания.

Переработка твердых отходов подразделяется на два метода.

1. Обработка осадков сточных вод, которую проводят несколькими способами:

- механическое обезвоживание – выделение жидкой фазы при помощи уплотнения и сгущения фильтрованием при разности давлений, фильтровании под действием центробежной силы (центрифугировании) или центробежном осаждении;
- термоокисление – обезвреживание органических примесей кислородом при высоких температурах;
- сушка – удаление влаги из твердых влажных материалов, в основном путем ее испарения;
- экстрагирование из твердых тел (выщелачивание) – извлечение жидкости на основе избирательной растворимости какого-либо вещества (или веществ) из твердого пористого материала;
- растворение – процесс перехода твердого загрязнителя в жидкую фазу;

- десорбция – извлечение газовых загрязнителей из твердого тела с их переходом в газ или жидкость.

2. Обработка твердых отходов производства и потребления – выделение из отходов ценных компонентов при помощи гравитационных, магнитных, электрических, флотационных и других процессов.

Методы защиты от энергетических воздействий

Выбор методов защиты от энергетических воздействий зависит от вида и формы проявления энергии. Основными методами являются уменьшение энергетических параметров в источнике путем рассеяния и отвода части энергии от места ее локализации в окружающую среду, оптимальная ориентация источника энергии относительно объекта воздействия, поглощение части генерируемой энергии на пути ее распространения способом изоляции, экранирования и демпфирования, защита расстоянием, проведение организационно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

1.4. Основы утилизации газообразных и жидких отходов

Основные понятия и определения

Процесс обработки отходов состоит из трех последовательных стадий:

Рекуперация – извлечение из отходов ценных компонентов, возвращаемых в технологический процесс.

Утилизация – переработка отходов одних видов производства в материалы, которые могут быть вторичными ресурсами для других видов производства.

Обезвреживание – обработка отходов, направленная на удаление токсичных примесей или на превращение этих примесей в безвредные.

Результат обработки отходов – повторное использование материалов, воды и воздуха в оборотных и замкнутых циклах производства, которые позволяют не только снизить антропогенное воздействие на окружающую среду, но и уменьшить расходы на сырьевые и энергетические ресурсы.

При этом рекуперацию отходов в основном проводят на производстве, являющемся источником этих отходов, а утилизацию – на

предприятиях, специализирующихся на переработке отходов. Принципиальным отличием утилизации от рекуперации также является необходимость этапа переработки выделенных из отходов компонентов перед их применением в технологических процессах. Например, из отходов деревоперерабатывающей промышленности (опилок, стружек, волокон) изготавливают различного рода древесно-слоистые пластики (ДСП), которые применяют для производства мебели.

В ряде случаев рекуперацию и утилизацию отходов не проводят из-за экономической нецелесообразности или невозможности осуществления, а для некоторых отходов невозможной является и стадия обезвреживания (например, радиоактивные отходы и диоксины).

В том случае, если после завершения всех стадий обработки отходы содержат вредные примеси в количестве, превышающем установленные нормативы, применяют два метода:

- рассеивание – уменьшение концентрации вредных примесей путём их распределения (разбавления) в больших объёмах природной среды. Этот метод в основном применяется для рассеивания выбросов в атмосфере и при сбросах сточных вод в водоёмы;
- захоронение – локализация и изоляция токсичных примесей, которые невозможно обезвредить. Этот метод в основном применяется для захоронения жидких и твердых отходов в герметичной таре на специальных полигонах.

Общие принципы обработки отходов

Выбор методов и путей обработки отходов зависит от количества, температуры, агрегатного состояния, химического состава и физико-химических свойств (в том числе по отношению к материалу очистного аппарата) загрязнителей. Выбор метода также определяется задачами, решаемыми при обработке отходов:

- отделение ценных для производства компонентов от основной массы отходов, удаляемых из процесса производства;
- очистка материального потока (вода, газ) от вредных примесей для его возврата в производство (регенерация потока) или перед его отводом в окружающую среду.

В первом случае обработка направлена на последовательное концентрирование выделяемых из потока компонентов, при котором уменьшается содержание основной фазы отходов. В результате выде-

ляемый компонент становится основной или единственной фазой продукта обработки. Во втором случае наоборот происходит постепенное уменьшение содержания примесей в основной массе потока, а продукт обработки представляет собой очищенный материал, воду или газ. Возможен также вариант решения сразу двух задач переработки отходов в том случае, если при регенерации потока выделяются ценные для производства компоненты.

Основным оборудованием, применяемым для обработки отходов, являются аппараты для улавливания компонентов и установки с регенерацией потоков. Вспомогательным оборудованием являются установки, предназначенные для переработки или обезвреживания отделенных компонентов.

При этом отдельно рассматривается обработка тепловых загрязнений, при которых высокая температура отходов используется в качестве источника тепла для технологических целей в различной теплообменной аппаратуре; например, теплота продуктов сгорания топлива в стекловаренных печах используется для подогрева воздуха, подаваемого в эти же печи на горение (рекуперация) или для обеспечения работы сушильных установок (утилизация).

Пути утилизации газообразных отходов

На первом этапе обработки газообразных отходов происходит отделение от основного газового потока аэрозольных примесей, а также вредных газов и паров. В результате получают осажденную и уловленную пыль, конденсат жидких примесей, загрязненные примесями реагенты (абсорбенты, адсорбенты и иониты) и очищенный газ, который возвращают в производство или отводят в окружающую среду.

На втором этапе обработки с этими веществами поступают следующим образом. Собранную в процессе очистки пыль достаточной крупности не подвергают дополнительной обработке, а при малых размерах из неё получают гранулы или брикеты. Затем пыль вновь возвращают в технологический процесс, в результате которого она была получена. Если рекуперация пыли невозможна, то её в зависимости от состава применяют как добавку в других производствах. Например, вводят в состав шихты при производстве стекла, керамики, цемента и различных сплавов. При необходимости пыль перерабатывают во вторичные ресурсы при помощи термических и химических методов.

Конденсат жидких примесей также подвергают рекуперации или применяют в качестве добавок в других производствах. При необходимости конденсат перерабатывают при помощи методов, применяемых для жидких отходов (таких как ректификация, экстракция и др.).

Загрязненные примесями реагенты в основном подвергают регенерации при помощи таких методов, как десорбция для адсорбентов и абсорбентов, абсорбция для адсорбентов, обработка химическими реагентами или термическая деструкция. После обработки реагенты в основном вновь применяют для процессов очистки и разделения газообразных отходов.

Распространённым способом утилизации газообразных отходов является прямое сжигание, совмещающее в себе стадии утилизации (отходы используются в качестве топлива в технологических целях) и обезвреживания.

Пути утилизации жидких отходов

На первом этапе обработки жидких отходов происходит отделение от основного потока жидкости взвешенных и растворенных примесей. В результате образуются осадки различной степени влажности, всплывающие примеси, ПАВ, масло- и нефтепродукты, твердые отходы, полученные в результате процеживания, жидкости, полученные при разделении эмульсий, загрязненные примесями реагенты (адсорбенты, экстрагенты и иониты), газы, полученные при десорбции, химической и биохимической очистке, а также очищенная жидкость (вода), которую возвращают в производство или отводят в окружающую среду.

На втором этапе обработки с этими веществами поступают следующим образом. Осадки сточных вод и другие твердые отходы (всплывающие примеси, отходы, полученные при процеживании) в зависимости от состава и потребности обрабатывают по одному из трех способов:

- подвергают сушке, при необходимости дробят, затем прессуют и применяют в качестве добавки к кормам или удобрениям, а также в качестве топлива;

- подвергают механическому обезвоживанию, затем окисляют кислородом при повышенных температурах, сушат и выделяют из них ценные компоненты при помощи экстрагирования (выщелачивания), растворения и десорбции;

- подвергают анаэробной биологической очистке для получения биогаза, используемого в качестве топлива и состоящего из метана CH_4 (50 – 87 %) и углекислого газа CO_2 (13 – 50 %) с примесями водорода H_2 и сероводорода H_2S .

Оставшиеся после второго и третьего способов переработки могут быть окончательно утилизированы по первому способу.

Распространённым способом утилизации сточных вод, не содержащих токсичные примеси, является орошение на полях фильтрации, при котором почва насыщается полезными для роста растений веществами, а оставшаяся вода отводится через дренажные системы.

Масло- и нефтепродукты в составе всплывающих примесей подвергают химической обработке и используют для производства различных видов топлива, в основном для обслуживания печей. ПАВ могут применяться в качестве добавок при производстве таких материалов, как цемент.

С жидкостями, полученными при разделении эмульсий, поступают так же, как с конденсатом, полученным при очистке газов от жидких аэрозолей. Реагенты, загрязнённые примесями сточных вод, подвергают регенерации и повторному использованию в процессах очистки.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры активных и пассивных методов защиты окружающей среды.
2. Как классифицируют загрязнения в зависимости от их природы? Приведите примеры каждой группы загрязнений.
3. Какие существуют виды неоднородных загрязнений?
4. Назовите источники естественных загрязнений.
5. Какие загрязнители попадают в окружающую среду в результате деятельности металлургических производств?
6. Какие загрязнители попадают в окружающую среду в результате деятельности химических производств?
7. Какие загрязнители попадают в окружающую среду в результате сельскохозяйственной деятельности?
8. Перечислите методы защиты атмосферы от промышленных выбросов.
9. Назовите методы защиты гидросферы от промышленных выбросов.
10. Расскажите о значении рекуперации и утилизации в процессе переработки отходов.

Глава 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1. Основы процессов осаждения

2.1.1. Обтекание потоком твердых тел

Гидродинамические сопротивления

Под обтеканием понимают движение жидкости относительно твердого тела (частицы), которое может двигаться или оставаться неподвижным. Закономерности в обоих случаях являются одинаковыми, поэтому в дальнейшем рассмотрим движение частицы в неподвижной среде.

При обтекании частицы жидкостью возникает сила сопротивления среды, включающая две составляющие: сопротивление трения и сопротивление давления. Величина силы сопротивления жидкости определяется по закону Ньютона:

$$R = F_{\text{ч}} \Delta p = F_{\text{ч}} \xi_{\text{ч}} \frac{\rho_{\text{с}} w_{\text{ч}}^2}{2},$$

где Δp – перепад давлений спереди и сзади частицы относительно направления движения, Па; $F_{\text{ч}}$ – площадь проекции поперечного сечения частицы на плоскость, перпендикулярную направлению её движения, м²; $\xi_{\text{ч}}$ – коэффициент гидродинамического сопротивления частицы трению; $\rho_{\text{с}}$ – плотность среды (жидкости), кг/м³; $w_{\text{ч}}$ – скорость движения частицы, м/с.

Величина гидродинамического сопротивления частицы зависит от режима движения частицы, определяемого по критерию Рейнольдса для режима обтекания:

$$Re_o = \frac{w_{\text{ч}} d_{\text{ч}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}} \quad \text{или} \quad Re_o = \frac{w_{\text{ч}} \Phi d_{\text{э}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}},$$

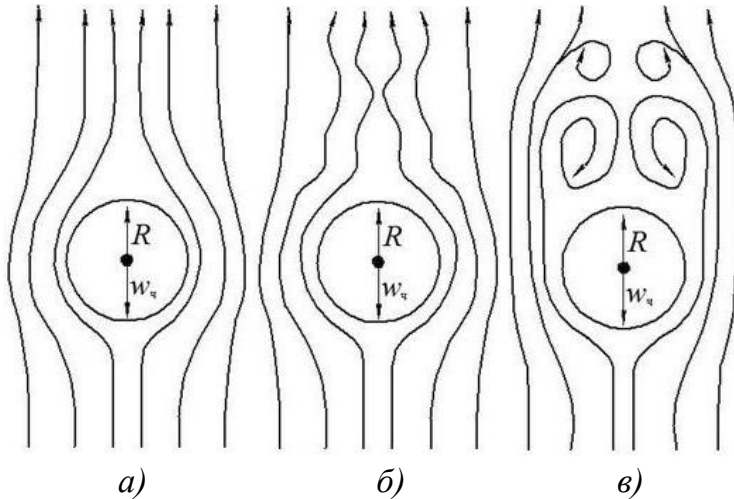
где $d_{\text{ч}}$ – диаметр шарообразной частицы, м; $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр частицы, равный диаметру шара, объем которого равен объему данной частицы, м; $\mu_{\text{с}}$ – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с; Φ – коэффициент формы, равный

$$\Phi = \frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{ч}}},$$

где $F_{\text{э}}$ – эквивалентная площадь частицы, м².

Существуют три режима движения обтекания частицы жидкостью (рис. 1):

1. Ламинарный режим наблюдается при $Re_o \leq 2$ (рис. 1, а), характерном для медленного движения очень мелких частиц в вязкой среде. Коэффициент гидравлического сопротивления определяется



трением обтекающих частицу слоев жидкости и рассчитывается по соотношению

$$\xi_{\text{ч}} = \frac{24}{Re_o}.$$

2. Переходный режим наблюдается при $2 < Re_o \leq 500$ (рис. 1, б). При этом режиме возникают силы инерции, приводящие к образованию завихрений и перепаду давлений Δp ,

а коэффициент гидравлического сопротивления определяется по соотношению

$$\xi_{\text{ч}} = \frac{18,5}{Re_o^{0,6}}.$$

3. Турбулентный режим наблюдается при $500 < Re_o \leq 2 \cdot 10^5$ (рис. 1, в). При этом режиме коэффициент гидравлического сопротивления определяется только силами инерции, т. е. Δp является величиной постоянной

$$\xi_{\text{ч}} = 0,44.$$

Гравитационное осаждение частиц

Рассмотрим процесс осаждения частицы в вязкой среде (рис. 2). Кроме силы сопротивления R на частицу действуют следующие силы:

- сила тяжести

$$G = m_{\text{ч}} g = \rho_{\text{ч}} V_{\text{ч}} g = \rho_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g,$$

где $m_{\text{ч}}$ – масса частицы, кг; $V_{\text{ч}}$ – объем частицы, м^3 ; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, $\text{кг}/\text{м}^3$;

- подъемная сила

$$A = \rho_c \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g.$$

Через короткий промежуток времени после начала осаждения сила сопротивления возрастает настолько, что наступает динамическое равновесие, при котором ускорение частицы становится равным нулю. С этого момента частица движется равномерно с постоянной скоростью, называемой скоростью осаждения $w_{\text{ос}}$. Уравнение равновесия процесса осаждения выглядит следующим образом:

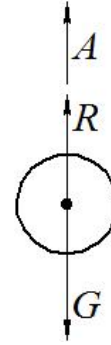


Рис. 2. Силы, действующие на частицу в вязкой среде

$$G = A + R;$$

$$\rho_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g = \rho_c \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g + \xi_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot \frac{\rho_c w_{\text{ос}}^2}{2}.$$

Тогда скорость гравитационного осаждения частицы

$$w_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{4d_{\text{ч}}(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)g}{4\xi_{\text{ч}}\rho_c}}.$$

Подставив в это уравнение значение коэффициента сопротивления для ламинарного режима, получим уравнение осаждения Стокса:

$$w_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{ч}}^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)g}{18\mu_c}.$$

Это уравнение имеет узкие границы применения. Максимальный размер частиц, осаждение которых подчиняется этому уравнению:

$$d_{\text{max}} = 3\sqrt{\frac{36\mu_c^2}{\rho_c g(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)}}.$$

Нижний предел применимости уравнения осаждения Стокса соответствует $Re_0 \approx 10^{-4}$. При более низких значениях Re_0 на скорость осаждения очень мелких частиц начинает влиять тепловое (броуновское) движение.

