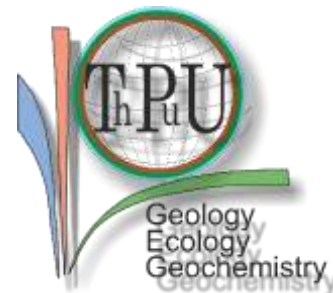




Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов



## ***Экология горно-добычного и перерабатывающего комплексов***

### ***Лекция № 6***

## ***Охрана атмосферного воздуха в горнодобывающей промышленности***

***Лектор: к.г.-м.н., доцент  
Азарова Светлана Валерьевна***

Томск-2020

# Для снижения запыленности и очистки воздуха применяют две группы мероприятий:

## 1. Улучшение качества рудничного воздуха на карьере (или в шахте (руднике)) осуществляется путем:

**1.1. предупреждения пылеобразования при производстве массовых взрывов.**

**1.2. проведения на карьерах и разрезах мероприятий по предупреждению пожаров, возгорания пород в отвалах и терриконах.**

**1.3. снижения загрязнения воздуха выхлопными газами карьерных автосамосвалов.**

**1.4. дегазации угольных пластов.**

## 2. Установка специальных пылеулавливающих и очистных устройств на организованных источниках выбросов в атмосферу.

Большое **влияние на выбор способов и средств пылеулавливания и пылеподавления оказывают свойства частиц пыли, например:**

- **плотность частиц**
- **адгезионность (способность прочного сцепления)**
- **сыпучесть**
- **смачиваемость**
- **растворимость частиц**
- **электрические и электромагнитные свойства частиц**
- **способность к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом.**

# Основные понятия пылеулавливания.

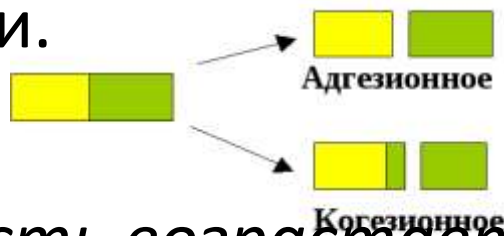
## Физические характеристики пыли

- **Пыль** – это дисперсная малоустойчивая система, содержащая больше крупных частиц, чем аэрозоли с размером частиц примерно от 1 до 100 мкм.
- **Запыленность** – масса частиц, содержащихся в единице объема газа или воздуха.
- **Седиментационная скорость** – постоянная скорость оседания частиц, которую они приобретает в спокойной среде под влиянием силы тяжести. Зависит от размера, формы и плотности вещества и среды.

# Основные понятия пылеулавливания.

## Физические характеристики пыли

- **Слипаемость** - склонность частиц к сцеплению друг с другом, определяемая аутогезионными (когезионными) свойствами.



- *Слипаемость возрастает с уменьшением размера частиц.*
- **Сыпучесть** - характеризует подвижность частиц пыли относительно друг друга и их способность перемещаться под действием внешней силы. Сыпучесть зависит от размера частиц, их влажности и степени уплотнения.

# Основные понятия пылеулавливания.

## Физические характеристики пыли

- **Гигроскопичность пыли** - способность пыли поглощать влагу из окружающей среды до равновесия с влагосодержанием этой газовой среды.

*Поглощенная пылью влага оказывает влияние на такие свойства пыли, как электрическая проводимость, слипаемость, сыпучесть и др.*

- **Влагосодержание** (кг/кг) – отношение количества влаги в пыли к количеству абсолютно сухой пыли.
- **Влажность** (%) – отношение количества влаги в пыли ко всему количеству влажной пыли.

# Группы слипаемости пыли

<b>Группа слипаемости</b>	<b>Разрывная прочность слоя пыли, P, Па</b>	<b>Некоторые пыли данной группы</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>I</b>	<b>Неслипающиеся, P &lt; 60</b>	<b>доломитовая, глиноземная, шлаковая</b>
<b>II</b>	<b>Слабослипающиеся, P = 60-300</b>	<b>коксовая, доменная, апати-товая</b>
<b>III</b>	<b>Среднеслипающиеся, P = 300-600</b>	<b>несхватывающиеся влажные пыли, цементная, торфяная, металлическая, мучная, пыль с максимальным раз-мером частиц 25 мкм</b>
<b>IV</b>	<b>Сильнослипающиеся, P&gt;600</b>	<b>Влажные схватывающиеся пыли, цементная, гипсовая, волокнистые пыли (асбестовая, хлопковая, шерстяная); все пыли с частицами не более 10 мкм</b>

# Промышленные пыли в зависимости от механизма образования

**Механическая** (в ходе технологического процесса измельчения продукта)

**Возгоны** (при охлаждении газа в результате объемной конденсации паров веществ, пропускаемого через технологический аппарат)

**Летучая зола** (в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении)

**Промышленная сажа** (входящий в состав промышленного выброса твердый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов)

Размер колеблется в широких пределах — от 0,1 до 850 мкм; наиболее опасны для человека частицы от 0,5 до 5 мкм.



Пылеулавливающее оборудование



Механические устройства, в которых пыль отделяется под действием сил тяжести, инерции или центробежной силы

Мокрые, или гидравлические аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью

Пористые фильтры, на которых оседают мельчайшие частицы пыли

Аппараты, в которых частицы осаждаются за счет электрической ионизации газа и пылинок

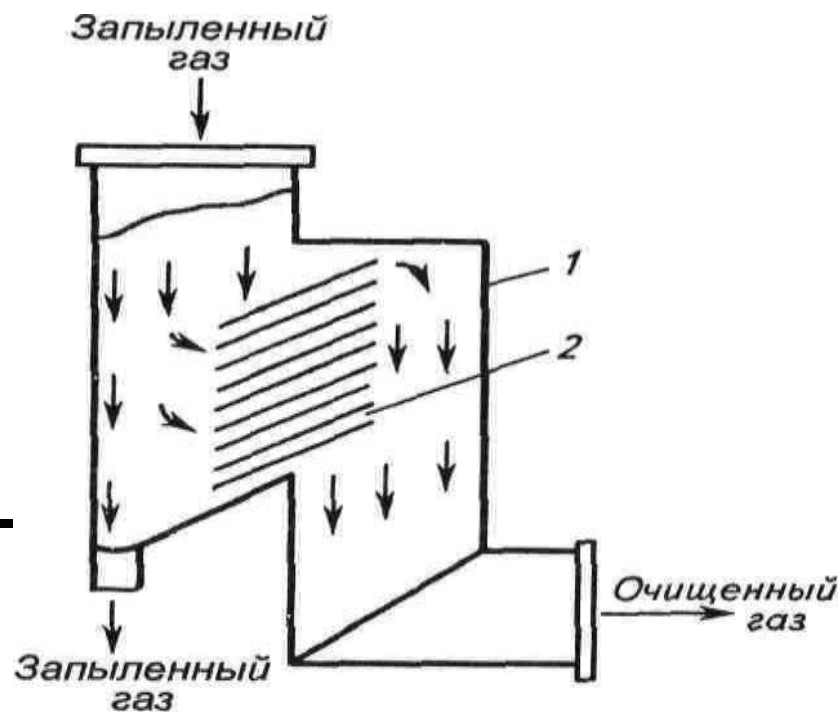
# 1. Аппараты «сухой» механической ОЧИСТКИ

