**ВВЕДЕНИЕ**

Двадцатый век вошел в историю, как век небывалого технического прогресса, бурного развития науки, промышленности, энергетики, сельского хозяйства. Одновременно как сопровождающий фактор росло и продолжает расти вредное воздействие индустриальной деятельности человека на окружающую среду. В результате происходит в значительной мере непредсказуемое изменение экосистем и всего облика планеты Земля.

В настоящее время пристальное внимание уделяется проблеме удаления первопричин возникновения таких нежелательных явлений, как выбросы в атмосферу. В данной работе тематика проблемы сознательно ограничена рамками промышленных газовых выбросов, так как именно промышленность является источником опасных и крайне опасных примесей.

**II. CОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ**

**2.1. Классификация вредных примесей**

**В газообразных промышленных выбросах вредные примеси можно разделить на две группы:**   
а) взвешенные частицы (аэрозоли) твердых веществ - пыль, дым; жидкостей - туман   
б) газообразные и парообразные вещества.

**а) К аэрозолям** относятся взвешенные твердые частицы неорганического и органического происхождения, а также взвешенные частицы жидкости (тумана). **Пыль** - это дисперсная малоустойчивая система, содержащая больше крупных частиц, чем дымы и туманы. Неорганическая пыль в промышленных газовых выбросах образуется при горных разработках, переработке руд, металлов, минеральных солей и удобрений, строительных материалов, карбидов и других неорганических веществ. Промышленная пыль органического происхождения - это, например, угольная, древесная, торфяная, сланцевая, сажа и др. **К дымам** относятся аэродисперсные системы с малой скоростью осаждения под действием силы тяжести. Размеры частиц в дымах много меньше, чем в пыли и туманах, и составляют от 5 мкм до субмикронных размеров, т.е. менее 0,1 мкм. **Туманы** состоят из капелек жидкости, образующихся при конденсации паров или распылении жидкости. В промышленных выхлопах туманы образуются главным образом из кислоты: серной, фосфорной и др.

***б*) Газообразные и парообразные вещества**, содержащиеся в промышленных газовых выхлопах, гораздо более многочисленна. К ней относятся кислоты, галогены и галогенопроизводные, газообразные оксиды, альдегиды, кетоны, спирты, углеводороды, амины, нитросоединения, пары металлов, пиридины, меркаптаны и многие другие компоненты газообразных промышленных отходов.

**2.2. Очистка газов от аэрозолей**

Методы очистки по их основному принципу можно разделить на механическую очистку, электростатическую очистку и очистку с помощью звуковой и ультразвуковой коагуляции.

**2.2.1 Механическая очистка**

**Механическая очистка газов включает сухие и мокрые методы.**

**1. К сухим методам относятся:**  
1) гравитационное осаждение;   
2) инерционное и центробежное пылеулавливание;   
3) фильтрация.

**1) Гравитационное осаждение** основано на осаждении взвешенных частиц под действием силы тяжести при движении запыленного газа с малой скоростью без изменения направления потока. Процесс проводят в отстойных газоходах и пылеосадительных камерах. Для уменьшения высоты осаждения частиц в осадительных камерах установлено на расстоянии 40-100 мм множество горизонтальных полок, разбивающих газовый поток на плоские струи. Производительность осадительных камер П = SwО, где S - площадь горизонтального сечения камеры, или общая площадь полок, м2; wO - скорость осаждения частиц, м/с. Гравитационное осаждение действенно лишь для крупных частиц диаметром более 50-100 мкм, причем степень очистки составляет не выше 40-50%. Метод пригоден лишь для предварительной, грубой очистки газов.