Поэтому в большинстве случаев скорость осаждения определяют по величине Re_0 :

$$w_{\text{ос}} = \frac{Re_0 \mu_c}{d_{\text{ч}} \rho_c}.$$

Величину Re_o определяют через значение критерия Архимеда для процесса обтекания:

$$Ar_o = \frac{gd^3\rho_c(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)}{\mu_c^2}.$$

Соотношения между критериями Re_o и Ar_o зависят от режима осаждения.

Для ламинарного режима при $Ar_o \leq 36$

$$Re_o = \frac{Ar_o}{18}.$$

Для переходного режима при $36 < Ar_o \leq 83000$

$$Re_o = 0,153Ar_o^{0,714}.$$

Для турбулентного режима при $Ar_o > 83000$

$$Re_o = 1,74\sqrt{Ar_o}.$$

Для всех режимов Re_o может быть рассчитан по обобщенному уравнению

$$Re_o = \frac{Ar_o}{18 + 0,575\sqrt{Ar_o}}.$$

Рассмотренные выше закономерности относятся к свободному осаждению, когда концентрация твердых частиц в жидкости очень мала и при своем движении они не соприкасаются друг с другом.

В промышленных аппаратах чаще всего происходит стесненное осаждение, характерное для высоких концентраций твердых частиц. Процесс осаждения осложняется трением между частицами и их взаимными столкновениями, а также тем, что крупные частицы обгоняют мелкие. В результате концентрация частиц сильно различается по высоте аппарата: в верхней части располагается слой осветленной жидкости, затем зона практически свободного осаждения, затем зона стесненного осаждения и на дне находится слой осадка.

Скорость стесненного осаждения также определяют по величине Re_o , которую рассчитывают по следующей зависимости:

$$Re_o = \frac{Ar_o \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,575\sqrt{Ar_o \varepsilon^{4,75}}},$$

где ε – объемная доля жидкости, определяемая по формуле

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{ж}}}{V_{\text{ж}} + V_{\text{т}}},$$

где $V_{\text{ж}}$, $V_{\text{т}}$ – объемы жидкости и твердых частиц соответственно, м^3 .

2.1.2. Гидродинамика зернистых слоев

Сопротивление слоя зернистого материала

Основные характеристики, определяющие гидравлическое сопротивление слоя зернистого материала или перепад давлений Δp :

- удельная поверхность a , $\text{м}^2/\text{м}^3$ – поверхность частиц материала, находящихся в единице объема, занятого этим материалом;
- доля свободного объема (порозность слоя) ε – отношение объема свободного пространства между частицами $V_{\text{св}}$ к общему объему материала $V_{\text{м}}$:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{св}}}{V_{\text{м}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{м}}},$$

где $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность материала, т. е. плотность с учетом свободного объема, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{м}}$ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

- эквивалентный диаметр зернистого слоя $d_{\text{э}}$, м – суммарное поперечное сечение каналов в зернистом слое:

$$d_{\text{э}} = \frac{4\varepsilon}{a} = \frac{2\Phi\varepsilon d_{\text{ч}}}{3(1-\varepsilon)}.$$

Скорость течения жидкости в каналах зернистого слоя определяют по соотношению

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon},$$

где w_0 – фиктивная скорость, определяемая по уравнению объемного расхода

$$w_0 = \frac{V_{\text{ч}}}{F_{\text{ч}}}.$$

Гидравлическое сопротивление слоя определяется по уравнению

$$\Delta p = \lambda \frac{h}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho_{\text{м}} w^2}{2g} = \frac{3(1-\varepsilon)}{2\Phi\varepsilon^3} \lambda \frac{h}{d_{\text{ч}}} \cdot \frac{\rho_{\text{м}} w_0^2}{2},$$

где λ – общий коэффициент сопротивления трения и местных сопротивлений, возникающих при обтекании отдельных элементов слоя; h – высота зернистого слоя, м.

Коэффициент сопротивления λ зависит от гидродинамического режима движения потока через слой зернистого материала, т. е. от критерия Рейнольдса, выраженного в модифицированном виде:

$$Re_M = \frac{4w_0\rho_c}{a\mu_c} \quad \text{или} \quad Re_M = \frac{2\Phi}{3(1-\varepsilon)} \cdot \frac{w_0 d_{\text{ч}} \rho_c}{\mu_c}.$$

Соотношения между критериями Re_M и λ выглядят следующим образом:

- для ламинарного режима при $Re_M < 50$

$$\lambda = \frac{133}{Re_M};$$

- для переходного режима при $50 < Re_M < 7000$

$$\lambda = \frac{133}{Re_M} + 2,34;$$

- для турбулентного режима при $Re_M > 7000$

$$\lambda = 2,34.$$

Следовательно, для ламинарного режима может быть получено следующее уравнение для определения гидравлического сопротивления слоя:

$$\Delta p = 150 w_0 \frac{(1-\varepsilon)^2 \mu h}{\Phi^2 \varepsilon^3 d_{\text{ч}}^2}.$$

Режимы движения жидкости через зернистые материалы

Рассмотрим три основных состояния слоя зернистого материала в зависимости от скорости жидкости или газа (рис. 3):

- газ или жидкость при небольшой скорости потока (рис. 3, а) проходит сквозь слой зернистого материала, как через фильтр, и режим называется режимом фильтрации. При этом частицы материала находятся в неподвижном состоянии и перепад давления или сопротивление слоя увеличиваются по мере увеличения скорости потока. Величина гидравлического сопротивления определяется по рассмотренным выше формулам;

- при достижении определенной скорости (рис. 3, б), называемой скоростью начала псевдооживления $w_{\text{пс}}$, промежутки между частицами увеличиваются, сами частицы начинают перемещаться и перемешиваться, а перепад давления становится постоянным. При этом увеличиваются порозность слоя и его высота. В этом состоянии слой напоминает кипящую жидкость и называется псевдооживленным, или кипящим;

- при достижении критической скорости (рис. 3, в), называемой скоростью уноса $w_{ун}$, частицы подхватываются и уносятся потоком жидкости. Число частиц в слое уменьшается, порозность такого слоя стремится к единице, а гидравлическое сопротивление уменьшается. Унос частиц из слоя называют гидро- или пневмотранспортом и используют для перемещения сыпучих материалов.

Графически режимы движения жидкости через слой зернистого материала отображаются на кривой псевдооживления (рис. 4).

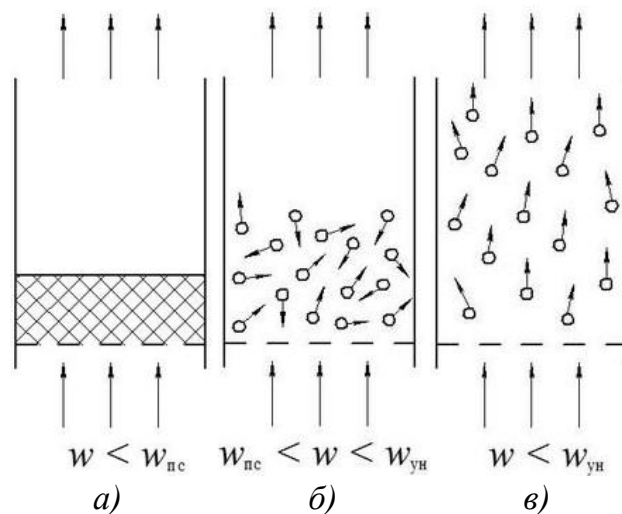


Рис. 3. Движение жидкости через слой зернистого материала: а – неподвижный слой; б – псевдооживленный слой; в – режим уноса

Гидродинамика псевдооживленных слоев

В начальный момент псевдооживления гидравлическое сопротивление слоя становится равным весу слоя материала G , отнесенного к его площади поперечного сечения F :

$$\Delta p = \frac{G}{F} = h(\rho_m - \rho_c)(1 - \varepsilon)g = \text{const.}$$

При этом частицы материала переходят во взвешенное (псевдооживленное) состояние и совершают колебательные движения в потоке жидкости со скоростью, называемой скоростью витания $w_{вит}$. Если скорость потока уменьшится, то твердые частицы начнут осаждаться под действием гравитационных сил. Таким образом, чтобы исключить такие явления, как осаждение и унос, необходимо, чтобы скорость потока находилась в интервале

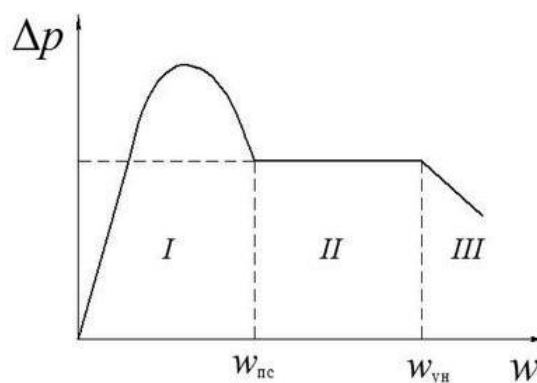


Рис. 4. Кривая псевдооживления: I – режим фильтрации; II – режим псевдооживления; III – режим уноса

$$w_{пс} < w_{вит} < w_{ун}$$

Интенсивность перемешивания частиц при псевдоожигении характеризуется числом псевдоожигения

$$K_{\text{пс}} = \frac{w}{w_{\text{пс}}}.$$

Оптимальным значением для псевдоожигения является $K_{\text{пс}} = 2$.

Структура псевдоожигенного слоя зависит от скорости и вида жидкости. При применении капельных жидкостей и скоростях потока, незначительно превышающих $w_{\text{пс}}$, наблюдается однородное псевдоожигение, характеризуемое равномерным увеличением высоты слоя без существенных колебаний его верхней границы. При применении упругих жидкостей (газов) и с увеличением скорости потока (с увеличением $K_{\text{пс}}$) наблюдается неоднородное псевдоожигение, характеризуемое образованием в слое пузырей газа, приводящих к резким колебаниям высоты слоя и выбросам частиц при выходе пузырей из слоя.

Для сохранения однородности псевдоожигения необходимо определить скорость начала псевдоожигения. Величину скорости определяют по величине Re для процесса псевдоожигения:

$$w_{\text{пс}} = \frac{Re_{\text{пс}} \mu_c}{d_{\text{ч}} \rho_c}.$$

В случае монодисперсного слоя применяют уравнение

$$Re_{\text{пс}} = \frac{Ar_0}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar_0}}.$$

Скорость уноса определяют аналогично расчету скорости гравитационного осаждения частиц по уравнению, пригодному для всех режимов движения частиц:

$$Re_{\text{ун}} = \frac{Ar_0}{18 + 0,575 \sqrt{Ar_0}}.$$

2.2. Интенсификация процессов осаждения

Инерционное осаждение частиц

Для увеличения скорости осаждения частиц и уменьшения расстояния оседания применяют метод инерционного осаждения, при котором аэрозоль движется с большой скоростью, а затем изменяет направление своего движения. Дисперсные частицы, находящиеся в

аэрозоле, под действием сил инерции продолжают первоначальное направление движения и оседают на поверхности, обтекаемой газовым потоком (рис. 5). Величина силы инерции, действующей на частицу, определяется выражением

$$F_{\text{и}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \cdot \frac{\rho_{\text{ч}}(w_{\text{ч}} - w_{\text{с}})^2}{2} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \cdot \frac{\rho_{\text{ч}} w_{\text{и.ос}}^2}{2},$$

где $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы, м; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м³; $w_{\text{ч}}$, $w_{\text{с}}$ – скорость частицы под действием силы инерции и скорость среды соответственно, м/с; $w_{\text{и.ос}}$ – скорость инерционного осаждения, м/с.

Для оценки эффективности инерционного осаждения применяют инерционный параметр, характеризующий отношение силы инерции, действующей на частицу, к силе сопротивления среды:

$$K_{\text{и}} = \frac{F_{\text{и}}}{R} = \frac{2d_{\text{ч}}\rho_{\text{ч}}w_{\text{и.ос}}^2}{3l\xi_{\text{ч}}\rho_{\text{с}}w_{\text{с}}^2},$$

где l – расстояние, которое частица проходит до остановки под действием силы инерции, м.

Для расчета гидродинамического сопротивления частицы и скорости инерционного осаждения применяют формулы для гравитационного осаждения.

Чем больше значение инерционного параметра, тем больше траектория движения частицы будет отклоняться от траектории движения потока аэрозоля при изменении направления движения. Для оценки вероятности инерционного осаждения частицы применим критерий инерционного осаждения:

$$K_{\text{и.ос}} = K_{\text{и}} \frac{ld_{\text{т}}}{d_{\text{ч}}^2} = \frac{2d_{\text{т}}\rho_{\text{ч}}w_{\text{и.ос}}^2}{3d_{\text{ч}}\xi_{\text{ч}}\rho_{\text{с}}w_{\text{с}}^2},$$

где $d_{\text{т}}$ – характерный геометрический размер обтекаемого тела (длина $l_{\text{ч}}$ для плоских тел или диаметр $d_{\text{ч}}$ для сферических и цилиндрических тел), м.

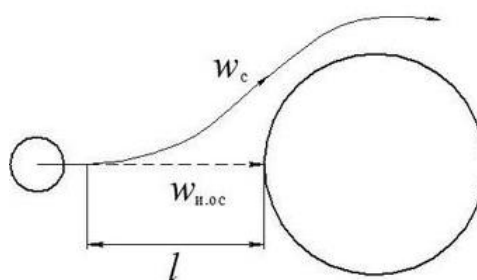


Рис. 5. Осаждение частицы под действием силы инерции

Центробежное осаждение частиц

Для увеличения скорости осаждения частиц и для более полной очистки используют действие центробежной силы. Для создания поля центробежных сил используют два способа:

- 1) обеспечивают вращательное движение потока в неподвижном аппарате;
- 2) поток направляют во вращающийся аппарат, где он начинает вращаться вместе с аппаратом.

В первом случае происходит циклонный процесс, во втором – ротационное пылеулавливание или осадительное (отстойное) центрифугирование.

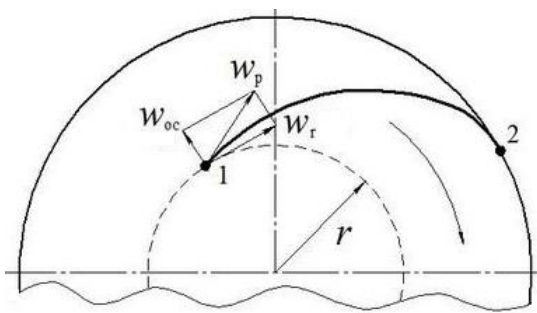


Рис. 6. Осаждение частицы под действием центробежной силы

Сущность процесса осаждения под действием центробежной силы заключается в том, что во вращающемся потоке на взвешенную частицу действует центробежная сила, направляющая ее от центра по радиусу со скоростью центробежного осаждения w_{oc} (рис. 6). Если обозначить окружную скорость потока, несущего частицу, через w_r , то ча-

стица будет двигаться с результирующей скоростью w_p по спирали от центра вращения по траектории, обозначенной линией 1 – 2 на рис. 6, и оседать на стенках аппарата.

Величина центробежной силы, действующей на частицу, определяется выражением

$$F_{ц} = \frac{m_{ч} w_r^2}{r},$$

где $m_{ч}$ – масса частицы, кг; r – расстояние частицы от оси вращения, м.