## 1.1 Пылеосадительные камеры

Представляют собой пустотелые или с горизонтальными полками камеры, в которых используется гравитационное осаждение частиц при прохождении газового потока через аппарат со скоростью 0,2-0,8 м/с.

## 1.2 Жалюзийные пылеотделители

используются для разделения газового потока на очищенный и обогащенный пылью газ. Скорость газа в нем составляет 12-15 м/с, применяется для улавливания частиц крупнее 20 мкм.

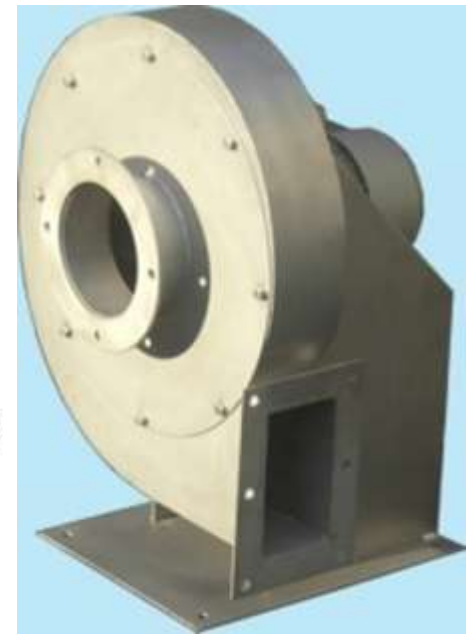
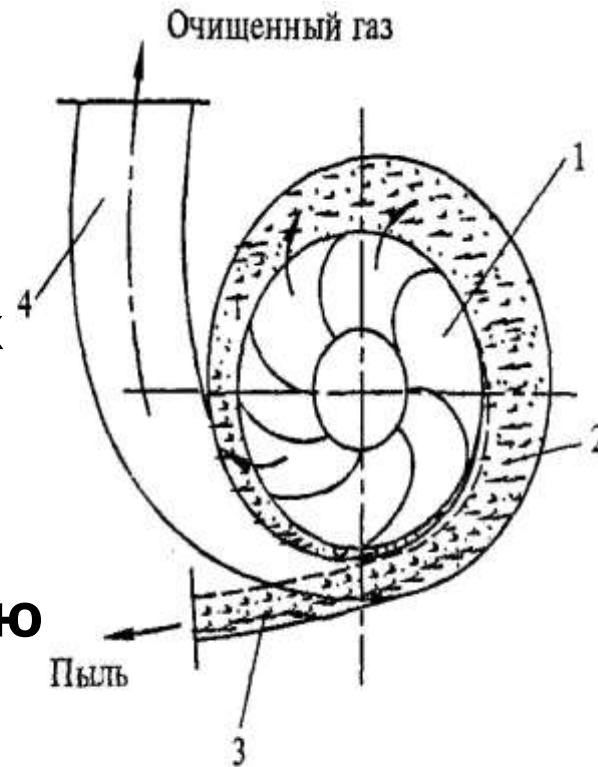


Жалюзийный пылеуловитель:  
1 — корпус; 2 — решетка

### 1.3. Ротационные пылеуловители

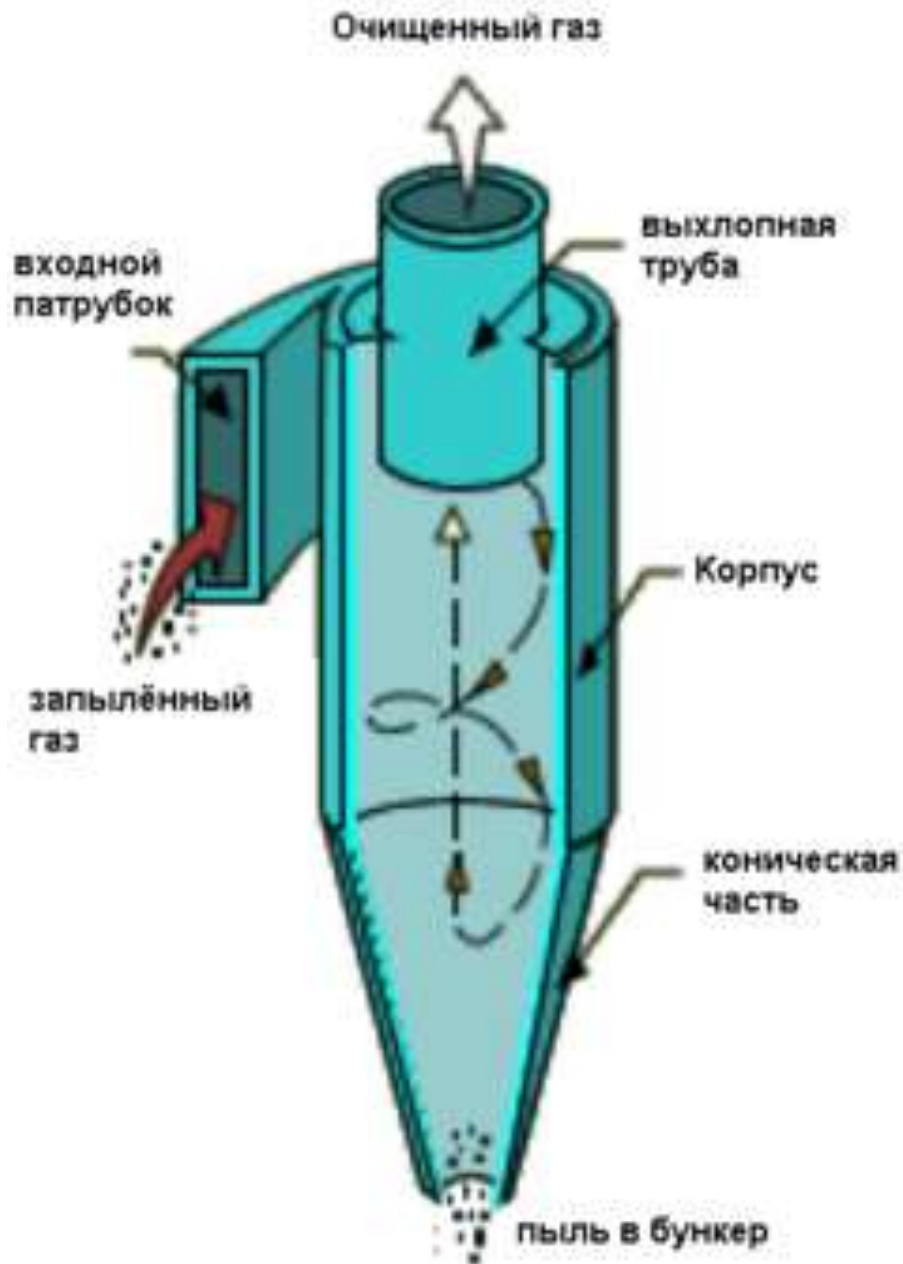
Предназначены для очистки воздуха от частиц размером более 5 мкм и относятся к аппаратам центробежного действия. Вентиляторное колесо обеспечивает подачу