**2) Инерционное осаждение** основано на стремлении взвешенных частиц сохранять первоначальное направление движения при изменении направления газового потока. Среди инерционных аппаратов наиболее часто применяют жалюзийные пылеуловители с большим числом щелей (жалюзи). Газы обеспыливаются, выходя через щели и меняя при этом направление движения, скорость газа на входе в аппарат составляет 10-15 м/с. Гидравлическое сопротивление аппарата 100 - 400 Па. Частицы пыли с d < 20 мкм (микрометр) в жалюзийных аппаратах не улавливаются. Степень очистки в зависимости от дисперсности (размер) частиц составляет 20-70%. Инерционный метод можно применять лишь для грубой очистки газа. Помимо малой эффективности недостаток этого метода - быстрое истирание или забивание щелей.

**Центробежные методы** очистки газов основаны на действии центробежной силы, возникающей при вращении очищаемого газового потока в очистном аппарате или при вращении частей самого аппарата. **Вкачестве центробежных аппаратов пылеочистки применяют циклоны различных типов:** батарейные циклоны, вращающиеся пылеуловители (ротоклоны) и др. **Циклоны**наиболее часто применяют в промышленности для осаждения твердых аэрозолей. Газовый поток подается в цилиндрическую часть циклона тангенциально, описывает спираль по направлению к дну конической части и затем устремляется вверх через турбулизованное ядро потока у оси циклона на выход. Циклоны характеризуются высокой производительностью по газу, простотой устройства, надежностью в работе. Степень очистки от пыли зависит от размеров частиц. Гидравлическое сопротивление высокопроизводительных циклонов составляет около 1080 Па. Циклоны широко применяют при грубой и средней очистке газа от аэрозолей. Другим типом центробежного пылеуловителя служит**ротоклон**, состоящий из ротора и вентилятора, помещенного в осадительный кожух. Лопасти вентилятора, вращаясь, направляют пыль в канал, который ведет в приемник пыли.

**3) Фильтрация** основана на прохождении очищаемого газа через различные фильтрующие ткани (хлопок, шерсть, химические волокна, стекловолокно и др.) или через другие фильтрующие материалы (керамика, металлокерамика, пористые перегородки из пластмассы и др.). Наиболее часто для фильтрации применяют специально изготовленные волокнистые материалы - стекловолокно, шерсть или хлопок с асбестом, асбоцеллюлозу**. В зависимости от фильтрующего материала различают тканевые фильтры**(в том числе рукавные), ***волокнистые***, из зернистых материалов (керамика, металлокерамика, пористые пластмассы). **Тканевые фильтры**, чаще всего рукавные, применяются при температуре очищаемого газа не выше 60-65°С. Степень очистки составляет 85-99%. Гидравлическое сопротивление фильтра около 1000 Па; расход энергии ~ 1 кВт\*ч на 1000 м3 очищаемого газа. Для непрерывной очистки ткани продувают воздушными струями, которые создаются различными устройствами - соплами, расположенными против каждого рукава, движущимися наружными продувочными кольцами и др. Сейчас применяют автоматическое управление рукавными фильтрами с продувкой их импульсами сжатого воздуха***.* Волокнистые фильтры**, имеющие поры, равномерно распределенные между тонкими волокнами, работают с высокой эффективностью; степень очистки 99,5%.

На фильтрах из стекловолокнистых материалов возможна очистка агрессивных газов при температуре до 275°С. Для тонкой очистки газов при повышенных температурах применяют фильтры из керамики, тонковолокнистой ваты из нержавеющей стали, обладающие высокой прочностью и устойчивостью к переменным нагрузкам; однако их гидравлическое сопротивление велико - 1000 Па.

Фильтрация - весьма распространенный прием тонкой очистки газов. Ее преимущества - сравнительная низкая стоимость оборудования (за исключением металлокерамических фильтров) и высокая эффективность тонкой очистки. Недостатки фильтрации высокое гидравлическое сопротивление и быстрое забивание фильтрующего материала пылью.

**2. Мокрые методы**

Мокрая очистка газов от аэрозолей основана на промывке газа жидкостью (обычной водой) при возможно более развитой поверхности контакта жидкости с частицами аэрозоля и возможно более интенсивном перемешивании очищаемого газа с жидкостью. Этот универсальный метод очистки газов от частиц пыли, дыма и тумана любых размеров является наиболее распространенным приемом заключительной стадии механической очистки, в особенности для газов, подлежащих охлаждению. В аппаратах мокрой очистки применяют различные приемы развития поверхности соприкосновения жидкости и газа.