Для оценки эффективности центробежного осаждения применяют фактор разделения, определяемый по соотношению

$$K_p = \frac{F_{ц}}{F_T} = \frac{m_{ч} w_r^2}{r} \cdot \frac{1}{m_{ч} g} = \frac{w_r^2}{rg},$$

где F_T – сила тяжести, действующая на частицу, Н.

Таким образом, центробежная сила, действующая на частицу, больше силы тяжести во столько раз, во сколько ускорение центробежной силы w_r^2 / r больше ускорения свободного падения g . Поэтому

у аппаратов для центробежного осаждения выше производительность, и в них можно эффективно отделять более мелкие частицы.

Для расчета скорости осаждения за счет центробежной силы можно использовать формулы для скорости гравитационного осаждения, если в качестве определяющего критерия применять модифицированный критерий Архимеда:

$$Ar_M = Ar_o K_p = \frac{g d_q^3 \rho_c (\rho_q - \rho_c)}{\mu_c^2} \cdot \frac{w_r^2}{rg} = \frac{w_r^2 d_q^3 \rho_c (\rho_q - \rho_c)}{\mu_c^2 g}$$

Материальный баланс процесса разделения

Разделение неоднородных систем проводится с целью очистки жидкости и газа от содержащихся в них вредных примесей, а также извлечения ценных компонентов из жидкости или газа. При отсутствии потерь вещества в процессе разделения можно записать следующие уравнения материального баланса:

- по всему веществу:

$$M_{исх} = M_{оч} + M_{ос};$$

- по диспергированному веществу:

$$M_{исх} x_{исх} = M_{оч} x_{оч} + M_{ос} x_{ос},$$

где $M_{исх}$, $M_{оч}$, $M_{ос}$ – массовые расходы исходной смеси фаз, очищенной сплошной фазы и осадка (сгущенной дисперсной фазы), кг/с; $x_{исх}$, $x_{оч}$, $x_{ос}$ – концентрация диспергированного вещества в исходной смеси фаз, очищенной сплошной фазе и осадке в массовых долях, кг/кг.

Если в расчетах используют объемные расходы V , м³/с, и концентрации, выраженные в объемных долях a , м³/м³, то для пересчета величины из одной размерности в другую вводят понятие плотности гетерогенной смеси:

$$\rho_{см} = a_d \rho_d + (1 - a_d) \rho_c = \frac{1}{\frac{x_d}{\rho_d} + \frac{1 - x_d}{\rho_c}},$$

где a_d , x_d – концентрация дисперсной фазы, выраженная соответственно в массовых или объемных долях; ρ_d – плотность дисперсной фазы, кг/м³; ρ_c – плотность дисперсной среды, кг/м³.

Эффективность процесса разделения оценивают по степени очистки (степени извлечения) сплошной фазы (газа или жидкости):

$$\eta = \frac{x_{исх} - x_{оч}}{x_{исх}} 100.$$

2.3. Закономерности процессов фильтрования

Физическая сущность процесса

Фильтрование – процесс разделения неоднородных систем с использованием перегородок, которые задерживают твердые дисперсные частицы и пропускают сплошную фазу. С его помощью можно добиться значительно более полной, чем в процессах осаждения, степени разделения.

Процесс фильтрования включает в себя три стадии: разделение неоднородной системы, очистку перегородки от дисперсной фазы (регенерация фильтра), а также очистку и сушку твердых частиц.

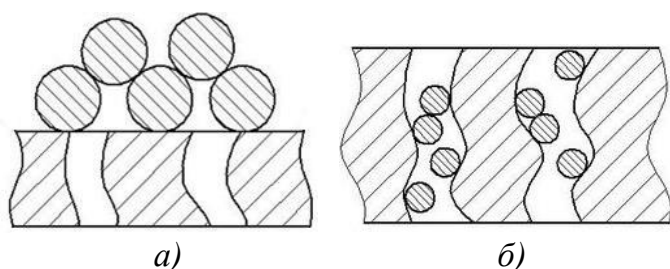


Рис. 7. Механизмы фильтрования: а – с образованием осадка; б – с закупориванием пор

Различают три механизма процесса фильтрования:

- фильтрование с образованием осадка (рис. 7, а) происходит, когда диаметр частиц больше диаметра пор перегородки. В результате входы в поры перегородки перекрываются сводами из взвешенных частиц, которые предохраняют каналы от засорения и образуют слой осадка, толщина которого увеличивается со временем. При этом осадок выполняет роль фильтрующей перегородки, задерживая частицы дисперсной фазы, размер которых больше диаметра капилляров осадка. С увеличением толщины слоя осадка увеличивается его гидравлическое сопротивление и уменьшается скорость процесса;

- фильтрование с закупориванием пор (рис. 7, б) происходит, когда твердые частицы проникают в поры перегородки и задерживаются в них. Со временем частицы закупоривают поры, что приводит к уменьшению рабочего сечения фильтра и повышению его гидравлического сопротивления;

- промежуточный вид фильтрования наблюдается при одновременном закупоривании пор перегородки и образованием осадка на ее поверхности.

Первый механизм фильтрования предпочтительней, так как можно легко провести регенерацию фильтра.

Параметры работы фильтра во многом определяются выбором фильтровальной перегородки, которая должна обеспечивать необходимую степень задержания частиц при минимальном гидравлическом сопротивлении. Перегородка также должна легко отделяться от дисперсной фазы и обладать достаточной механической прочностью.

Движущей силой процесса фильтрования является разность давлений до и после фильтра. Если эта разность создается при помощи насоса или компрессора, то происходит фильтрование под действием перепада давления, если с помощью центробежных сил, то происходит центробежное фильтрование (центрифугирование).

Фильтрование суспензий под действием перепада давлений

Рассмотрим процесс фильтрования суспензии (рис. 8). Фильтр представляет собой сосуд, разделенный на две части фильтровальной перегородкой. Суспензию помещают в верхнюю часть сосуда и создают разность давлений $\Delta p = p_1 - p_2$ между частями сосуда, под действием которой жидкость проходит через поры (капилляры) фильтровальной перегородки, образуя фильтрат. Твердые частицы задерживаются на поверхности перегородки и образуют осадок. Осадки подразделяют на сжимаемые и несжимаемые в зависимости от того, уменьшается пористость осадка при увеличении разности давлений или остается практически постоянной.

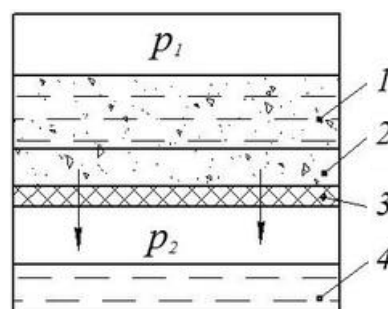


Рис. 8. Схема процесса фильтрования: 1 – суспензия; 2 – слой осадка; 3 – фильтрующая перегородка; 4 – фильтрат

Эффективность процесса фильтрования характеризуется скоростью фильтрования, т. е. количеством фильтрата, переносимого в единицу времени через единицу площади. За счет малого размера пор осадка и перегородки, а также малой скорости движения жидкой фазы процесс происходит в ламинарном режиме. При этом скорость фильтрования прямо пропорциональна разности давлений и обратно пропорциональна вязкости жидкости и суммарному гидравлическому сопротивлению слоя осадка $R_{ос}$ и фильтрующей перегородки $R_{ф.п.}$:

$$w_{\phi} = \frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{oc} + R_{\phi.п})} = \frac{\Delta p}{\mu\left(\frac{r_0 x_0 V}{F} + R_{\phi.п}\right)},$$

где V – объем осадка, m^3 ; F – площадь поверхности фильтрования, m^2 ; x_0 – коэффициент пропорциональности, зависящий от концентрации твердой фазы и структуры осадка, равный объему осадка, образующегося при прохождении $1 m^3$ фильтрата; r_0 – удельное объемное сопротивление слоя осадка, т. е. сопротивление, оказываемое потоку жидкости слоем осадка высотой $1 m$, m^{-2} .

Это уравнение называется дифференциальным уравнением фильтрования, а величины x_0 , r_0 и $R_{\phi.п}$ – константами фильтрования, которые определяют экспериментально.

Большинство фильтров работает при постоянной разности давлений. Для этого случая получим следующее уравнение фильтрования:

$$V^2 + \frac{2R_{\phi.п}FV}{r_0 x_0} = \frac{2\Delta p F^2 \tau}{\mu r_0 x_0}.$$

Процесс промывки можно рассматривать как фильтрование при постоянных разности давлений и скорости. Для этого случая получим следующее уравнение фильтрования:

$$V = \frac{\Delta p F \tau}{\mu(r_0 h_{oc} + R_{\phi.п})},$$

где h_{oc} – высота слоя осадка, определяемая по выражению

$$h_{oc} = \frac{x_0 V}{F}.$$

Скорость фильтрования можно также определить по формуле

$$w_{\phi} = \frac{\Delta p d_k^2}{32\mu l_k} \varepsilon = \frac{\Delta p d_q^2 \alpha^2}{32\mu h_{oc} \beta} \varepsilon,$$

где d_k – диаметр капилляра перегородки, m ; l_k – длина капилляра перегородки, m ; ε – порозность слоя осадка; d_q – диаметр частиц слоя осадка, m ; α , β – коэффициенты пропорциональности.

Центробежное фильтрование суспензий

Рассмотрим процесс фильтрования суспензии под действием центробежной силы (рис. 9). Этот процесс проводят в фильтрующих центрифугах, которые отличаются от осадительных тем, что они

имеют барабан с перфорированной стенкой, покрытой изнутри фильтровальной перегородкой, на которой формируется слой осадка.

В общем случае процесс фильтрации в центрифугах складывается из трех стадий: образование осадка, уплотнение осадка и его механическая сушка (отжим). Временные границы между стадиями условны.

Разность давлений, создаваемая по обе стороны фильтровальной перегородки, определяется выражением

$$\Delta p = 2\pi^2 \rho_{\text{см}} n (r_2^2 - r_1^2),$$

где n – частота вращения барабана, мин^{-1} ; $\rho_{\text{см}}$ – плотность суспензии, кг/м^3 ; r_1 – радиус суспензии в барабане, м; r_2 – наружный радиус суспензии в барабане, равный диаметру барабана, м.

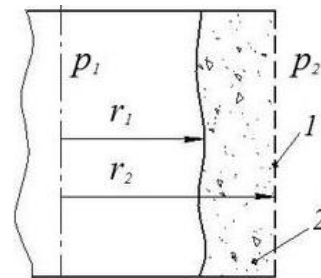


Рис. 9. Схема процесса центробежного фильтрации: 1 – стенка барабана; 2 – осадок

Контрольные вопросы

1. Как определить коэффициент гидродинамического сопротивления частицы трению при обтекании?
2. Какие силы действуют на частицу при осаждении?
3. Чему равна скорость гравитационного осаждения частицы?
4. Какой должна быть скорость потока для обеспечения режима псевдооживления?
5. Перечислите способы интенсификации процесса осаждения.
6. Каким образом можно повысить эффективность центробежного осаждения?
7. Составьте материальный баланс процесса разделения неоднородной системы.
8. Какие существуют механизмы процесса фильтрации?
9. Что является движущей силой процесса фильтрации?
10. В чём заключаются особенности центробежного фильтрации суспензий?

Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ

3.1. Аппараты для осаждения аэрозольных частиц

3.1.1. Гравитационные и инерционные осадители

Простейшим устройством для очистки газов от пыли являются отстойные газоходы (рис. 10), которые одновременно могут выполнять роль классификаторов, в которых частицы разного диаметра (разной массы) будут осаждаться в разные пылесборники. Для лучшего осаждения пыли в газоходах иногда устраивают вертикальные перегородки для удлинения пути газа и уменьшения его скорости, что способствует лучшему пылеулавливанию. Это также способствует пылеулавливанию под действием сил инерции.

Гравитационную очистку газов от пыли проводят в пылеосадительных камерах (рис. 11). В этих аппаратах газ проходит в каналах между горизонтальными полками, на поверхности которых осажается пыль. Пройдя полки, газ огибает вертикальную отражательную перегородку и удаляется из камеры. При огибании перегородки из газового потока под действием сил инерции также удаляется часть пыли. Осевшая на полках пыль периодически удаляется с помощью скребков через люки или же смывается водой.

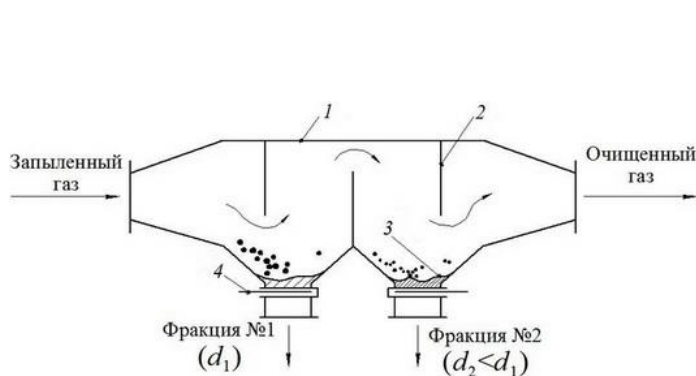


Рис. 10. Отстойный газоход: 1 – корпус; 2 – перегородки; 3 – пылесборники; 4 – регулирующие шиберы

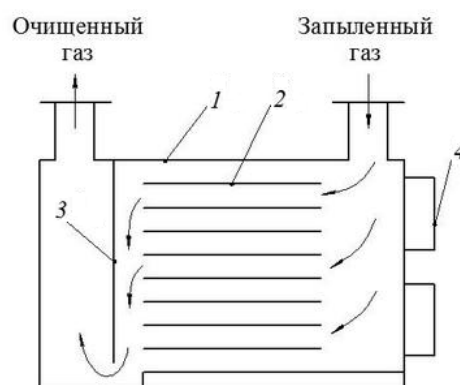


Рис. 11. Пылеосадительная камера: 1 – корпус; 2 – полки; 3 – отражательная перегородка; 4 – люки для удаления пыли

3.1.2. Центробежные осадители

В аппаратах, основанных на использовании центробежного осаждения, могут применяться два принципиальных конструктивных решения: поток аэрозоля вращается в неподвижном корпусе аппарата (циклонный процесс) или движется во вращающемся роторе.

В промышленности наиболее распространены циклоны, представляющие собой аппараты, состоящие из цилиндрической части высотой $H_{ц}$ и конической части высотой $H_{к}$. Для отделения от потока газа твердых частиц и капель жидкости применяют преимущественно цилиндрические циклоны (рис. 12), в которых выполняется соотношение высот

$$H_{ц} > H_{к}.$$

Разделяемая смесь подается по касательной к стенке корпуса аппарата и приобретает вращательное движение вокруг трубы для вывода очищенной сплошной фазы, расположенной по оси аппарата. Частицы дисперсной фазы под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам корпуса. В результате в аппарате создаются два спиральных потока: внешний поток, насыщенный дисперсной фазой, который движется вниз вдоль стенок корпуса, и внутренний поток очищенной сплошной фазы вблизи оси аппарата, который поднимается вверх.

Степень очистки в циклонах можно увеличить путем уменьшения радиуса вращения потока, так как увеличение скорости потока приводит к турбулентности потока и повышению гидравлического сопротивления, что ухудшает процесс осаждения. Поэтому при больших расходах разделяемой смеси вместо одного аппарата применяют несколько циклонных элементов меньшего размера, объединенных в одном корпусе. Такие аппараты называют батарейными циклонами.