содержащего пыль воздуха или газа, при этом частицы пыли, обладающие большей массой, под действием центробежных сил отбрасываются к стенке кожуха и движутся вдоль нее по направлению к пылеприемному отверстию.

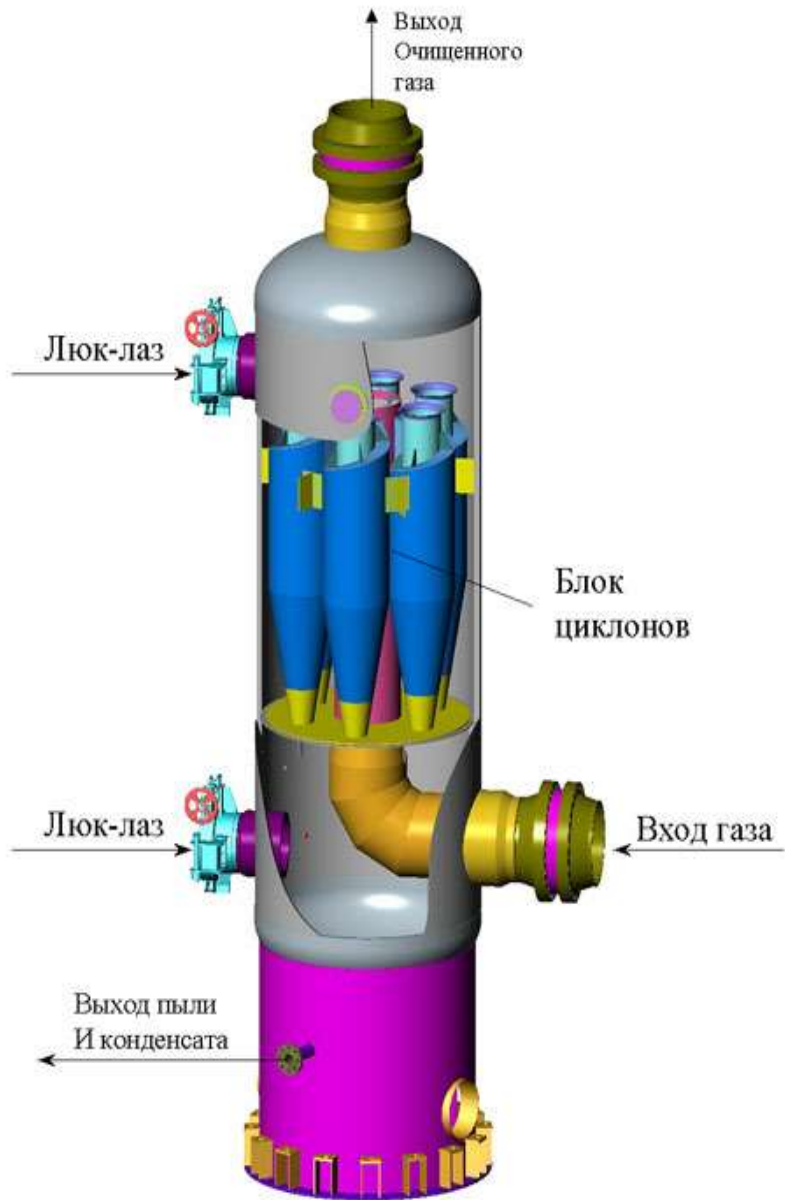


Пылеотделитель ротационного типа: 1 — вентиляторное колесо  
2 — спиральный кожух; 3 — пылеприёмное отверстие;  
4 — отводящий патрубок