* **Башни с насадкой**(насадочные скрубберы) отличаются простотой конструкции и эксплуатации, устойчивостью в работе, малым гидравлическим сопротивлением ((Р=300(800 Па) и сравнительно малым расходом энергии. В насадочном скруббере возможна очистка газов с начальной запыленностью до 5-6 г/м3. Эффективность одной ступени очистки для пыли с d > 5 мкм не превышает 70-80%. Насадка быстро забивается пылью, особенно при высокой начальной запыленности.
* **Орошаемые циклоны** (центробежные скрубберы) применяют для очистки больших объемов газа. Они имеют сравнительно небольшое гидравлическое сопротивление - 400-850 Па. Для частиц размером 2-5 мкм степень очистки составляет ~50%. Центробежные скрубберы высокопроизводительны благодаря большой скорости газа.
* **Пенные аппараты** применяют для очистки газа от аэрозолей полидисперсного состава. Интенсивный пенный режим создается на полках аппарата при линейной скорости газа в его полном сечении 1-4 м/с. Пенные газоочистители обладают высокой производительностью по газу и сравнительно небольшим гидравлическим сопротивлением (Р одной полки около 600 Па). Для частиц с диаметром d >5 мкм эффективность их улавливания на одной полке аппарата 90-99%; при d < 5 мкм 75-90%.
* **Скрубберы Вентури**- высокоинтенсивные газоочистительные аппараты, но работающие с большим расходом энергии. Скорость газа в сужении трубы (горловине скруббера) составляет 100-200 м/с, а в некоторых установках - до 1200 м/с. При такой скорости очищаемый газ разбивает на мельчайшие капли завесу жидкости, впрыскиваемой по периметру трубы. Это приводит к интенсивному столкновению частиц аэрозоля с каплями и улавливанию частиц под действием сил инерции. Скруббер Вентури - универсальный малогабаритный аппарат, обеспечивающий улавливание тумана на 99-100%, частиц пыли с d = 0,01(0,35 мкм - на 50-85% и частиц пыли с d = 0,5-2 мкм - на 97%).**Главный дефект скруббера Вентури** - большой расход энергии по преодолению высокого гидравлического сопротивления, которое в зависимости от скорости газа в горловине может составлять 0,002-0,013 МПа. Помимо того, аппарат не отличается надежностью в эксплуатации, управление им сложное.

Основной недостаток всех методов мокрой очистки газов от аэрозолей - это образование больших объемов жидких отходов (шлама). Таким образом, если не предусмотрены замкнутая система водооборота и утилизация всех компонентов шлама, то мокрые способы газоочистки по существу только переносят загрязнители из газовых выбросов в сточные воды, т. е. из атмосферы в водоемы.

**2.2.2 Электростатическая очистка**

Электростатическая очистка газов служит универсальным средством, пригодным для любых аэрозолей, включая туманы кислот, и при любых размерах частиц. Метод основан на ионизации и зарядке частиц аэрозоля при прохождении газа через электрическое поле высокого напряжения, создаваемое коронирующими электродами (отрицательных). Осаждение частиц происходит на заземленных осадительных электродах (положительных). Промышленные электрофильтры состоят из ряда заземленных пластин или труб, через которые пропускается очищаемый газ. Между осадительными электродами подвешены проволочные коронирующие электроды, к которым подводится напряжение 25-100 кВ.

При очистке от пыли сухих газов электрофильтры могут работать в широком диапазоне температур (от 20 до 500 °С) и давлений. Их гидравлическое сопротивление невелико - 100-150 Па. Степень очистки от аэрозолей - выше 90, достигая 99,9% на многопольных электрофильтрах при d > 1 мкм. Недостаток этого метода - большие затраты средств на сооружение и содержание очистных установок и значительный расход энергии на создание электрического поля. Расход электроэнергии на электростатическую очистку - 0,1-0,5 кВт на 1000 м3 очищаемого газа.