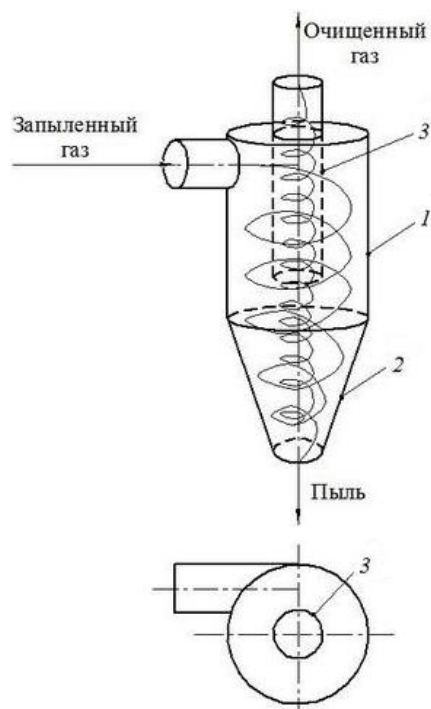
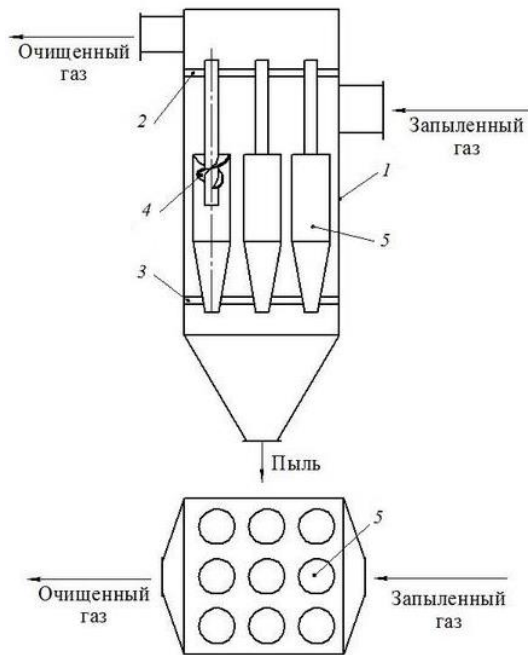


Рис. 12. Циклон: 1 – цилиндрическая часть; 2 – коническая часть; 3 – центральная труба

В таких аппаратах (рис. 13) циклонные элементы устанавливаются



параллельными рядами и закрепляют в трубных решетках. Разделяемая смесь подается в распределительную камеру между трубными решетками и, попадая в элементы, приобретает вращательное движение при помощи лопастных устройств. Очищенная сплошная фаза выходит из элементов по трубам и удаляется через верхний штуцер, а дисперсная фаза из всех элементов поступает в общий бункер.

Рис. 13. Батарейный циклон:
1 – газораспределительная камера;
2, 3 – трубные решетки;
4 – лопастные устройства;
5 – циклонный элемент

В промышленности также применяются ротационные пылеуловители (рис. 14), которые одновременно с перемещением воздуха очищают его от фракции пыли крупнее 5 мкм.

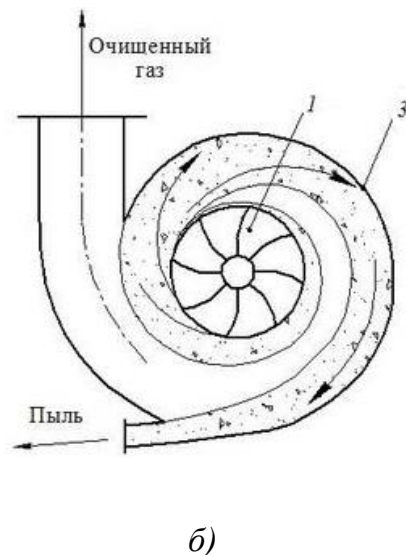
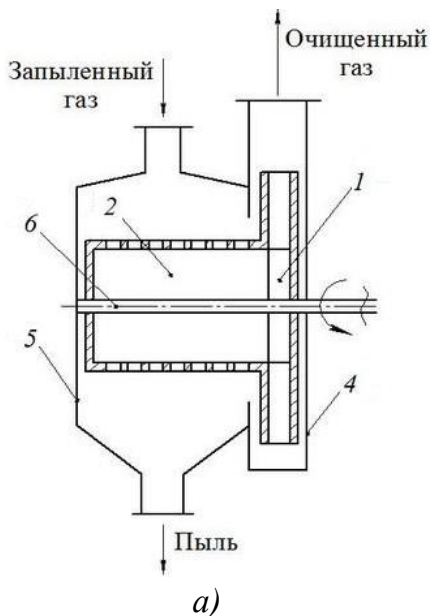


Рис. 14. Ротационные пылеуловители: а – соединенный с вентилятором;
б – совмещенный с вентилятором: 1 – вентиляторное колесо; 2 – ротор;
3 – кожух; 4 – корпус вентилятора; 5 – корпус пылеуловителя

В пылеуловителях, соединенных с вентилятором (рис. 14, а), ротор и колесо вентилятора помещены на общий вал. Запыленный газ, попадая внутрь корпуса пылеуловителя, закручивается вокруг ротора. Пылевые частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам кожуха и под действием силы тяжести падают вниз. Очищенный газ через перфорацию ротора всасывается в вентилятор и выводится из аппарата. В пылеуловителях, совмещенных с вентилятором (рис. 14, б), частицы пыли при вращении лопастного колеса отбрасываются к стенке корпуса и движутся по ней в направлении лопастного отверстия.

3.2. Газовые фильтры и туманоуловители

Газовые фильтры

Принцип действия газовых фильтров тот же, что и для разделения суспензий, однако в большинстве случаев они работают по механизму закупоривания пор. В зависимости от типа фильтровальной перегородки различают следующие типы фильтров:

1) с гибкими пористыми перегородками из природных, синтетических и минеральных волокон (тканевые материалы), нетканых волокнистых материалов (войлок, картон и др.), металлоткани и т. п.;

2) полужесткими пористыми перегородками (слои из волокон, металлических сеток и др.);

3) жесткими пористыми перегородками (из керамики, пластмасс, спеченных или спрессованных металлических порошков);

4) зернистыми перегородками (слой кокса, гравия, песка и др.).

Наиболее широко применяются рукавные фильтры (рис. 15). Внутри корпуса фильтра находятся тканевые мешки (рукава), нижние

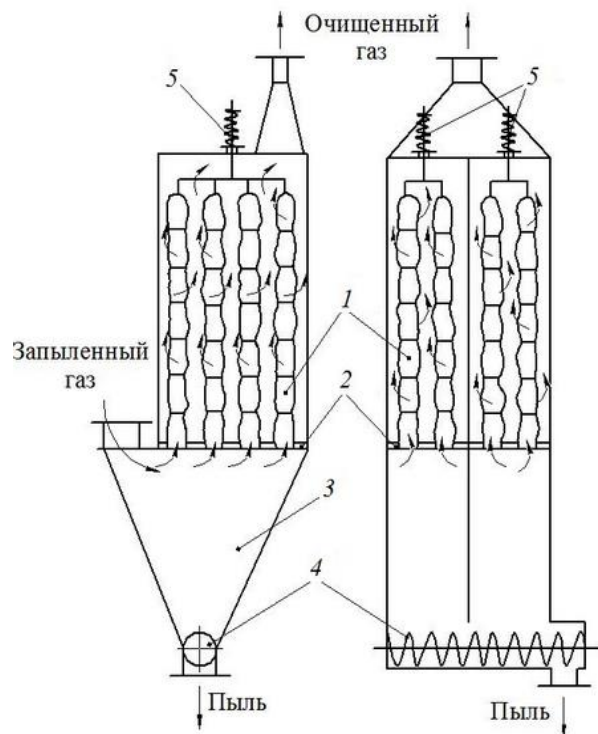


Рис. 15. Рукавный фильтр: 1 – рукава с кольцами жесткости; 2 – трубная решетка; 3 – разгрузочный бункер; 4 – шнек; 5 – устройства для встряхивания рукавов

открытые концы которых закреплены на патрубках трубной решетки, а верхние – подвешены на общей раме.

Запыленный газ, попадая внутрь рукавов, проходит через ткань рукавов, очищается от пыли и выходит из аппарата. Пыль осаждается на внутренней поверхности и в порах ткани, при этом гидравлическое сопротивление фильтра возрастает. Очистку рукавов от пыли производят путем их встряхивания с помощью устройства 5, пыль падает в разгрузочный бункер и удаляется из аппарата. Кроме того, рукава продувают воздухом, подаваемым с наружной стороны, т.е. в направлении, обратном направлению движения очищаемого газа.

Для того чтобы рукава при продувке не сплющивались, они снабжены кольцами жесткости. Чтобы обеспечить непрерывность

процесса газоочистки, рукавные фильтры делают многосекционными: пока в одних секциях происходит фильтрование, в других проводится регенерация рукавов.

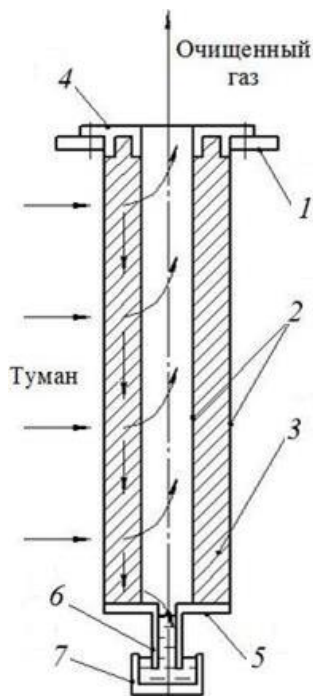


Рис. 16. Низкоскоростной туманоуловитель:

- 1 – корпус фильтрэлемента;
- 2 – сетчатые цилиндры;
- 3 – фильтрующий материал;
- 4, 5 – фланцы;
- 6 – трубка гидрозатвора;
- 7 – стакан

Туманоуловители

Для очистки воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей используют туманоуловители, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности волокон и пор по ранее рассмотренным для твердых частиц механизмам с последующим стеканием жидкости под действием сил тяжести.

Фильтрующий элемент туманоуловителя (рис. 16) состоит из двух цилиндров, изготовленных из сеток. Цилиндры закрепляются при помощи фланцев, а в пространство между ними помещается волокнистый фильтрующий материал. Жидкость, стекая по фильтрующему материалу, попадает на нижний фланец, а затем через трубку гидрозатвора попадает в стакан и удаляется из

фильтра. В качестве волокнистого материала применяют стекловолокна или полимерные волокна. Туманоуловители обеспечивают вы-

сокую степень очистки от частиц свыше 7 мкм. В этих аппаратах возможно улавливание частиц меньшего размера, но при этом повышают скорость фильтрования и уменьшают габаритные размеры фильтра.

При этом повышается брызгоунос с выходной стороны фильтр-элемента, поэтому в высокоскоростных туманоуловителях устанавливают брызгоотбойники из пакетов сеток.

3.3. Мокрая газоочистка

Физическая сущность процесса

Мокрую очистку применяют в тех случаях, когда допустимы увлажнение и охлаждение очищаемого газа, а отделяемые взвешенные частицы имеют незначительную ценность. Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью по двум механизмам, действующим одновременно:

- при соприкосновении жидкость захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама;
- при охлаждении влажного газа находящиеся в нем водяные пары конденсируются на поверхности частиц (центров конденсации), что повышает их массу и облегчает улавливание.

Поверхностью контакта между газом и жидкостью может являться поверхность стекающей пленки (насадочные и центробежные скрубберы), поверхность капель (полые скрубберы) и пузырьки газа (барботажные пылеуловители).

Соприкосновение дисперсных частиц с поверхностью жидкости происходит под действием силы, которая движет частицу:

- силы тяжести при прямолинейном движении газа через аппарат;
- сил инерции при резком изменении направления газового потока;
- центробежных сил при вводе газа в аппарат с большой скоростью по касательной к внутренней поверхности аппарата.

При мокрой очистке образуются сточные воды, содержащие уловленные дисперсные частицы, которые отделяют в отстойниках и аппаратах циклонного типа. Таким образом, одновременно достигается экономия свежей воды и защита окружающей среды от загрязнения.

Конструкции скрубберов

Простейшими аппаратами для мокрой очистки и одновременно охлаждения газов являются полые скрубберы – вертикальные колонны круглого или прямоугольного сечения (рис. 17, а).

Колонна орошается водой, которая разбрызгивается через форсунки. Запыленный газ может подаваться как снизу колонны, так и сверху. Второй вариант предпочтительнее, так как достигается более равномерное распределение газа по сечению колонны и интенсифицируется процесс его охлаждения. Полые скрубберы также отличаются малым гидравлическим сопротивлением.

Насадочные скрубберы (рис. 17, б) представляют собой цилиндр, заполненный насадкой – различными по конфигурации телами, которые служат для развития поверхности контакта.

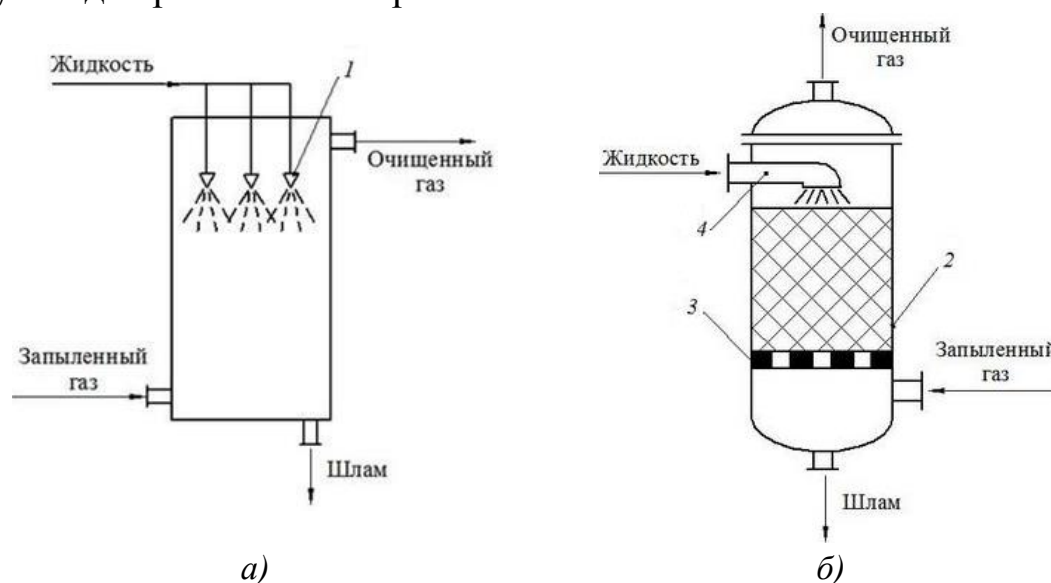


Рис. 17. Скрубберы: а – пустой; б – насадочный: 1 – форсунки; 2 – насадка; 3 – газораспределительная решетка; 4 – распределитель жидкости

Для очистки запыленных газов используют насадку из крупных элементов, укладываемых правильными рядами. Это снижает гидравлическое сопротивление аппарата и облегчает его очистку. Эти аппараты предназначены для конденсации паров или охлаждения газов какой-либо жидкостью, обычно водой. Эту жидкость через распределительное устройство подают на насадку. Жидкость под действием силы тяжести растекается по поверхности насадки, увеличивая поверхность контакта с поднимающимися снизу паром или газом.