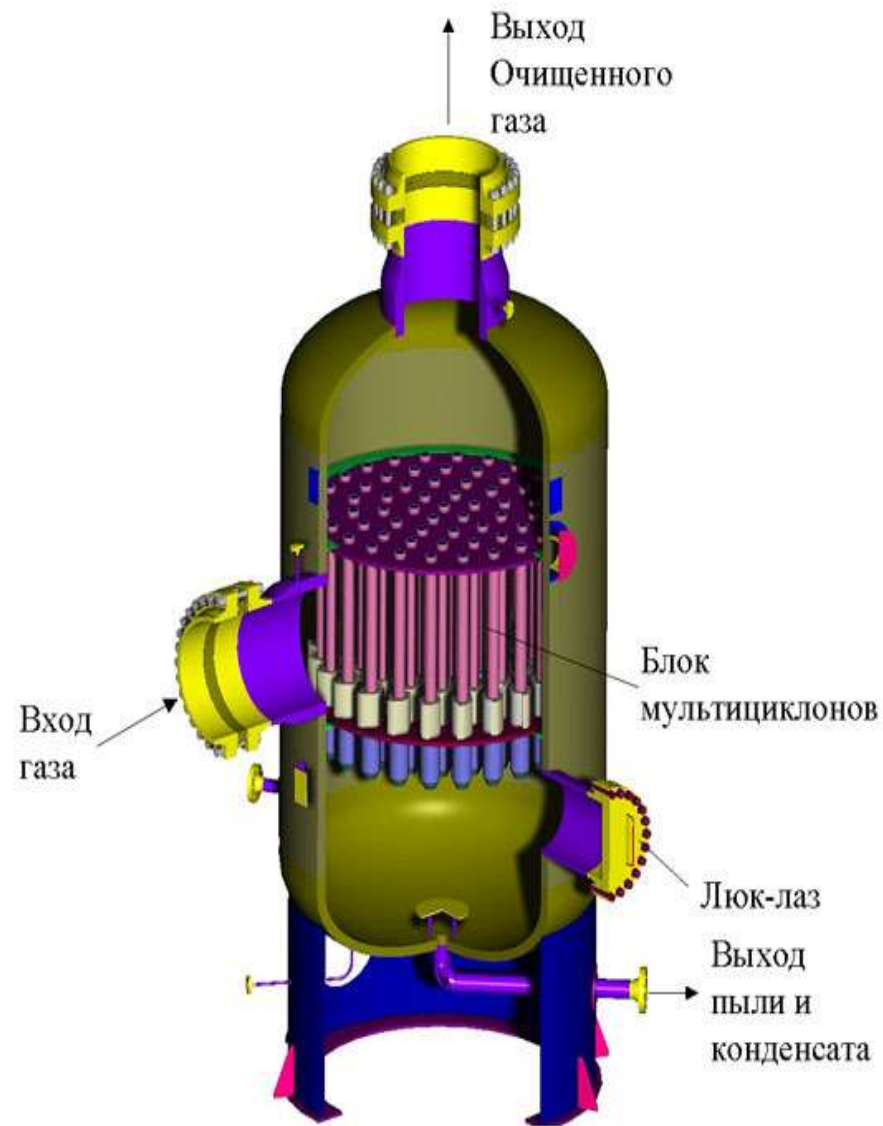
**1.4.** Для «сухой» очистки газов наиболее употребительны циклоны различных типов, в которых под действием центробежной силы частицы перемещаются к стенкам корпуса циклона и по ним попадают в бункер. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов и устанавливать перед фильтрами и электрофильтрами. Для очистки больших масс газов используются батарейные циклоны, состоящие из большого числа параллельно установленных циклонов, расположенных в одном корпусе и имеющих общий подвод и отвод газов.







Пылеуловитель ГП-628 с циклонами ЦКБН для КС «Ухтинская», «Минская», «Ржевская», «Слонимская»



Пылеуловитель ЦПУ-10 с мультициклонами фирмы «Prosepta» для КС «Ставропольская», «Краснодарская», «Смоленская», «Торжокская», «Крупская»

## 2. Аппараты «мокрой» очистки

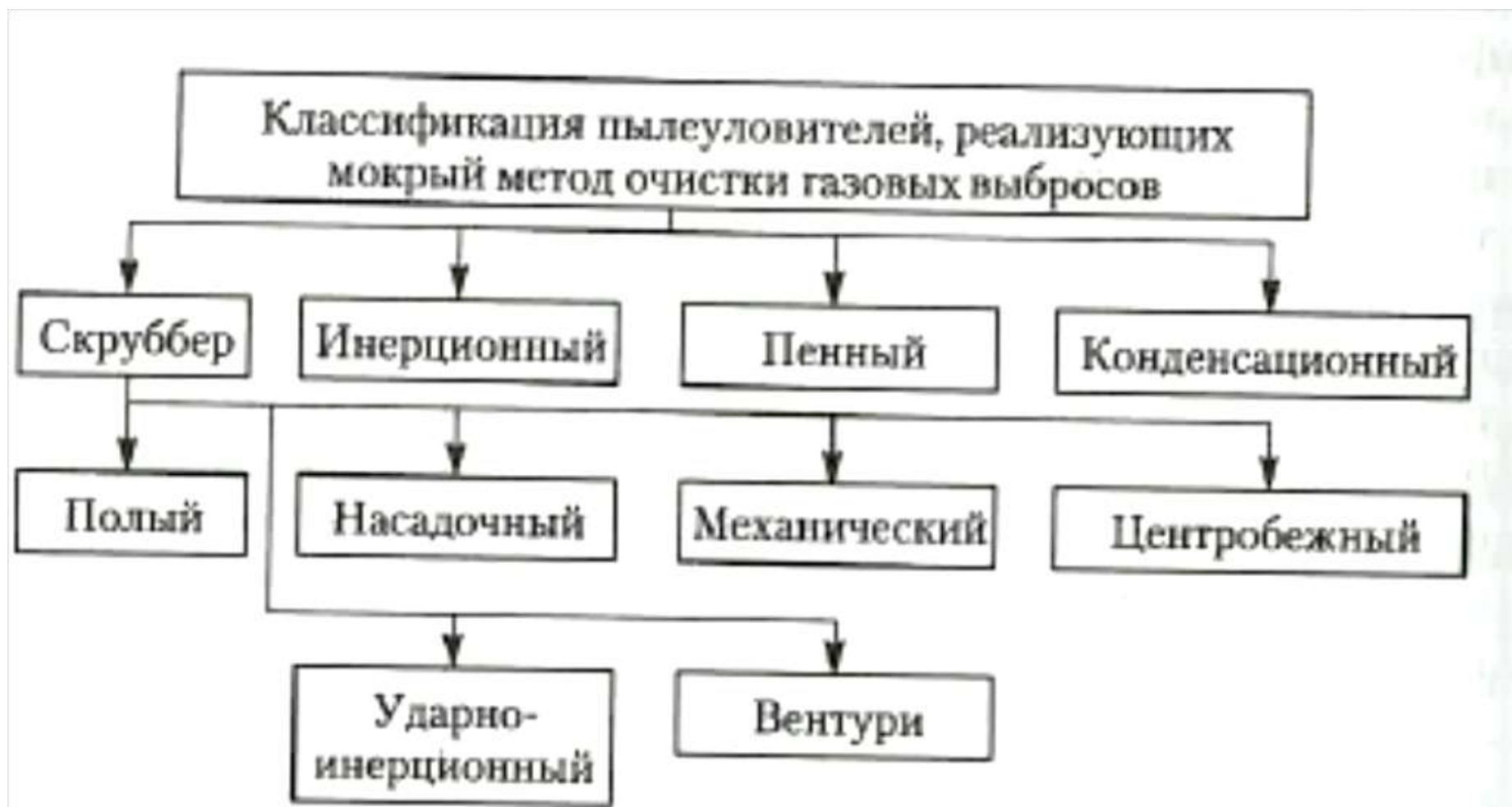
**Скрубберы, турбулентные, газопромыватели** – требуют подачи воды и работают по принципу осаждения частиц на поверхность капель под действием сил инерции и броуновского движения. Они характеризуются высокой эффективностью очистки от мелкодисперсной пыли (0,3-1,0 мкм), а также возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов.