**2.2.3 Звуковая и ультразвуковая коагуляция**

Звуковая и ультразвуковая коагуляция, а также предварительная электризация пока мало применяются в промышленности и находятся в основном в стадии разработки. Они основаны на укрупнении аэрозольных частиц, облегчающем их улавливание традиционными методами. Аппаратура звуковой коагуляции состоит из генератора звука, коагуляционной камеры и осадителя. Звуковые и ультразвуковые методы применимы для агрегирования (объединение нескольких элементов в единое целое) мелкодисперсных аэрозольных частиц (тумана серной кислоты, сажи) перед их улавливанием другими методами. Начальная концентрация частиц аэрозоля для звуковой коагуляции должна быть не менее 2 г/м3 (для частиц d = 10 мкм).

Коагуляцию аэрозолей методом предварительной электризации производят, например, пропусканием газа через электризационную камеру с коронирующими электродами, где происходит зарядка и коагуляция частиц, а затем через мокрый газоочиститель, в котором газожидкостный слой служит осадительным электродом. Осадительным электродом может служить пенный слой в пенных аппаратах, слой газожидкостной эмульсии в насадочных скрубберах и других мокрых газопромывателях, в которых решетки или другие соответствующие детали должны быть заземлены.

**2.3. Очистка газов от парообразных и газообразных примесей**

Газы в промышленности обычно загрязнены вредными примесями, поэтому очистка широко применяется на заводах и предприятиях для технологических и санитарных (экологических) целей. Промышленные способы очистки газовых выбросов от газо- и парообразных токсичных примесей можно разделить на три основные группы:   
1) абсорбция жидкостями;   
2) адсорбция твердыми поглотителями;  
3) каталитическая очистка.

**1)Абсорбция жидкостями**( абсорбенты – вещества – поглотители) применяется в промышленности для извлечения из газов диоксида серы, сероводорода и других сернистых соединений, оксидов азота, паров кислот диоксида и оксида углерода, разнообразных органических соединений (фенол, формальдегид, летучие растворители и др.).

Абсорбционные методы служат для технологической и санитарной очистки газов. Они основаны на избирательной растворимости газо- и парообразных примесей в жидкости (физическая абсорбция) или на избирательном извлечении примесей химическими реакциями с активным компонентом поглотителя (хемосорбция). Абсорбционная очистка -непрерывный и, как правило, циклический процесс, так как поглощение примесей обычно сопровождается регенерацией поглотительного раствора и его возвращением в начале цикла очистки. При физической абсорбции (и в некоторых хемосорбционных процессах) регенерацию абсорбента проводят нагреванием и снижением давления, в результате чего происходит десорбция (удаление адсорбированного вещества с поверхности различных объектов) поглощенной газовой примеси и ее концентрированию.

**Абсорбенты, применяемые в промышленности, оцениваются по следующим показателям**:

1) абсорбционная емкость, т. е. растворимость извлекаемого компонента в поглотителе в зависимости от температуры и давления

2) селективность, характеризуемая соотношением растворимостей разделяемых газов и скоростей их абсорбции

3) минимальное давление паров во избежание загрязнения очищаемого газа парами абсорбента; 4) дешевизна

5) отсутствие коррозирующего действия на аппаратуру.

В качестве абсорбентов применяют воду, растворы аммиака, едких и карбонатных щелочей, солей марганца, этаноламины, масла, суспензии гидроксида кальция, оксидов марганца и магния, сульфат магния и др.