Насадочные и полые скрубберы широко применяются в качестве теплообменников для охлаждения и конденсации газов и паров. По конструкции и принципу действия эти аппараты также аналогичны насадочным абсорберам и ректификационным колоннам, которые применяются для разделения гомогенных систем в массообменных процессах. Эти аппараты будут подробно рассмотрены в дальнейшем.

В центробежных скрубберах (рис. 18) процесс мокрой очистки интенсифицируется благодаря его проведению в поле центробежных сил. Запыленный газ поступает в цилиндрический корпус через входной патрубок прямоугольного сечения и приобретает вращательное движение. Внутренняя поверхность корпуса непрерывно орошается из сопел, к которым подводится жидкость из кольцевой питающей трубы. Струя, выходящая из сопла, направляется в сторону вращения очищаемого газа и тонкой пленкой стекает по поверхности корпуса. Частицы пыли, поднимающиеся в потоке газа, под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам скруббера, смачиваются пленкой жидкости и улавливаются ею. У патрубка входа газа пленка разрушается, образуя туман, на поверхность капель которого также оседает некоторая часть пыли. Жидкость с поглощенной пылью (суспензия) выводится из аппарата через коническое днище.

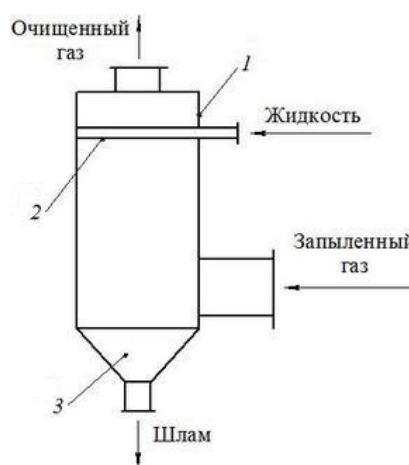


Рис. 18. Схема центробежного скруббера: 1 – корпус; 2 – кольцевая оросительная труба; 3 – коническое днище

Барботажные (пенные) пылеуловители

Для очистки сильно запыленных газов используют барботажные (пенные) пылеуловители. В таких аппаратах жидкость, взаимодействующая с газом, приводится в состояние подвижной пены, что увеличивает поверхность контакта фаз и степень очистки от пыли, дыма и тумана.

Эти аппараты (рис. 19) представляют собой цилиндрический или прямоугольный корпус, в котором находится перфорированная тарелка. Вода или другая промывная жидкость подается на тарелку. В

нижнюю часть аппарата подается запыленный газ. Проходя через отверстия тарелки, газ барботирует через жидкость, превращая ее в слой подвижной пены. В слое пены пыль поглощается жидкостью, часть которой удаляется из аппарата через переточный порог, а другая часть сливается через отверстия в тарелке, промывая их и улавливая в подтарелочном пространстве крупные частицы пыли. Образующаяся суспензия выводится из нижней части аппарата. При большом содержании пыли в газе и высоких требованиях к очистке используют аппараты с несколькими уровнями тарелок. При работе барботажных пылеуловителей недопустимы значительные колебания расхода газа, так как это может привести к нарушению пенного режима и загрязнению отверстий тарелки.

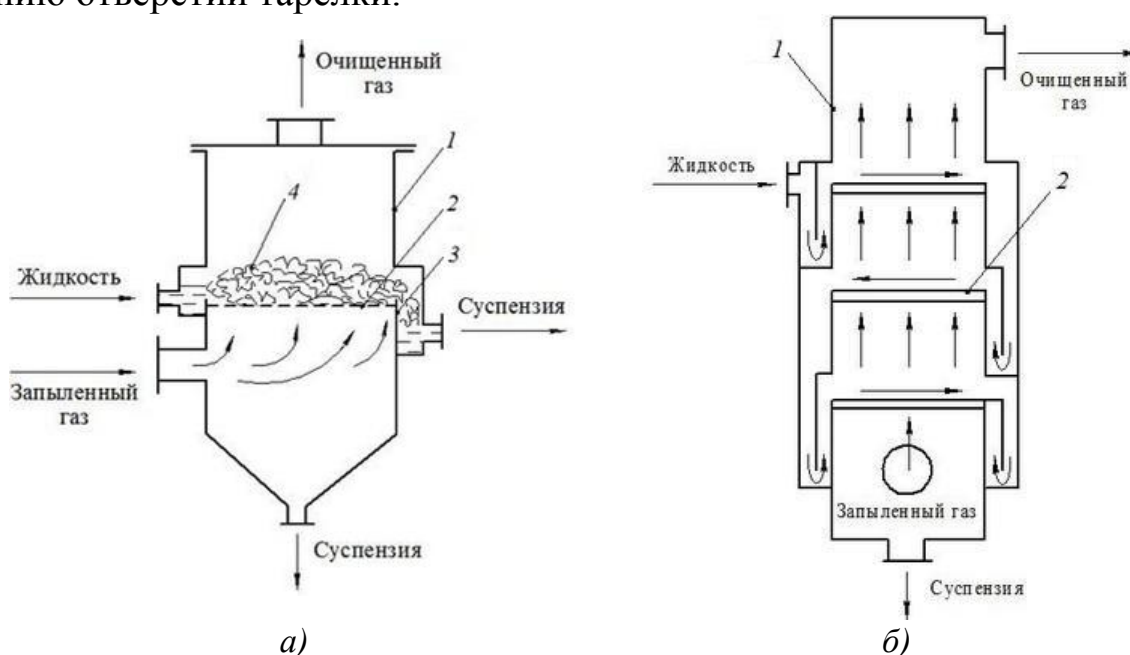


Рис. 19. Барботажные пылеуловители: а – однополочный; б – трехполочный:
 1 – корпус; 2 – тарелка с перфорацией; 3 – переточный порог;
 4 – слой пены на тарелке

3.4. Электрическая очистка газов

Физическая сущность процесса

Электрическая очистка газов от твердых и жидких частиц позволяет получить самую высокую чистоту газа (90 – 99 %) и дает возможность проводить очистку при высоких температурах и в химически агрессивных средах.

Этот способ основан на пропускании газового потока между двумя электродами, создающими постоянное электрическое поле.

При этом свободные заряды (ионы и электроны), находящиеся в газе, начинают двигаться по силовым линиям поля со скоростью, зависящей от напряженности поля. Сталкиваясь с нейтральными газовыми молекулами, свободные заряды расщепляют их на ионы и свободные электроны, которые также способны при своем движении расщеплять другие молекулы. Этот процесс, называемый ударной ионизацией газа, возникает только при высокой напряженности поля, поэтому, для того чтобы избежать короткого замыкания электродов, создают неоднородное электрическое поле с убывающей напряженностью: напряженность наиболее высока у отрицательно заряженного электрода (катода) и постепенно убывает с приближением к положительно заряженному электроду (аноду).

При напряженности поля, вызывающей полную ионизацию газа, между электродами возникает электрический разряд, сопровождающийся образованием светящейся «короны» вокруг катода. Поэтому разряд называется коронным, а электрод – коронирующим. Коронирующие электроды выполняют в виде проволоки с сечением, значительно меньшим, чем расстояние между электродами. Поэтому область вокруг катода, в которой происходит ударная ионизация (коронирующая область), во много раз меньше остальной части межэлектродного пространства – внешней области. Образующиеся в коронирующей области положительно заряженные ионы начинают двигаться к катоду, а отрицательно заряженные ионы и свободные электроны – к аноду. За пределами коронирующей области скорость отрицательно заряженных частиц уменьшается и они перестают ионизировать молекулы газа.

Соприкасаясь с пылинками или капельками, находящимися в газе, ионы и электроны захватываются ими и сообщают им свой заряд (рис. 20). При этом аэрозольные частицы получают ускорение, направленное к электроду противоположного знака. За счет большой величины внешней обла-

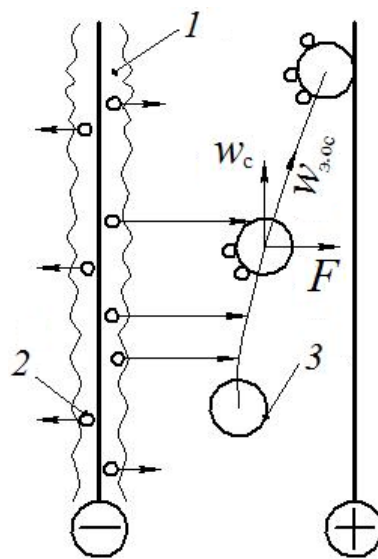


Рис. 20. Схема электрической очистки газа: 1 – коронирующая область; 2 – отрицательно заряженная частица; 3 – дисперсная частица

сти большинство дисперсных частиц получают отрицательный заряд и направляются к аноду. Поэтому анод называется осадительным электродом и выполняется в виде трубы, охватывающей катод, или в виде расположенной рядом пластины.

Основные зависимости электрической очистки

Степень электрической очистки газов зависит от электропроводимости аэрозольных частиц и их адгезионной способности, т. е. способности прилипать к осаждающим поверхностям. Если проводимость частиц высокая, а силы адгезии невелики, то частица, достигнув осадительного электрода, отдает ему свой заряд, получает заряд электрода и вновь возвращается в газовый поток. Если пыль плохо проводит ток, а силы адгезии велики, то на электроде образуется плотный слой медленно разряжающихся отрицательно заряженных частиц, противодействующих электрическому полю и способных вызвать явление «обратной короны», что приводит к образованию потока положительных ионов, нейтрализующих отрицательные заряды аэрозольных частиц и препятствующих их оседанию. Это явление можно предотвратить своевременной очисткой электрода от пыли. Кроме того возможно повышение влажности газа, что уменьшает удельное электрическое сопротивление дисперсных частиц.

Высокая концентрация также приводит к резкому снижению эффективности электрической очистки и снижению силы тока практически до нуля. Это связано с тем, что в таких случаях ток переносится практически только заряженными дисперсными частицами, подвижность которых значительно меньше, чем у свободных зарядов. Это явление можно предотвратить предварительной очисткой газа другим способом и снижением скорости газового потока.

Теоретическая скорость осаждения дисперсной частицы под действием электрического поля в нормальных условиях определяется по формуле

$$w_{э.ос} = \frac{F}{R} = \frac{ne_0E_x}{3\pi\mu_c d_{ч}},$$

где F – сила, действующая на частицу со стороны электрического поля; R – сила сопротивления среды; n – число элементарных зарядов, полученных частицей; e_0 – величина элементарного заряда, А; E_x – напряженность электрического поля на расстоянии x от оси коронирующего электрода, В.

Величина E_x определяется из соотношения

$$E_x = \frac{U}{\ln\left(\frac{x}{R_3}\right)},$$

где U – напряжение, приложенное к электродам, В; R_3 – радиус коронирующего электрода, м.

Практическая скорость осаждения частицы в электрическом поле зависит от электрической проницаемости самой частицы и среды, в которой она перемещается.

Конструкция электрофильтров

По форме электродов электрофильтры делятся на трубчатые и пластинчатые, а в зависимости от вида удаляемых частиц на сухие и мокрые. Трубчатый электрофильтр (рис. 21, а) представляет собой аппарат, в котором расположены осадительные электроды 2, выполненные в виде труб. По оси труб проходят коронирующие электроды 1 из проволоки, которые подвешены к раме 3, опирающейся на изоляторы 5. Запыленный газ входит в аппарат через штуцер внизу и далее движется внутри труб 2. Пыль оседает на их стенках, а очищенный газ выходит из аппарата через штуцер вверху. В сухих электрофильтрах пыль удаляется периодически путем встряхивания электродов с помощью специального устройства 4. В мокрых электрофильтрах осевшие частицы удаляются периодически или непрерывно промывкой внутренней поверхности электродов водой.

Аналогично устроены и работают пластинчатые электрофильтры (рис. 21, б). Основное отличие от трубчатых состоит в том, что осадительные электроды выполнены в виде прямоугольных пластин или сеток, натянутых на рамы, и расположены по обе стороны от коронирующих электродов. Запыленный газ направляется в пространство между пластинчатыми электродами.

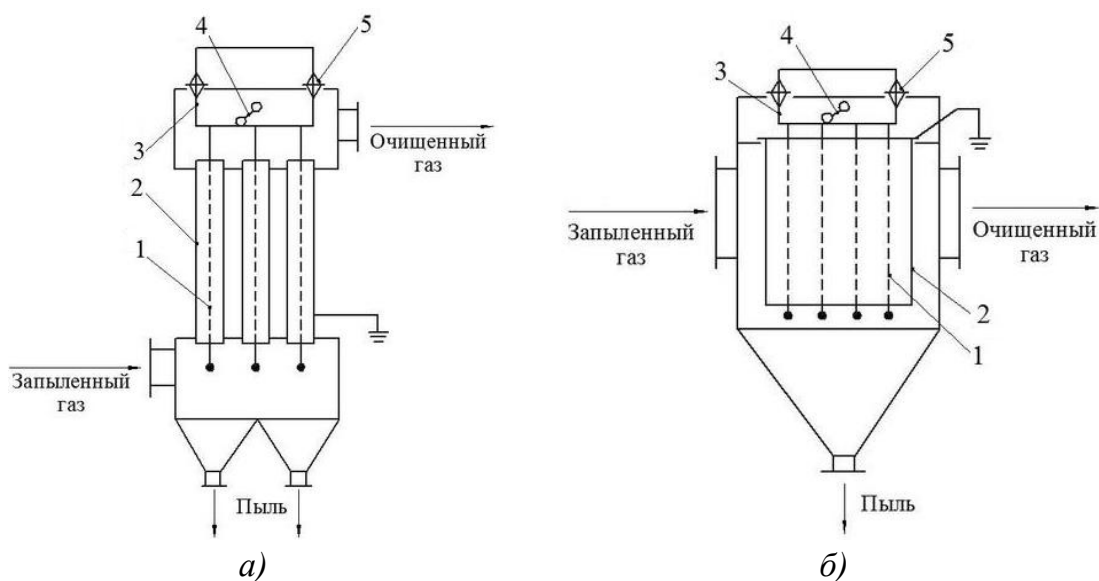


Рис. 21. Электрофильтры: а – трубчатый; б – пластинчатый:
 1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – рама;
 4 – устройства для встряхивания электродов; 5 – изоляторы

Пластинчатые электрофильтры более компактны, чем трубчатые, с них легче удаляется пыль. В свою очередь трубчатые электроды позволяют получить большую напряженность электрического поля и поэтому более производительны и обеспечивают лучшее отделение трудноулавливаемых пылей и туманов.

3.5. Интенсификация процессов защиты атмосферы

3.5.1. Агрегация аэрозольных примесей

Физическая сущность процесса

Агрегация аэрозольных примесей применяется для повышения степени эффективности работы оборудования по улавливанию взвешенных в газе частиц. За счёт агрегации повышается не только степень очистки аэрозольных выбросов, но и появляется возможность улавливания мелкодисперсных частиц в аппаратах более простой конструкции, предназначенных для улавливания частиц крупных размеров.

Агрегация аэрозольных частиц происходит самопроизвольно при их слипании в результате столкновения. Причины столкновения зависят от размера частиц. Для частиц размером менее 3 мкм основ-

ной причиной является тепловое (броуновское) движение, а для частиц размером более 5 мкм – действие гравитационных сил, сил инерции и взаимного притяжения. Скорость агрегации тем выше, чем больше частиц участвует в процессе (больше вероятность столкновения) и чем больше различие в размерах между частицами (крупные частицы присоединяют мелкие). Таким образом, скорость агрегации уменьшается со временем и в результате этого процесса уменьшается общее количество частиц в дисперсной системе при увеличении размеров этих частиц. При этом одновременно с процессом агрегации происходит процесс распада агрегатов на первичные частицы при их столкновении.