### **Недостатки:**

- образование большого количества шламосодержащих стоков, для обработки которых необходимо специальное оборудование.
- наличие в очищенных газах капель жидкости с частицами пыли, забивающих газоходы, дымососы и вентиляторы.

Работают такие системы по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения

## Классификация мокрых уловителей





В зависимости от формы контактирования газовой и жидкой сред они делятся на:

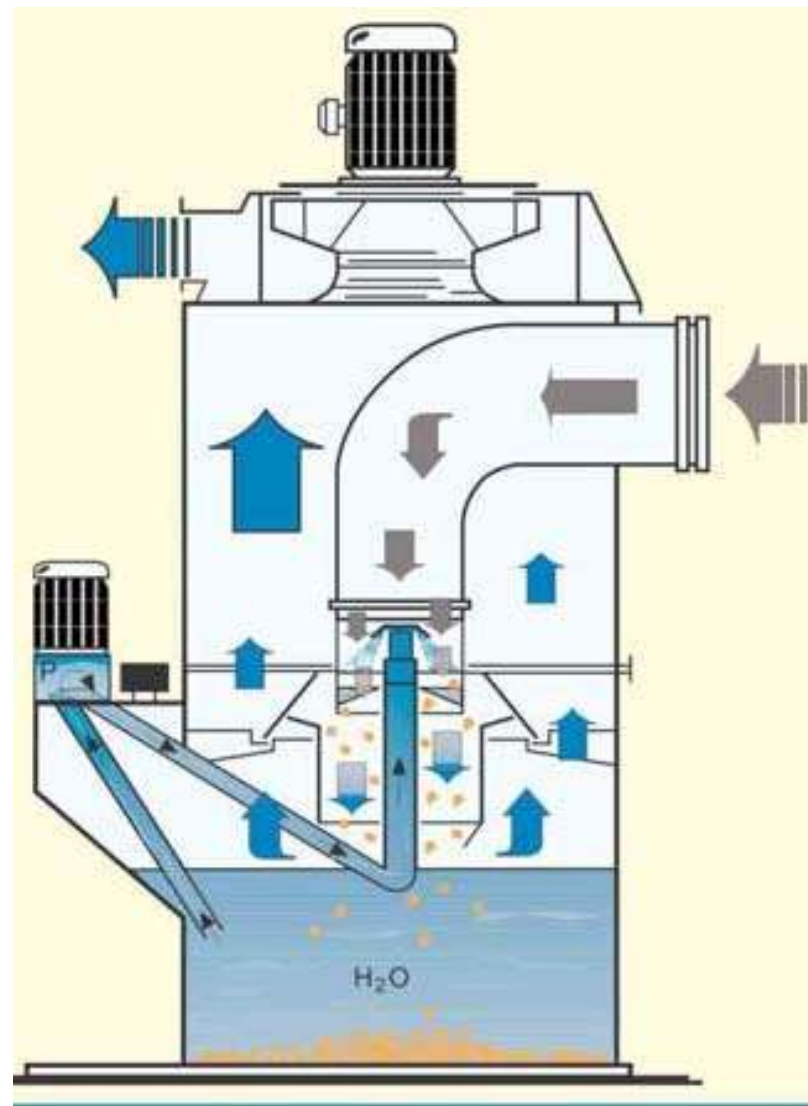
2.1. Улавливающие в объеме жидкости (применяется в полых скрубберах).

Очищаемый газ движется навстречу потоку жидкости. Одновременно с очисткой газ, проходящий через полый скруббер, охлаждается и увлажняется.



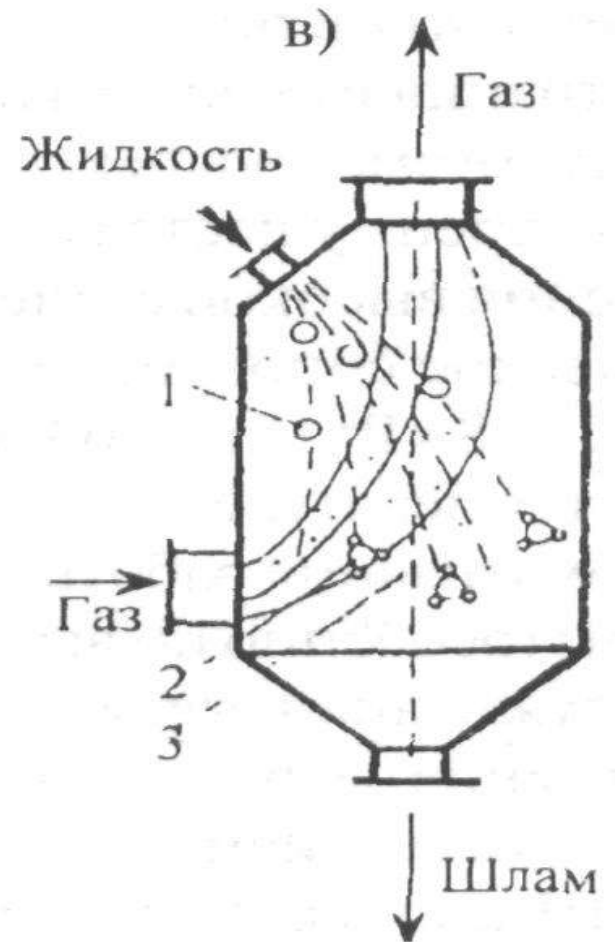
**2.2. Улавливающие пленками жидкости (в скрубберах Вентури).** Скрубберы Вентури являются наиболее распространенными аппаратами «мокрой» очистки.

Они состоят из орошающей форсунки, трубы Вентури и каплеуловителя. Каплеуловитель обычно представляет собой прямоточный циклон. Скрубберы Вентури обеспечивают высокую эффективность очистки аэрозолей до 99 %, со средним размером частиц 1-2 мкм.