**Очистная аппаратура аналогична уже рассмотренной аппаратуре мокрого улавливания аэрозолей**.

**Наиболее распространен насадочный скруббер**, применяемый для очистки газов от диоксида серы, сероводорода, хлороводорода, хлора, оксида и диоксида углерода, фенолов и т. д. В насадочных скрубберах скорость массообменных процессов мала из-за малоинтенсивного гидродинамического режима этих реакторов, работающих при скорости газа 0,02 - 0,7 м/с. Объемы аппаратов поэтому велики и установки громоздки.

Для очистки выбросов от газообразных и парообразных примесей применяют и интенсивную массообменную аппаратуру **- пенные аппараты, безнасадочный форсуночный абсорбер, скруббер Вентури**, работающие при более высоких скоростях газа. Пенные абсорберы работают при 1-4 м/с и обеспечивают сравнительно высокую скорость абсорбционно-десорбционных процессов; их габариты в несколько раз меньше, чем насадочных скрубберов. При достаточном числе ступеней очистки (многополочный пенный аппарат) достигаются высокие показатели глубины очистки: для некоторых процессов до 99,9%.

Абсорбционные методы характеризуются непрерывностью и универсальностью процесса, экономичностью и возможностью извлечения больших количеств примесей из газов. **Недостаток этого метода в том**, что насадочные скрубберы, барботажные и даже пенные аппараты обеспечивают достаточно высокую степень извлечения вредных примесей и полную регенерацию поглотителей только при большом числе ступеней очистки. Поэтому технологические схемы мокрой очистки, как правило, сложны, многоступенчаты и очистные реакторы (особенно скрубберы) имеют большие объемы.

Любой процесс мокрой абсорбционной очистки выхлопных газов от газо- и парообразных примесей целесообразен только в случае его цикличности и безотходности. Но и циклические системы мокрой очистки конкурентоспособны только тогда, когда они совмещены с пылеочисткой и охлаждением газа.  
**Адсорбционные методы применяют для различных технологических целей** - разделение парогазовых смесей на компоненты с выделением фракций, осушка газов и для санитарной очистки газовых выхлопов. В последнее время адсорбционные методы выходят на первый план как надежное средство защиты атмосферы от токсичных газообразных веществ, обеспечивающее возможность концентрирования и утилизации этих веществ.

**2) Адсорбционные методы** основаны на избирательном извлечении из парогазовой смеси определенных компонентов при помощи адсорбентов - твердых высокопористых материалов, обладающих развитой удельной поверхностью Sуд (Sуд - отношение поверхности к массе, м2/г). Промышленные адсорбенты, чаще всего применяемые в газоочистке, - это активированный уголь, силикагель, алюмогель, природные и синтетические цеолиты (молекулярные сита)***.* Основные требования к промышленным сорбентам** - высокая поглотительная способность, избирательность действия (селективность), термическая устойчивость, длительная служба без изменения структуры и свойств поверхности, возможность легкой регенерации. Чаще всего для санитарной очистки газов применяют активный уголь благодаря его высокой поглотительной способности и легкости регенерации.

Адсорбцию газовых примесей обычно ведут в полочных реакторах периодического действия без теплообменных устройств; адсорбент расположен на полках реактора. Когда необходим теплообмен используют адсорберы с встроенными теплообменными элементами или выполняют реактор в виде трубчатых теплообменников; адсорбент засыпан в трубки, а в межтрубном пространстве циркулирует теплоноситель.

Очищаемый газ проходит адсорбер со скоростью 0,05-0,3 м/с. После очистки адсорбер переключается на регенерацию. Адсорбционная установка, состоящая из нескольких реакторов, работает в целом непрерывно, так как одновременно одни реакторы находятся на стадии очистки, а другие - на стадиях регенерации, охлаждения и др. Регенерацию проводят нагреванием. Иногда адсорбент, потерявший активность (экранированный пылью, смолой), полностью заменяют.