Эффективность естественной агрегации аэрозольных частиц повышают несколькими способами:

1. Повышение температуры и давления аэрозольной системы, которое приводит к повышению скорости коагуляции малых частиц.

2. Перемешивание и встряхивание частиц в аэрозольной системе, которое приводит к увеличению количества столкновений частиц. Этот способ достигается тремя методами:

- увеличение градиента скорости движения частиц в потоке, который по законам гидравлики образуется за счёт снижения скорости частиц от центра (ядра) потока к твердой поверхности (стенке). Этот метод реализуется в газоходах при увеличении их длины и повышении площади поверхности, вдоль которой происходит движение аэрозольного потока;

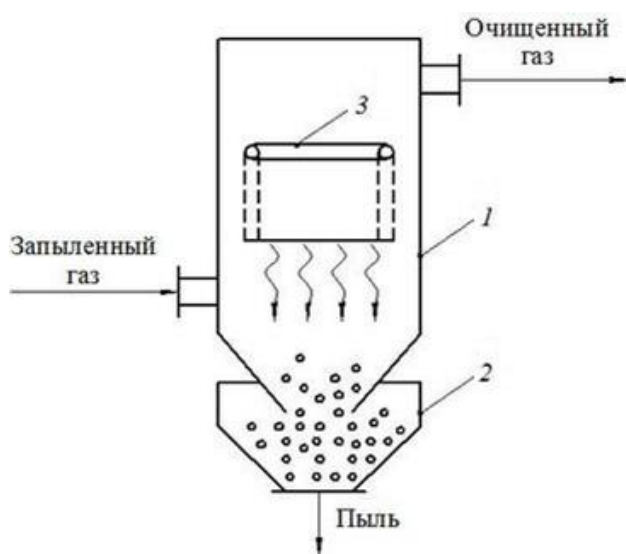
- турбулизация аэрозольного потока, происходящая за счёт увеличения скорости движения потока;

- относительное движение аэрозольных частиц, которое образуется при встряхивании потока (например, при акустической коагуляции) или при движении распыленного потока воды, направленного навстречу очищаемому потоку.

3. Электрическая коагуляция, происходящая по принципу электрической очистки газов.

Акустические осадители

Акустическая агрегация аэрозольных примесей является наиболее распространенным методом и применяется для интенсификации



*Рис. 22. Акустический осадитель:
1 – резонансный цилиндр; 2 – сборный бункер; 3 – источник (ультра)звука*

процессов осаждения. Акустический осадитель (рис. 22) представляет собой резонансный цилиндр с источником звука или ультразвука, колебания от которого направлены навстречу аэрозольному потоку, подаваемому снизу аппарата. Колебания акустического поля при частоте колебаний 50 кГц и интенсивности звука 150 дБ вызывают интенсивную вибрацию частиц, что приводит к резкому увеличению количества столкновений между ними. Агрегированные частицы под действием сил тяжести оседают в сборном бункере, а очищенный газ удаляется из аппарата сверху.

рованные частицы под действием сил тяжести оседают в сборном бункере, а очищенный газ удаляется из аппарата сверху.

3.5.2. Охлаждение и конденсация газовых примесей

Физическая сущность процесса

Конденсация применяется для обработки систем, содержащих пары веществ при температурах, близких к точке росы, т. е. к температурам, при которых водяной пар, находящийся в газе, становится насыщенным, и при давлениях выше давления насыщенного пара. Степень конденсации зависит от целесообразных с технологической и экономической точек зрения степеней сжатия и охлаждения газовых выбросов. Поэтому степень извлечения обычно не превышает 80 % и применяется только совместно с другими способами очистки газовых выбросов.

Конденсацию газовых примесей целесообразно применять в следующих случаях:

- извлечение из газового потока ценных или особо опасных веществ;

- перевод в конденсированное состояние паров легкокипящих соединений (растворителей, углеводородов);
- предварительное осаждение основной массы паров загрязнителя перед адсорберами при высоких степенях загрязнения;
- парциальное извлечение паров, содержащих соединения фосфора, мышьяка, тяжелых металлов, галогенов, перед термообезвреживанием смеси загрязнителей;
- конденсация загрязнителей после химической обработки с целью перевода в легкоконденсируемые соединения, например, после хемосорбционных аппаратов;
- обрабатываемый газ не выбрасывается, а снова возвращается в процесс или используется в процессе дожигания;
- газовый поток необходимо охладить для дальнейшей обработки, например, перед адсорбцией.

Принцип конденсационной очистки основан на охлаждении газовой смеси до температуры, соответствующей давлению пара, насыщенного до допустимой концентрации компонента. Давление насыщенного пара определяют по закону Дальтона:

$$p_i = y_{i(d)} p_{\text{общ}},$$

где $y_{i(d)}$ – допустимая концентрация i -го компонента в выбросе; $p_{\text{общ}}$ – общее давление газовой смеси, Па.

При конденсации нескольких компонентов газовую смесь охлаждают до температуры, соответствующей компоненту с наименьшим давлением насыщенного пара.

Классификация и конструкции конденсаторов

По способу взаимодействия очищаемой газовой смеси и охлаждающей среды различают два типа конденсаторов:

Поверхностные конденсаторы – аппараты, в которых газовая смесь и хладагент разделены стенкой, на поверхности которой происходит конденсация паров. Эти аппараты по своей конструкции аналогичны рекуперативным теплообменникам следующих видов: типа «труба в трубе», кожухотрубчатым и пластинчатым теплообменникам, рассмотренным ранее.

Контактные конденсаторы – аппараты, в которых газовая смесь непосредственно контактирует с охлаждающим агентом. Эти аппараты по своей конструкции аналогичны абсорберам, рассмотренным ранее.

К контактному конденсаторам также относятся конденсаторы смешения (барометрические конденсаторы). Различают конденсаторы двух видов: прямоточные (рис. 23, а) и противоточные (рис. 23, б).

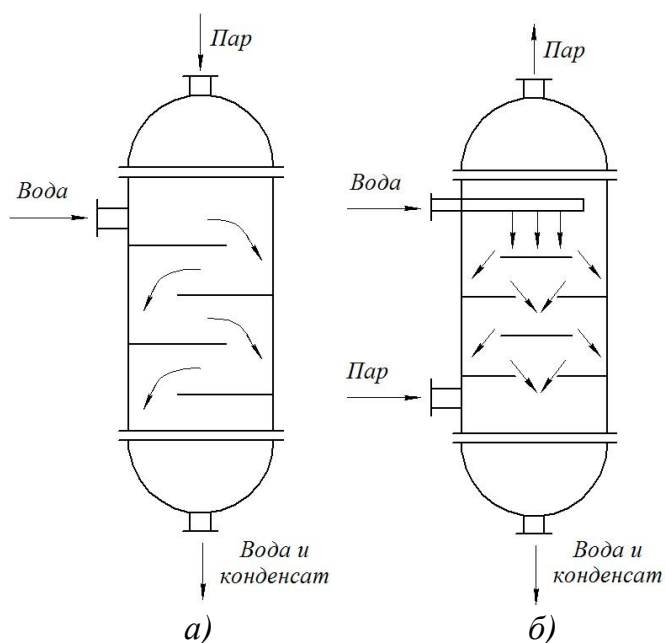


Рис. 23. Полочные барометрические конденсаторы смешения:
 а – прямоточный; б – противоточный

Для создания развитой поверхности контакта между средами жидкость распределяется внутри аппарата по ряду поперечных перфорированных перегородок. При контакте с водой пар конденсируется, вследствие чего в аппарате создается разрежение. Несконденсированный газ, находившийся в паре и охлаждающей воде, удаляется из аппарата вакуум-насосом, так как его присутствие может вызвать резкое снижение разрежения в аппарате.

Контрольные вопросы

1. Оцените эффективность аппаратов для гравитационного и инерционного осаждения аэрозольных частиц.
2. Опишите конструкцию и принцип действия циклона.
3. В каких случаях применяют батарейные циклоны?
4. Опишите конструкцию и принцип действия рукавного фильтра.
5. В чем преимущества и недостатки мокрой газоочистки?
6. В чём особенности различных типов скрубберов?
7. В чём заключается принцип действия барботажных пылеуловителей?
8. В чём заключается физическая сущность электрической очистки газов?
9. Каким образом можно интенсифицировать механические методы очистки газов?
10. Перечислите механические и физические методы очистки газов в порядке повышения эффективности их применения.

Глава 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ

4.1. Первичная обработка сточных вод

4.1.1. Усреднение

Усреднение расхода сточных вод и концентрации загрязнителей проводят по двум причинам:

- обеспечение стабильной работы системы очистки в случаях, когда возможны циклические или случайные (залповые) колебания сбросов жидких отходов;

- возможность расчёта параметров работы оборудования последующих стадий очистки не на максимальные, а на усреднённые показатели потока сточной воды, что позволяет уменьшить объем аппаратов и расходы энергии.

Наибольшее распространение в промышленности получили проточные усреднители, разделяемые на две группы:

1. Многоканальные (многоходовые) усреднители – резервуары прямоугольной или круглой формы, в которых поток воды делится на несколько струй, неравномерно протекающих по коридорам разной длины или ширины. Поэтому вода с разной концентрацией, поступающая в аппарат в разное время, смешивается одновременно в сборном лотке. Эти аппараты широко используют для гашения залповых сбросов с малым размером взвешенных частиц.

В усреднителях с разной длиной каналов (рис. 24) для обеспечения большей степени усреднения предусмотрена подача воды через донные выпуски и прямоугольные водосливы с шиберами. При превышении величины среднего расхода избыточное количество воды переливается в аккумулирующую емкость через регулируемый водослив.

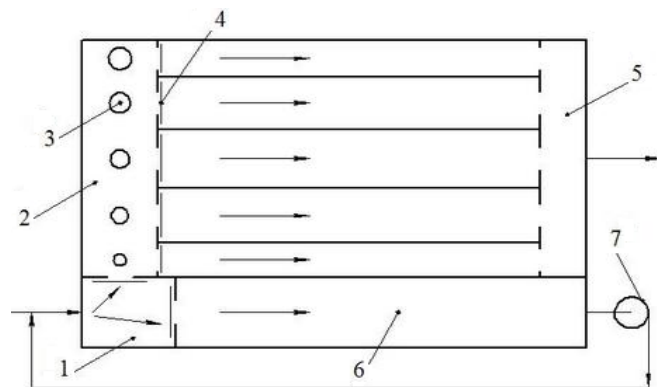


Рис. 24. Многоканальный усреднитель с распределением воды по каналам разной ширины: 1 – приемная камера; 2 – распределительный лоток; 3 – донные выпуски; 4 – боковые водосливы с шиберами; 5 – сборный лоток; 6 – аккумулирующая емкость; 7 – насос

2. Усреднители-смесители – резервуары, в которых поток воды, содержащей крупные взвешенные частицы, усредняется за счёт применения механических мешалок (при концентрациях взвесей более 500 мг/л) или барботажного воздуха (при концентрациях взвесей до 500 мг/л). Эти аппараты работают при любом режиме поступления стоков.

В усреднителях-смесителях барботажного типа (рис. 25) равномерное распределение сточной воды по всей площади аппарата обеспечивается системой подающих лотков.

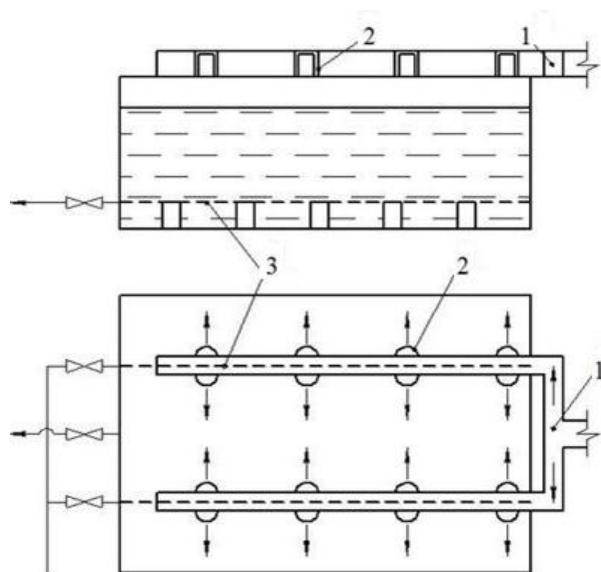


Рис. 25. Усреднитель с барботированием воды: 1 – подающий лоток; 2 – выпускные отверстия; 3 – барботер

Суть процесса заключается в подаче газа под давлением по трубопроводам на дно аппарата, где он выходит через перфорированные отверстия в виде пузырьков. Поднимаясь на поверхность, пузырьки перемешивают жидкость, что усредняет концентрацию загрязнителя.

В системах водоочистки усреднители используют в качестве водоприемного сооружения, устанавливают после отстойников или оборудуют отстойной частью.

4.1.2. Процеживание

Процеживание является начальной стадией для любой системы очистки сточных вод и предназначено для выделения крупных нерастворимых отходов и примесей (в том числе волокнистых), которые могут привести к засорению труб и каналов, нарушению режима работы очистного оборудования. Процеживание осуществляется пропусканием сточных вод через решетки различной конструкции, которые устанавливаются поперек потока воды в расширениях каналов, называемых камерами.

Основным элементом решеток является рама с рядом металлических стержней в основном прямоугольного профиля, расположенных параллельно друг другу. В прозоры между стержнями процеживается вода, а загрязнения задерживаются на решетке. Скорость пропускания потока воды через решетки находится в пределах от 0,8 до 1 м/с. При более высоких скоростях уловленные загрязнения «продавливаются» через решетки, а при более низких скоростях в канале начинают выпадать в осадок крупные фракции песка.

Очищение решеток от задержанных загрязнений механизировано и проводится с помощью специальных граблей, закрепленных на транспортирующей цепи (рис. 26). Задержанные загрязнения конвейером подаются на дробление (в основном на молотковых дробилках), а затем сбрасываются обратно в поток воды перед решёткой или подвергаются другим видам утилизации.

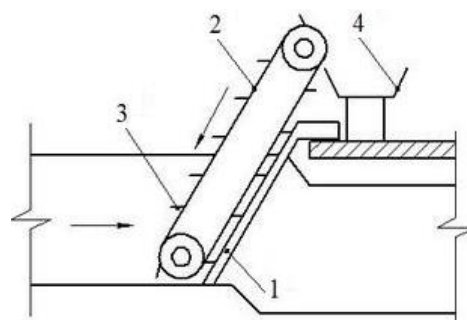


Рис. 26. Решетка с механическими граблями: 1 – решетка; 2 – цепь транспортера; 3 – грабли; 4 – конвейер

Для задержания и измельчения загрязнений без их извлечения из потока сточной воды применяют решетки-дробилки (комминаторы). Решетки дробилки типа РД (рис. 27, а) состоят из вращающегося щелевого барабана, установленного вертикально и вращающегося внутри неподвижного корпуса. Сточная вода с мелкими фракциями загрязнений проходит через щелевые отверстия внутрь барабана и далее вниз из аппарата. Крупные фракции загрязнений задерживаются на перемычках между щелевыми отверстиями и по мере вращения барабана оказываются между острыми кромками трепальных гребней, закреплённых на корпусе, и острыми кромками (резцами) щелевых отверстий барабана (рис. 27, б). В результате происходит измельчение загрязнений, которые затем подхватываются потоком воды и проходят сквозь щелевые отверстия барабана.