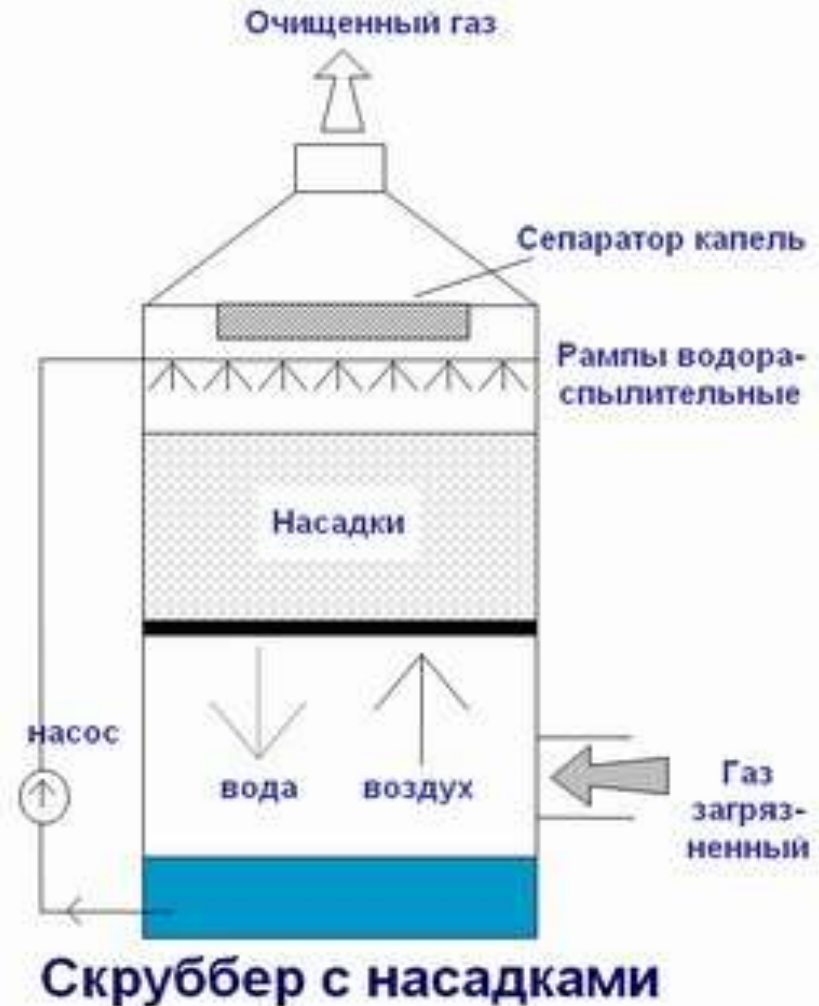
## 2.3. Улавливающие жидкостью, распыленной в объеме газа (форсуночные скрубберы)

Запыленный газ поднимается навстречу потоку капель жидкости, подаваемой в скруббер через форсуночные пояса, которые образуют несколько завес из распыленной в виде капель орошающей жидкости.



**2.4. Насадочные скрубберы.** Применяют для предварительного охлаждения газа, улавливания тумана или хорошо растворимой пыли.

Они представляют собой колонны, заполненные специальными насадками в виде колец или шариков или крупным шлаком и щебнем. За счет этого скруббер обладает большой поверхностью контакта между газом и орошающей жидкостью.

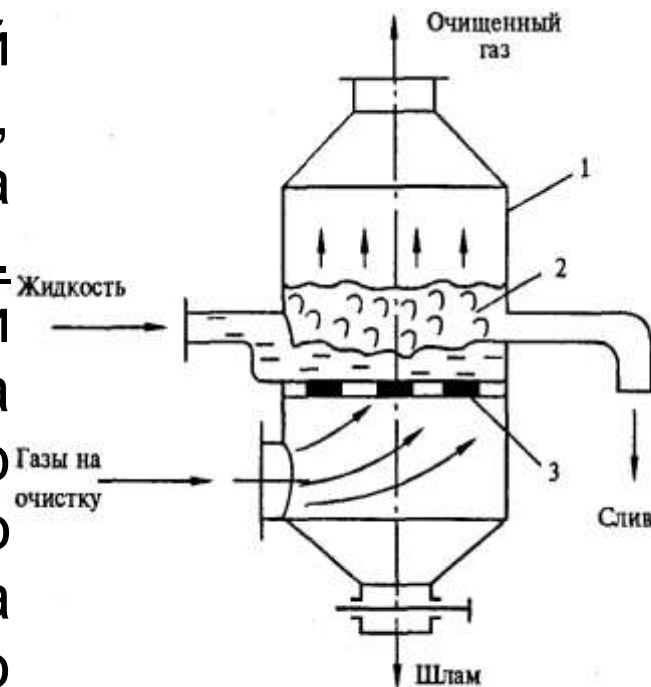


## 2.5. Барботажно-пенные скрубберы

В них газ подается под решетку.

При малых скоростях очищаемых газов (не  $>1$  м/с), последний пробулькивает через слой орошающей жидкости в виде отдельных пузырьков, такой режим работы аппарата называется барботажным. Дальнейший рост скорости очищаемого газа в корпусе аппарата до 2-2,5 м/с приводит к возникновению пенного слоя над слоем жидкости, что повышает эффективность очистки газа за счет более интенсивного перемешивания газовой и жидкой фаз.

Недостатком таких аппаратов является засорение решеток, что приводит к снижению эффективности очистки газов.



Барботажно-пенный пылеуловитель с переливной решеткой: 1 — корпус; 2 — слой пены; 3 — переливная решетка

### 3. Аппараты фильтрационной очистки

Предназначены для тонкой очистки газов за счет осаждения частиц пыли на поверхности пористых фильтрующих перегородок.