**Общие достоинства адсорбционных методов очистки газов:**  
1) глубокая очистка газов от токсичных примесей;   
2) сравнительная легкость регенерации этих примесей с превращением их в товарный продукт или возвратом в производство; таким образом осуществляется принцип безотходной технологии.   
Адсорбционный метод особенно рационален для удаления токсических примесей (органических соединений, паров ртути и др.), содержащихся в малых концентрациях, т. е. как завершающий этап санитарной очистки отходящих газов.  
**Недостатки большинства адсорбционных установок** - периодичность процесса и связанная с этим малая интенсивность реакторов, высокая стоимость периодической регенерации адсорбентов.

**3) Каталитические методы** очистки газов основаны на реакциях в присутствии твердых катализаторов, т. е. на закономерностях гетерогенного катализа (изменение скорости хим. р-ции при воздействии катализаторов, образующих самостоят. фазу и отделенных от реагирующих в-в границей раздела). В результате каталитических реакций примеси, находящиеся в газе, превращаются в другие соединения. Если образовавшиеся вещества подлежат удалению, то требуются дополнительные операции (например, извлечение жидкими или твердыми сорбентами).

Широко распространен способ каталитического окисления токсичных органических соединений и оксида углерода в составе отходящих газов с применением активных катализаторов, не требующих высокой температуры зажигания, например металлов группы платины, нанесенных на носители.

В промышленности применяют также каталитическое восстановление и гидрирование токсичных примесей в выхлопных газах.

Каталитические методы получают все большее распространение благодаря глубокой очистке газов от токсичных примесей (до 99,9%) при сравнительно невысоких температурах и обычном давлении, а также при весьма малых начальных концентрациях примесей. Каталитические методы позволяют утилизировать реакционную теплоту, т.е. создавать энерготехнологические системы. Установки каталитической очистки просты в эксплуатации и малогабаритны.

**Недостаток многих процессов каталитической очистки** - образование новых веществ, которые подлежат удалению из газа другими методами (абсорбция, адсорбция), что усложняет установку и снижает общий экономический эффект.

Трудно провести границу между адсорбционными и каталитическими методами газоочистки, так как такие традиционные адсорбенты, как активированный уголь, цеолиты, служат активными катализаторами для многих химических реакций. Очистку газов на адсорбентах-катализаторах называют адсорбционно-каталитической. Но методы утилизации соединений, полученных при катализе, иные, чем в адсорбционных процессах.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наиболее надежным и самым экономичным способом охраны биосферы от вредных газовых выбросов является переход к безотходному производству, или к безотходным технологиям. Под ним подразумевается создание оптимальных технологических систем с замкнутыми материальными и энергетическими потоками. Такое производство не должно иметь сточных вод, вредных выбросов в атмосферу и твердых отходов и не должно потреблять воду из природных водоемов.  
Конечно же, понятие "безотходное производство" имеет несколько условный характер; это идеальная модель производства, так как в реальных условиях нельзя полностью ликвидировать отходы и избавиться от влияния производства на окружающую среду. Точнее следует называть такие системы малоотходными, дающими минимальные выбросы, при которых ущерб природным экосистемам будет минимален.

Разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов и систем, работающих по замкнутому циклу, позволяющих исключить образование основного количества отходов, является основным направлением технического прогресса.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1.Основы химической технологии: Учебник для студентов хим.-технол.спец. вузов / И.П. Мухленов, А.Е. Горштейн, Е.С. Тумаркина; Под ред. И.П. Мухленова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1991. - 463 с.  
2. Глинка Н.Л. Общая химия. Изд. 17-е, испр. - Л.: "Химия", 1975. - 728 с.  
3. Кузнецов В.В., Усть-Качкинцов В.Ф. Физическая и коллоидная химия. Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1976. - 277 с.   
4. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: Учебник, 4-е изд.: перераб. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 520 с.

5. Медведев В.А. Технологические основы гибких производственных систем: учебник для машиностроительных спец. вузов/В. А. Медведев, В. П. Вороненко, В. Н. Брюханов: Изд-во Высшая школа, 2000.- 256 с.

6. Минько Антон, Минько Эдуард. Теория организации производственных систем: учеб. пособие: Изд-во Экономика, 2007.- 493 с.