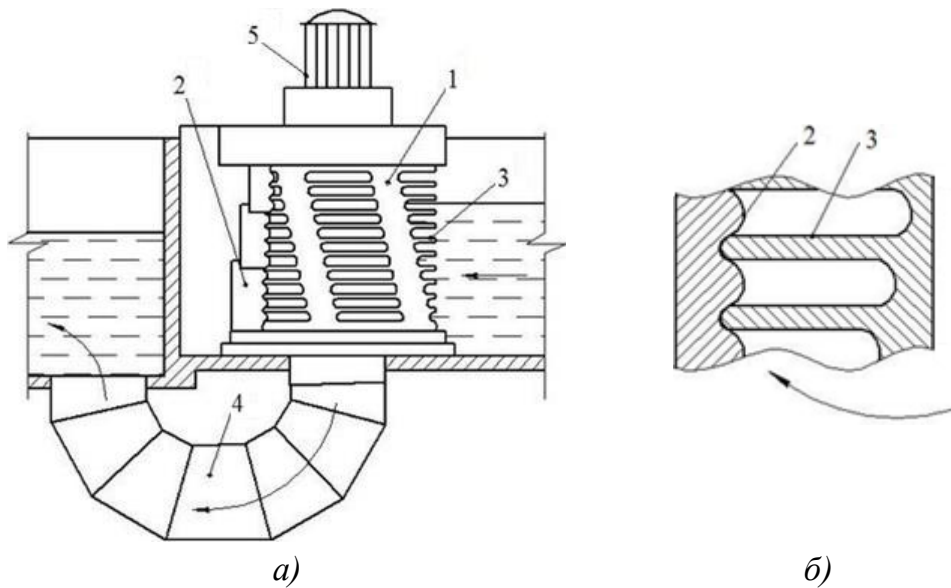


Рис. 27. Решетка-дробилка типа РД: а – общий вид; б – схема измельчения: 1 – щелевой барабан; 2 – трепальные гребни; 3 – резцы; 4 – отводной дюкер; 5 – приводной механизм

4.1.3. Удаление крупнодисперсных примесей

Песколовки предназначены для гравитационного осаждения из сточных вод тяжелых нерастворимых минеральных примесей (песок, глина, шлак, стеклянная крошка) крупностью 0,15 – 0,25 мм, осадок которых снижает производительность аппаратов более тонкой очистки и плохо транспортируется по трубопроводам. Скорость пропускания потока воды в песколовках должна быть не ниже 0,3 м/с. При более низких скоростях вместе с минеральными примесями начинают осаждаться частицы взвешенных органических веществ, которые затрудняют удаление осадка из песколовков.

Наиболее распространены в промышленности песколовки с горизонтальным и вертикальным движением жидкости.

Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением жидкости (рис. 28) представляют собой удлиненные резервуары, в начальной части которых располагается бункер для сбора осадка. Для смещения осадка в бункер применяют транспортирующий механизм из двух цепей с закрепленными на нём скребками. Для удаления осадка из бункера применяют струйные насосы (гидроэлеваторы).

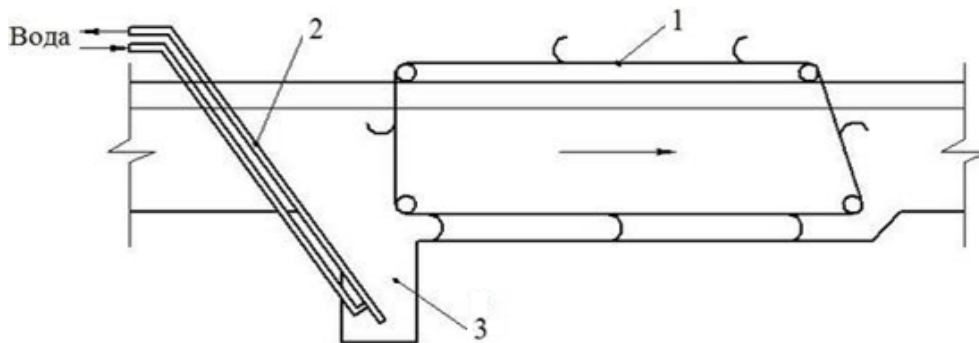


Рис. 28. Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением жидкости: 1 – цепной скребковый механизм; 2 – гидроэлеватор; 3 – бункер для сбора осадка

Горизонтальные песколовки с круговым движением жидкости (рис. 29, а) представляют собой круглый резервуар конической формы с кольцевым лотком для протекания сточной воды. Осаждаемые частицы собираются в осадочной части и удаляются из неё гидроэлеватором.

Вертикальные песколовки (рис. 29, б) представляют собой цилиндрический резервуар с подводом воды по касательной в подводящий кольцевой лоток и отводом воды через сборный кольцевой лоток. Осаждение частиц происходит при движении воды вверх по аппарату, а удаление осадка проводят с помощью гидроэлеватора.

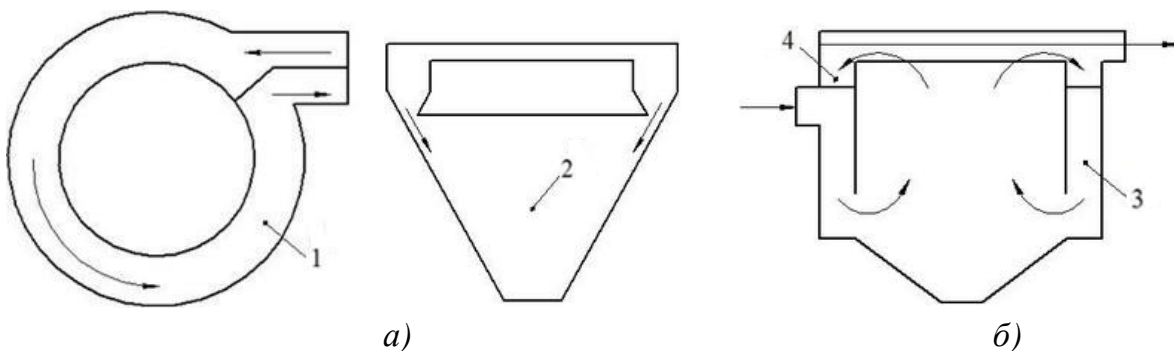


Рис. 29. Конструкции песколовок: а – горизонтальная с круговым движением жидкости; б – вертикальная: 1 – кольцевой лоток; 2 – осадочная часть; 3 – подводящий кольцевой лоток; 4 – сборный кольцевой лоток

4.2. Отстаивание взвесей

4.2.1. Назначение и классификация отстойников

Отстойники – основное сооружение механической очистки сточных вод. Используются для удаления оседающих или всплывающих грубодисперсных примесей. Выделение всплывающих примесей по своему механизму аналогично осаждению твердых взвешенных частиц с тем отличием, что частица движется не вниз, а вверх. В случае, если отстойник применяется в основном для очистки всплывающих примесей, то он называется нефтеловушкой или маслоуловителем. Отстойники для сгущения суспензий называют сгустителями, а для фракционирования твердых частиц – классификаторами. По способу организации отстойники делятся на периодические (контактные) и непрерывные (проточные). В зависимости от технологической роли отстойники разделяют на три группы:

- первичные, устанавливаемые после песколовков и перед сооружениями физико-химической и биологической очистки;
- вторичные, применяемые для отстаивания воды, прошедшей биологическую очистку;
- третичные, применяемые для доочистки сточных вод.

Отстойники этих групп аналогичны по конструкции, а различие отстойников от первичных до третичных состоит в уменьшении размеров и высоты зоны отстаивания. Вторичные и третичные отстойники также часто делают многоярусными (тонкослойными).

4.2.2. Первичные отстойники

Первичные отстойники для удаления грубодисперсных примесей подразделяются на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальный отстойник (рис. 30) представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный перегородками на несколько секций.

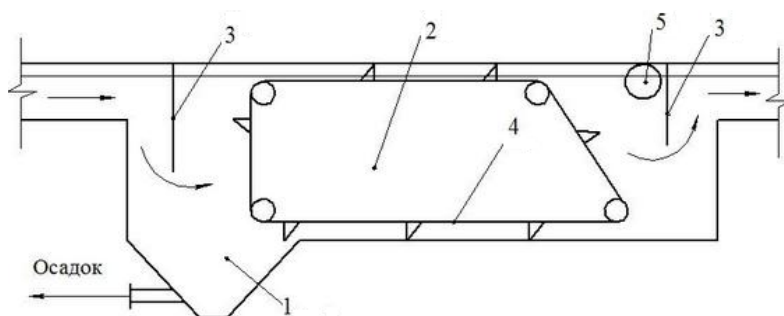


Рис. 30. Горизонтальный отстойник: 1 – осадочная часть; 2 – зона отстаивания; 3 – перегородка; 4 – скребковый механизм; 5 – сборная труба

Оседающие по длине резервуара примеси перемещаются скребковым механизмом в бункер для приема осадка и выдавливаются гидростатическим давлением в самотечный трубопровод. Всплывающие примеси (нефтепродукты, масла, жиры) собираются при помощи того же скребкового механизма в конце сооружения в сборную трубу и отводятся также самотеком.

Вертикальный отстойник (рис. 31) представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем, в который поток подаётся через центральную трубу, отражается от конусного щита и поступает в зону осветления. Осветленная вода собирается в сборном лотке, а всплывающие примеси поступают в кольцевой лоток. Осадок собирается на дне аппарата и удаляется через трубопровод.

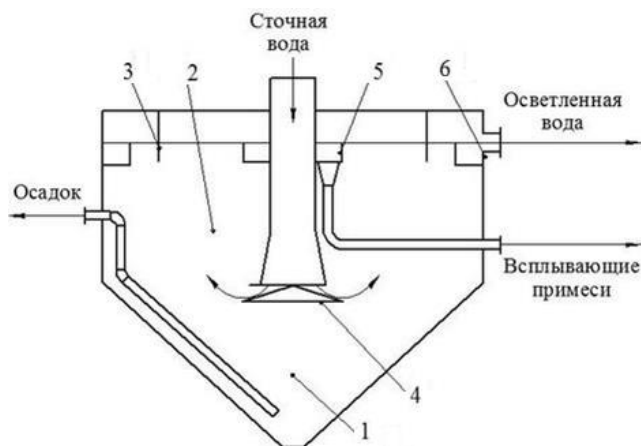


Рис. 31. Вертикальный отстойник: 1 – осадочная часть; 2 – зона отстаивания; 3 – перегородка; 4 – отражательный щит; 5 – кольцевой лоток; 6 – сборный лоток

4.2.3. Отстойники для разделения суспензий и эмульсий

Для разделения суспензий широко применяются отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой, называемые радиальными. Этот аппарат (рис. 32) представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем.

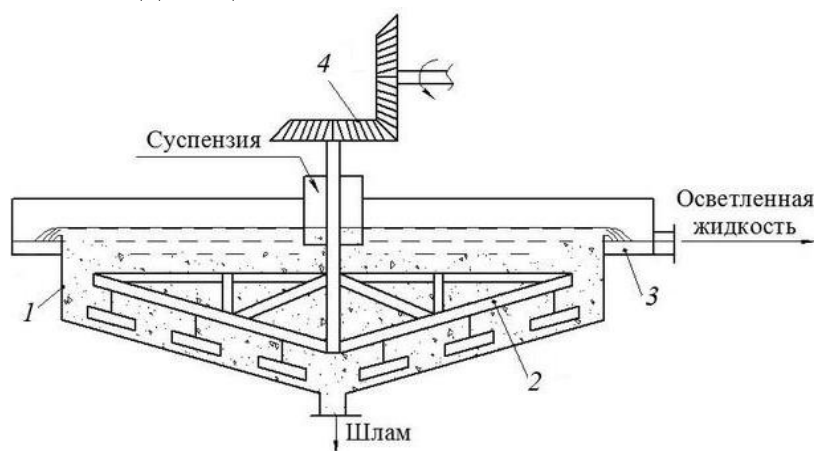


Рис. 32. Радиальный отстойник: 1 – резервуар; 2 – мешалка; 3 – кольцевой желоб; 4 – зубчатая передача

Так как производительность отстойника не зависит от его глубины, то глубина его небольшая. В резервуаре установлена мешалка, снабженная гребками, которые перемещают осадок к центральному выгрузочному отверстию и слегка его взбалтывают. Частота вращения мешалки незначительна и не нарушает процесса осаждения. Суспензия непрерывно подается по трубе в середине резервуара, а осветленная жидкость переливается в кольцевой желоб и удаляется из аппарата. Осадок, представляющий собой текучую жидкую массу с концентрацией твердой фазы 35 – 55 % (шлам), удаляется через днище при помощи насоса. В периодически действующих отстойниках отсутствует мешалка, а осветленная жидкость после процесса осаждения сливается через штуцер, расположенный выше уровня осадка.

Для разделения эмульсий наиболее широко применяются отстойники непрерывного действия (рис. 33), представляющие собой горизонтальный резервуар с перфорированной перегородкой, которая предотвращает возмущение жидкости в отстойнике струей эмульсии, поступающей в аппарат.

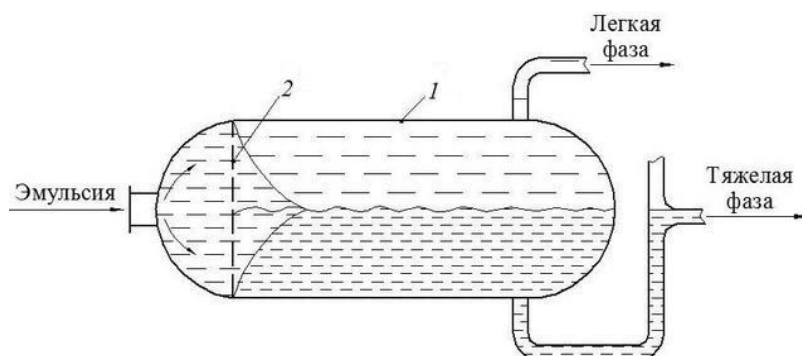


Рис. 33. Отстойник непрерывного действия для разделения эмульсий: 1 – корпус; 2 – перфорированная перегородка

Поперечное сечение аппарата выбирается таким, чтобы скорость течения жидкости в корпусе не превышала нескольких миллиметров в секунду и режим течения был ламинарным. Это предотвращает смешение фаз и улучшает процесс отстаивания. Расслоившаяся легкая и тяжелая фазы выводятся с противоположной стороны отстойника. Трубопровод для вывода тяжелой фазы соединен с атмосферой и выведен на уровень поверхности разделения фаз для облегчения вывода жидкости с более высокой плотностью.

4.2.4. Тонкослойные отстойники

Эффективность работы горизонтальных, вертикальных и радиальных отстойников может быть повышена за счёт тонкослойного отстаивания, которое заключается в разделении рабочего объема аппарата по высоте наклонными (под углом $45 - 60^\circ$) элементами (плоскими или рифлеными пластинами, трубчатыми элементами) на ряд отстойных зон. Это значительно сокращает путь движения оседающих и всплывающих примесей, что позволяет уменьшить объем аппарата. Кроме того наклонные элементы позволяют равномерно распределять поток воды по сечению отстойника и исключить турбулентное перемешивание частиц. Существуют три схемы движения жидкости и дисперсных частиц в тонкослойных отстойниках:

- прямоточная (рис. 34, а), при которой направления движения жидкости и выделяемых из неё частиц совпадают;
- противоточная (рис. 34, б), при которой отделяемые частицы движутся против движения потока жидкости;
- перекрестная, при которой отделяемые частицы движутся поперёк движения потока жидкости.