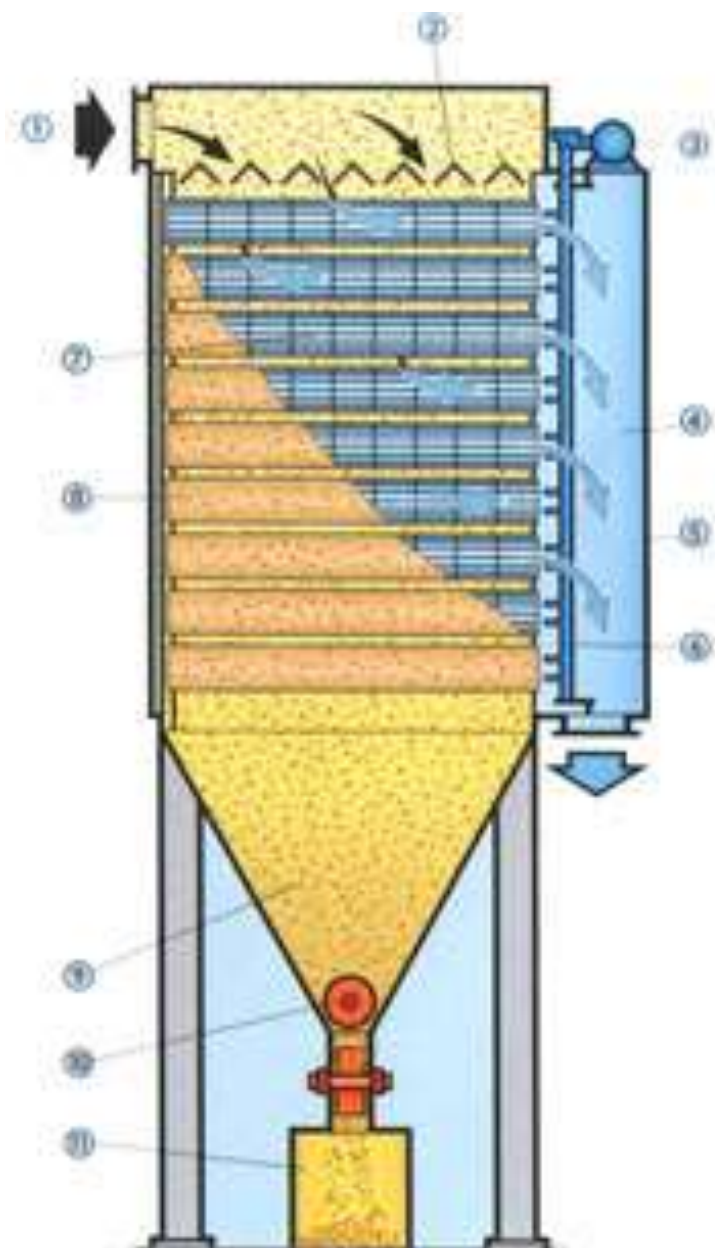
*По типу перегородки различают фильтры:*

- *с зернистыми слоями* (неподвижные свободно насыпанные материалы)
- *с гибкими пористыми перегородками* (ткани, войлоки и т.д.)
- *с полужесткими пористыми перегородками* (вязаные и тканые сетки, стружка и т.д.)
- *с жесткими пористыми перегородками* (пористая керамика, пористые металлы и др.).

Их недостатками являются значительная металлоемкость и большие размеры.



Ячеистый фильтр



Рукавный фильтр

## 4. Аппараты электрофильтрационной очистки

Они предназначены для очистки больших объемных расходов газа от пыли и тумана (например, масляного).

Конструкция таких агрегатов отличается большим разнообразием, но принцип их действия одинаков и основан на прохождении газового потока через электрическое поле высокого напряжения, в котором частицы пыли заряжаются и осаждаются на электродах.

Заряженные частицы двигаются в электрическом поле в сторону осадительных электродов и оседают на них. Осевшая пыль удаляется из электрофильтров встряхиванием электродов в сухих электрофильтрах или промывкой в мокрых.