При этом один и тот же тонкослойный модуль может являться прямоточным для оседающих и противоточным для всплывающих примесей.

Наиболее часто тонкослойные отстойники применяются для очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов. Они называются нефтеловушками (рис. 35), которые отличаются от горизонтальных отстойников наличием двух зон отстаивания, имеющих собственные приемки для удаления осадка и сборные трубы.

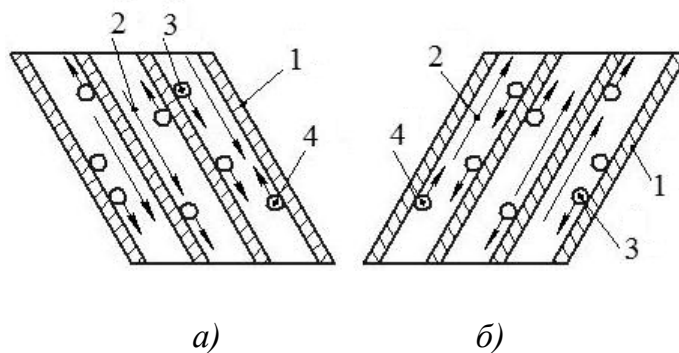


Рис. 34. Схемы движения потоков относительно оседающих примесей: а – прямоточная; б – противоточная: 1 – элемент модуля; 2 – направление движения потока воды; 3 – оседающая частица; 4 – всплывающая частица

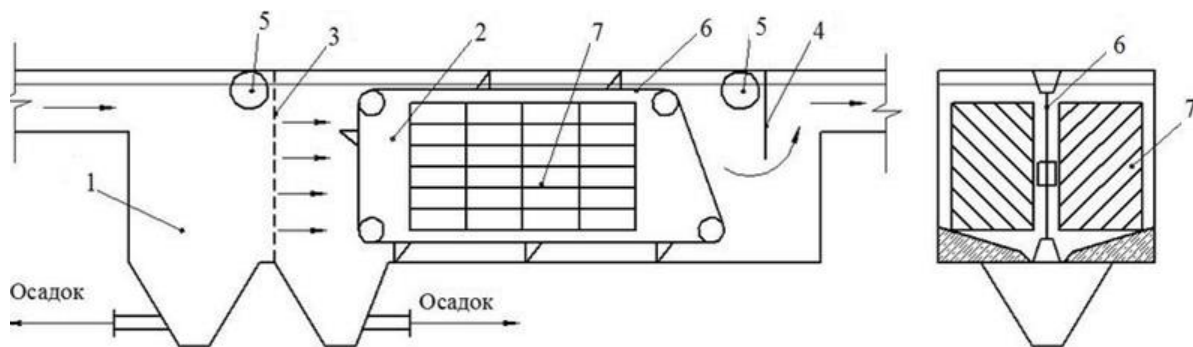


Рис. 35. Многоярусная нефтеловушка: 1 – зона грубой очистки; 2 – зона тонкой очистки; 3 – водораспределительное устройство; 4 – перегородка; 5 – сборная труба; 6 – скребковый механизм; 7 – блок пластин

Зоны грубой и глубокой очистки разделены специальным устройством, равномерно распределяющим поток воды по сечению тонкослойных блоков второй зоны. Пластины тонкослойных модулей (блоки) устанавливают внахлест.

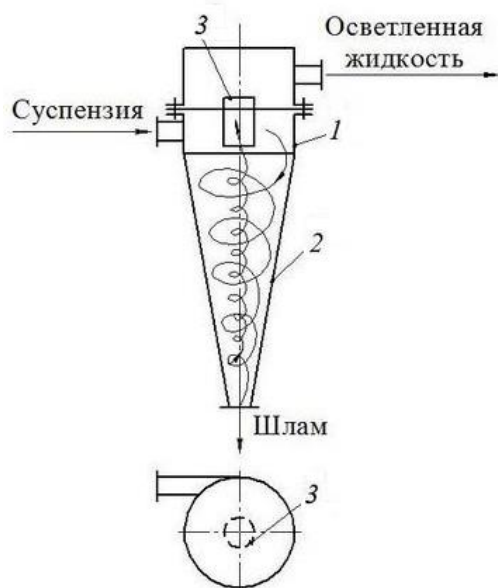


Рис. 36. Гидроциклон: 1 – цилиндрическая часть; 2 – коническая часть; 3 – центральная труба

Основное конструктивное отличие гидроциклонов от циклонов состоит в том, что они являются коническими аппаратами, т. е. высота конической части превышает высоту цилиндрической части ($H_k > H_{ц}$).

Более перспективными являются трубчатые отстойники, в которых вместо пластин используют трубы, разделяющие сечение аппарата на самостоятельные каналы, в которых движущийся поток является ламинарным.

4.3. Центробежные осадители

Для разделения суспензий и эмульсий в поле центробежных сил применяют циклонный процесс и центрифугирование.

Циклонный процесс осуществляется в аппаратах, называемых гидроциклонами (рис. 36) и батарейными гидроциклонами, принцип действия которых аналогичен действию циклонов для разделения аэрозолей.

Простейшая отстойная центрифуга для разделения суспензий (рис. 37) представляет собой сплошной барабан (ротор), насаженный на вращающийся вал. Под действием центробежной силы твердые частицы из суспензии отбрасываются к стенкам барабана и образуют осадок. Осветленная жидкость (фугат) переливается в неподвижный корпус (кожух) и удаляется из аппарата. По окончании отстаивания центрифугу останавливают и выгружают осадок.

Отстойные центрифуги для разделения эмульсий часто называют сепараторами. Широко распространены тарельчатые сепараторы (рис. 38), в которых эмульсия по центральной трубе попадает в нижнюю часть вращающегося барабана, снабженного рядом конических перегородок (тарелок), которые делят смесь на несколько слоев, уменьшая путь, проходимый частицами при осаждении. Более тяжелая жидкость отбрасывается центробежной силой к стенкам барабана, а более легкая – к центру.

Разделившиеся жидкости при своем движении не соприкасаются и поэтому не смешиваются вновь. В рассмотренном сепараторе используют тарелки с отверстиями. В сепараторах с тарелками без отверстий из суспензий выделяют твердую дисперсную фазу, которая оседает на внутренней стенке корпуса, а фугат движется к центру барабана, поднимается вверх и выходит из него. Образующийся осадок периодически выгружают вручную.

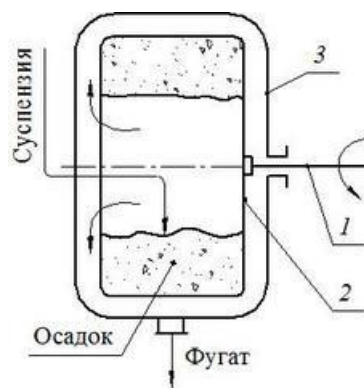


Рис. 37. Отстойная центрифуга периодического действия с горизонтальным валом и ручной выгрузкой осадка: 1 – вращающийся вал; 2 – барабан; 3 – корпус

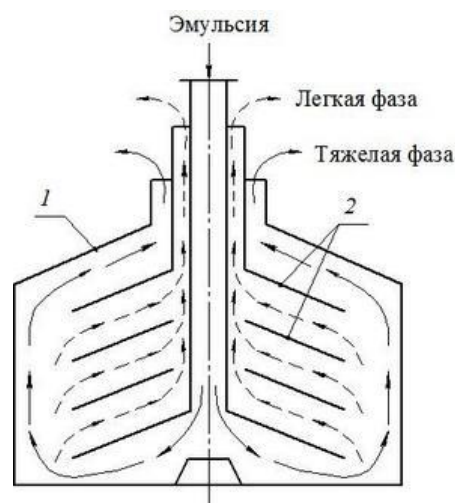


Рис. 38. Схема барабана сепаратора: 1 – корпус (ротор); 2 – тарелки

4.4. Фильтры и фильтрующие центрифуги

По режиму работы различают фильтры периодического и непрерывного действия. Фильтры периодического действия могут работать по всем механизмам процесса с любым режимом работы, а фильтры непрерывного действия – только по механизму с образованием осадка при постоянной разности давлений (а в случае промывки осадка и с постоянной скоростью). По способу создания давлений различают вакуум-фильтры и фильтры, работающие под давлением. По взаимному направлению силы тяжести и силы фильтрации различают фильтры с совпадающим, противоположным и перпендикулярным направлениями.

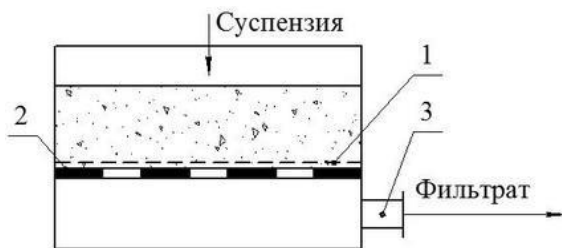


Рис. 39. Открытый нутч-фильтр:
1 – фильтровальная перегородка;
2 – пористая подложка; 3 – штуцер,
соединенный с вакуум-насосом

Простейшим фильтром периодического действия, работающего под вакуумом с совпадающим направлением силы тяжести и фильтрующей силы, является нутч-фильтр (рис. 39). Он представляет собой открытый резервуар, над дном которого расположена пористая подложка (ложное дно), поддерживающая фильтровальную перегородку.

Суспензию загружают сверху, затем в пространстве под ложным дном создают вакуум, соединяя его с вакуум-насосом, под действием которого жидкость проходит сквозь перегородку и удаляется из аппарата. Твердая фаза образует осадок на перегородке. После этого нутч заполняют промывной жидкостью и отмывают осадок от фильтрата. По окончании процесса нутч остается под вакуумом для уменьшения влажности осадка. Затем осадок выгружают вручную.

В качестве примера фильтрующей центрифуги рассмотрим аппарат непрерывного действия с пульсирующим поршнем для выгрузки осадка (рис. 40). Суспензия поступает в коническую воронку, вращающуюся с той же частотой, что и перфорированный барабан. Суспензия приобретает вращательное движение и отбрасывается через

отверстие в воронке на фильтровальную перегородку перед поршнем. Под действием центробежной силы фугат проходит через перегородку и перфорацию барабана и поступает в корпус, а затем удаляется из аппарата. Твёрдая фаза образует на перегородке слой осадка, который периодически перемещается к краю барабана при движении поршня вправо на 0,1 длины барабана. Частота вращения барабана и поршня одинаковы.

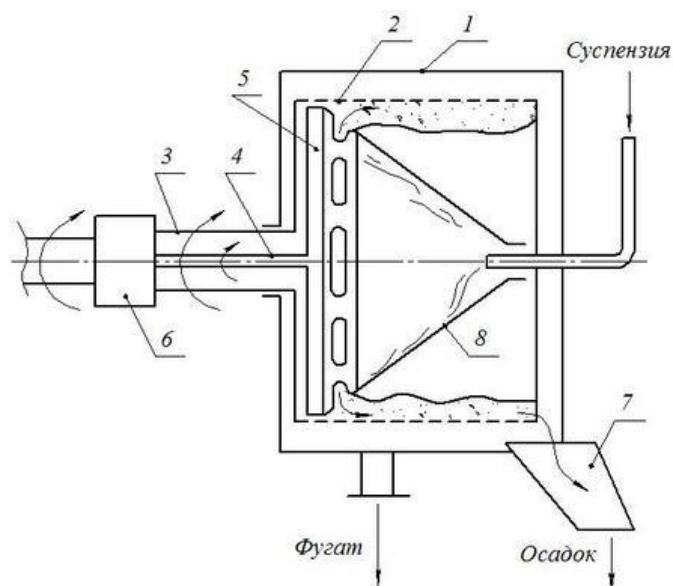


Рис. 40. Фильтрующая центрифуга с пульсирующим поршнем для выгрузки осадка: 1 – кожух; 2 – перфорированный барабан с фильтрующей перегородкой; 3 – полый вал; 4 – вал-шток; 5 – поршень толкатель; 6 – устройство для возвратно-поступательного движения; 7 – желоб; 8 – коническая воронка

Контрольные вопросы

1. В чём заключается первичная обработка сточных вод?
2. Дайте классификацию отстойников. Для каких целей применяются различные типы отстойников?
3. Опишите конструкцию и принцип действия первичных отстойников.
4. В чём преимущества тонкослойного отстаивания?

5. Какие аппараты применяют для механического разделения суспензий?

6. Какие аппараты применяют для механического разделения эмульсий?

7. В чём особенность гидроциклона по сравнению с циклоном для разделения аэрозолей?

8. Опишите конструкцию и принцип действия нутч-фильтра.

9. Опишите конструкцию и принцип действия аппаратов для центрифугирования.

10. Перечислите механические методы очистки газов в порядке повышения эффективности их применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного в пособии материала можно сделать вывод о том, что в настоящее время изучению проблемы защиты окружающей среды и поиску путей её решения уделяется большое внимание. Совершенствуются уже существующие методы очистки промышленных выбросов и создаются новые.

Рассмотренные в пособии механические и физические методы являются основой методов защиты окружающей среды и эффективно применяются в качестве предварительной и первичной очистки выбросов в атмосферу и гидросферу. Но для более полной и качественной очистки и снижения воздействия на окружающую среду необходимо в дальнейшем применять физико-химические методы очистки, а также проводить рекуперацию и утилизацию выделенных из выбросов примесей. Также необходимо развитие существующих производственных циклов, направленное на создание малоотходных и энергосберегающих технологий.

Такой комплексный подход к решению проблемы промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу позволит снизить уровень загрязнения окружающей среды и одновременно будет способствовать сокращению потерь на производстве и повышению эффективности выпуска продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ветошкин, А. Г.** Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) : учеб. пособие для студентов вузов / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 321 с. – ISBN 5-94170-071-7.

2. **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты защиты окружающей среды : учеб. пособие для вузов / А. Г. Ветошкин. – М. : Высш. шк., 2008. – 640 с. – ISBN 978-5-06-005762-1.

3. **Вальдберг, А. Ю.** Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы : учеб. пособие для вузов / А. Ю. Вальдберг, Н. Е. Николайкина. – М. : Дрофа, 2008. – 240 с. – ISBN 978-5-358-03592-8.

4. **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты газоочистки : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 229 с.

5. **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты защиты гидросферы : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 266 с. – ISBN 5-94170-155-1.

6. **Гудков, А. Г.** Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : Изд-во ВоГТУ, 2003. – 152 с. – ISBN 5-87851-225-4.

7. **Кобзарь, И. Г.** Процессы и аппараты защиты окружающей среды : курс лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды». Ч. 1. Защита атмосферы / И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. – Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2007. – 68 с.

8. **Дытнерский, Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов. Ч. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – 2-е изд., стер. – М. : Химия, 1995. – 400 с. – ISBN 5-7245-1006-5.

9. **Новый справочник химика и технолога.** Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II / под ред. Г. М. Островского [и др.]. – СПб. : Профессинал, 2006. – 916 с. – ISBN 5-912590-03-8.

Учебное издание

ПИКАЛОВ Евгений Сергеевич

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Механические и физические методы очистки
промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу

Учебное пособие

Редактор Е. В. Невская

Технический редактор Н. В. Тупицына

Корректор В. С. Теверовский

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Подписано в печать 27.02.15.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.