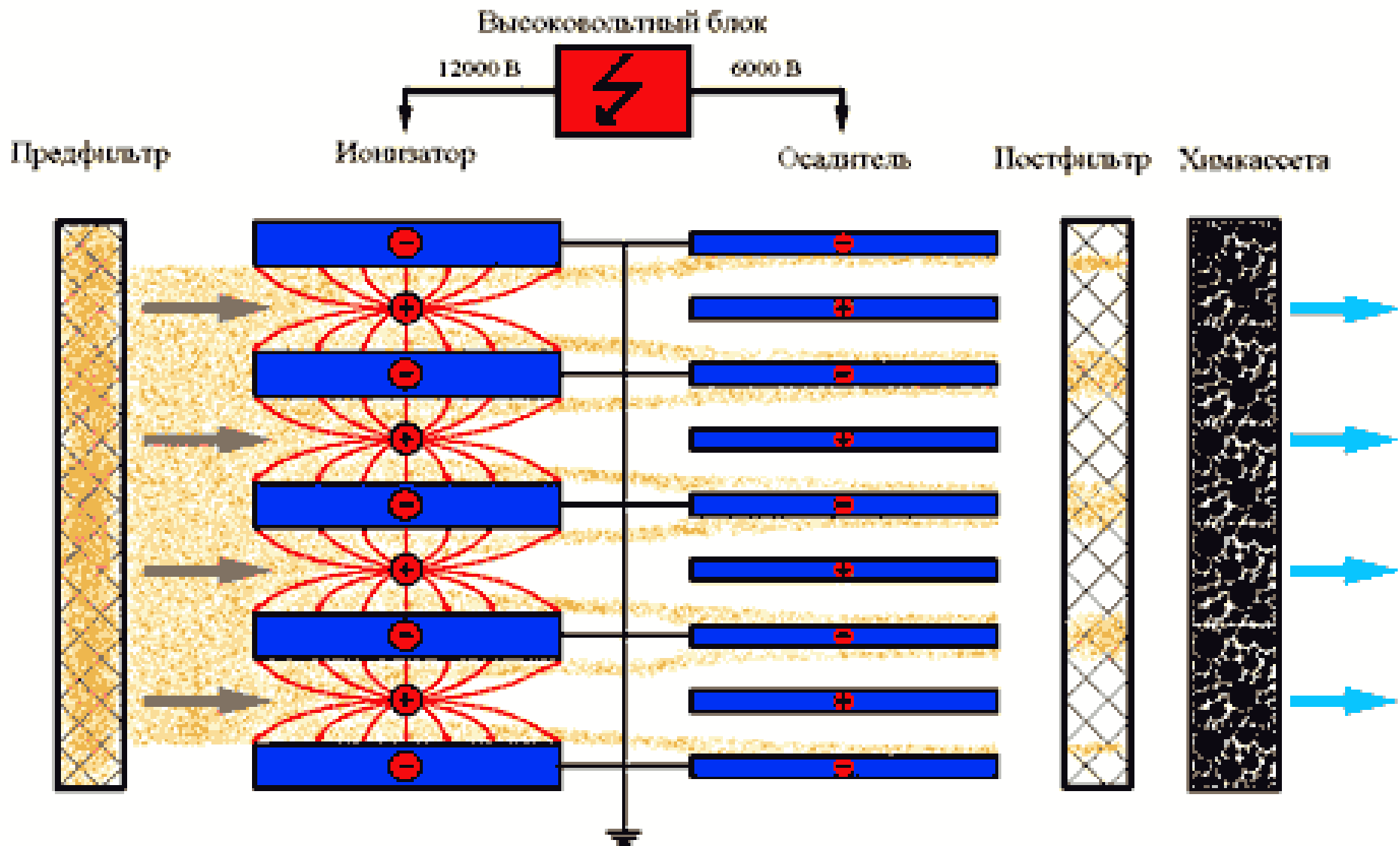


Схема очистки воздуха в электрофильтре



**При выборе средств для очистки выбросов в атмосферу следует иметь в виду:**

- **сухие механические способы и устройства** не эффективны при удалении мелкодисперсной и налипающей пыли.
- **мокрые методы** не эффективны при очистке выбросов, в которых содержатся плохо слипающиеся и образующие комки вещества (например цемент).
- **электроосадители** не эффективны при удалении плохо заряжающихся электричеством загрязнений.
- **рукавные фильтры** не эффективны при очистке выбросов с налипающими и увлажненными загрязнителями.
- **мокрые скрубберы** не применимы для работы вне помещений в зимних условиях.

## Зависимость эффективности улавливания твердых частиц и аэрозолей в газовом потоке для различных типов оборудования (по А.В. Зайцеву, 1999)

Тип оборудования	Общая эффективность, %	Эффективность улавливания, %				
		< 5 МКМ	5-10 МКМ	10-20 МКМ	20-40 МКМ	> 40 МКМ
Пылеосадительная камера	58,6	7,5	22	43	80	90
Обычный циклон	65,3	12	33	57	82	91
Циклон с удлиненным конусом	84,2	40	79	92	95	97
Электрофильтр	97	72	94,5	97	99,5	100
Полый скруббер, орошаемый водой	98,5	90	96,	98	100	100
Скруббер Вентури	99,5	99	99,5	100	100	100
Рукавный фильтр	99,7	99,5	100	100	100	100

# Очистка выбросов от токсичных газо- и парообразных примесей

## Основные группы методов очистки

Промывка выбросов жидкостями, способными растворить содержащуюся в них примесь  
*(абсорбционный метод)*

Поглощение газообразных примесей твердыми телами с ультрамикроскопической структурой  
*(адсорбционный метод)*

Обезвреживание примесей путем *каталитического* превращения в менее опасные вещества

# Очистка газовых выбросов от газо- и парообразных загрязнителей



## абсорбция

Контакт очищаемых газов с абсорбентом осуществляется путем пропускания газа через поглощающую жидкость, либо распылением поглощающей жидкости, либо барботажем через ее слой.

## хемосорбция

Заключается в поглощении вредных примесей твердыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих или малорастворимых соединений.

## адсорбция

Метод основан на поглощении содержащихся в газах вредных примесей поверхностью твердых пористых тел (активный уголь, глинозем, силикагель, цеолиты и др.)

### Адсорбция

Повторное  
использование

Каталитическое/  
термическое дожигание

Захоронение/  
сжигание

# Очистка газовых выбросов от газо- и парообразных загрязнителей

## катализ

*Метод предназначен для превращения вредных примесей, содержащихся в отходящих газах, в вещества безвредные или менее вредные для ОС с использованием катализаторов*

## термическая нейтрализация

*Обеспечивает окисление токсичных примесей в газовых выбросах до менее токсичных при наличии свободного кислорода и высокой температуры газов*

## озонирование

*Применяют для обезвреживания дымовых газов от  $SO_2(NO_x)$  и дезодорации газовых выбросов промышленных предприятий. Введение озона ускоряет реакции окисления  $NO$  до  $NO_2$  и  $SO_2$  до  $SO_3$ . После образования  $NO_2$  и  $SO_3$  в дымовые газы вводят аммиак и выделяют смесь образовавшихся комплексных удобрений (сульфата и нитрата аммония)*

# Очистка газовых выбросов от газо- и парообразных загрязнителей

## биохимические

*Основаны на способности микроорганизмов разрушать и преобразовывать различные соединения*

## плазмохимический

*Основан на пропускании через высоковольтный разряд воздушной смеси с вредными примесями*

## плазмокаталитический

*Установки, работающие на основе этого метода, состоят из двух ступеней. Первая – это плазмохимический реактор (озонатор), вторая - каталитический реактор. Газообразные загрязнители, проходя зону высоковольтного разряда в газоразрядных ячейках и взаимодействуя с продуктами электросинтеза, разрушаются и переходят в безвредные соединения, вплоть до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$*



**Абсорбционные методы** применяют для очистки газов от сероводорода, сероуглерода, меркаптанов, оксидов серы, азота и углерода, галогенов и их соединений.

**Адсорбционные методы** применяют при производстве, хранении и использовании летучих растворителей.

**Термическое обезвреживание или высокотемпературное дожигание** применяют для легкоокисляемых токсичных, а также дурнопахнущих смесей.

**Биохимические методы** улавливают органические вещества: стирол, ксилол, толуол, бензол, этанол, этилацетат, фенол, формальдегид, фуриловый спирт и др. с предприятий обувных, мебельных, кожевенных, мясо- и перерабатывающих.

**«Инструкция по осуществлению государственного контроля за охраной атмосферного воздуха»  
(утверждена приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования № 112 от 01.03.2011)**

**П. 1.4.** *Государственный контроль за охраной атмосферного воздуха ... организуется и проводится Федеральной службой по надзору в сфере природопользования и ее территориальными органами на объектах хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю.*

**1.6.** *Право на осуществление государственного контроля за охраной атмосферного воздуха имеют должностные лица Росприроднадзора и его территориальных органов.*

## 1.7. Государственные инспекторы по охране природы, осуществляющие государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, имеют право :

- беспрепятственно при предъявлении служебного удостоверения установленного образца посещать объекты хозяйственной и иной деятельности независимо от их ведомственной принадлежности и организационно-правовой формы, на которых имеются источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и источники вредных физических воздействий на атмосферный воздух, в установленном для их посещения порядке, знакомиться с документами, данными лабораторных анализов, иными материалами, необходимыми для осуществления государственного контроля за охраной атмосферного воздуха;
- проверять соблюдение нормативов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и других условий, установленных разрешениями на выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, а также работу очистных сооружений, средств контроля за такими выбросами и т.д.