

# ЛЕКЦИЯ №6

---

## Методы защиты атмосферного воздуха

# Методы обезвреживания и переработки газообразных, жидких и твердых промышленных отходов



# Методы очистки и обезвреживания отходящих газов



# Очистка от пыли

## I. *Сухие методы*

**Сухая механическая газоочистка** - разделение газовой смеси воздействием внешней механической силы на частицу взвешенную в газе. Очистка возможна от частиц размерами: пыли 5-50 мкм, дымы 0,1-5 мкм. Эффективность очистки 80-90%.

- **Принцип действия:** существуют аппараты, в которых использованы различные механизмы осаждения:
1. гравитационный (пылеосадительные камеры),
  2. инерционный (камеры, осаждение пыли в которых происходит в результате изменения направления движения газового потока или установления на его пути препятствия)
  3. центробежный (одиночные, групповые и динамические пылеуловители).
  4. Фильтры (волокнистые, тканевые, зернистые, керамические)

# Очистка от пыли. Сухие методы

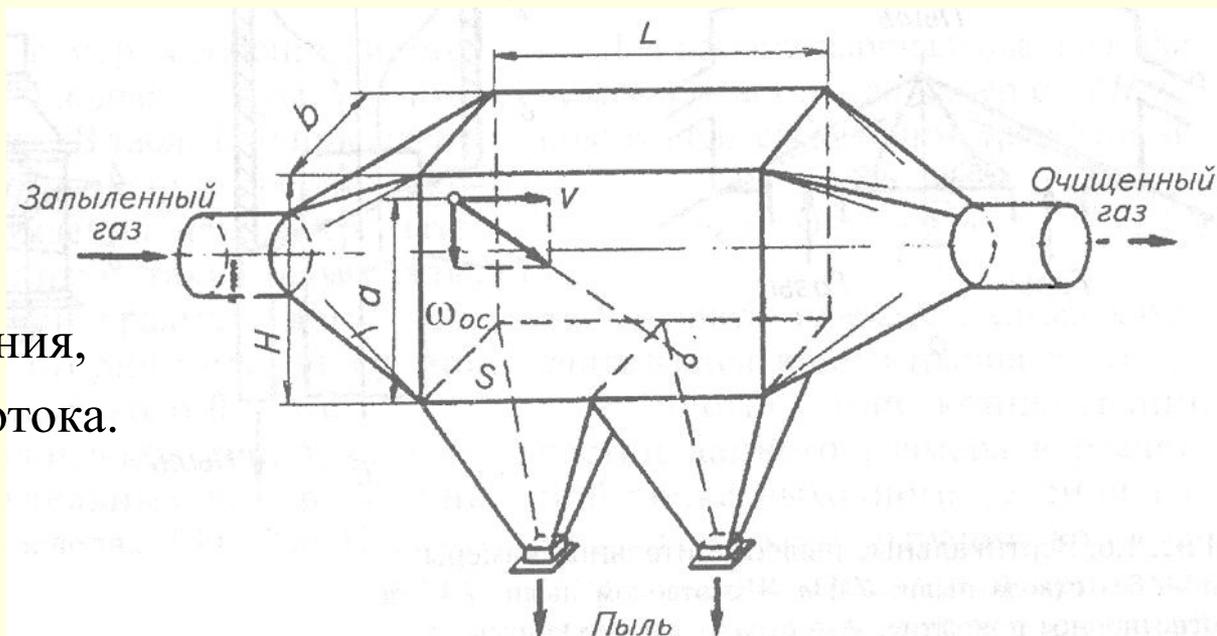
## □ Схема гравитационного пылеуловителя:

1- корпус,

2 – бункеры,

$W$  ос- скорость осаждения,

$V$ - скорость газового потока.

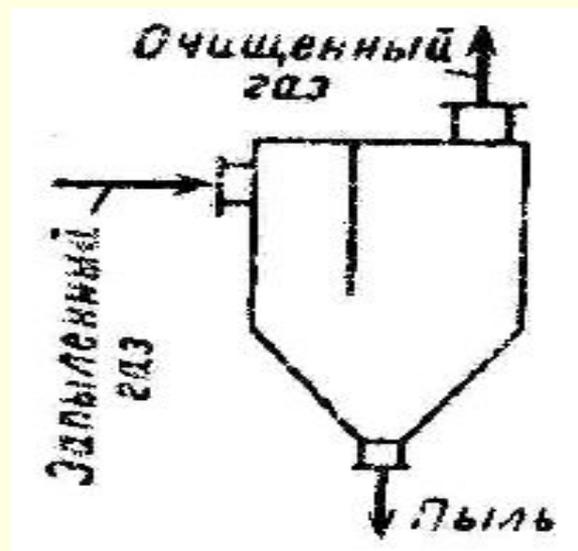
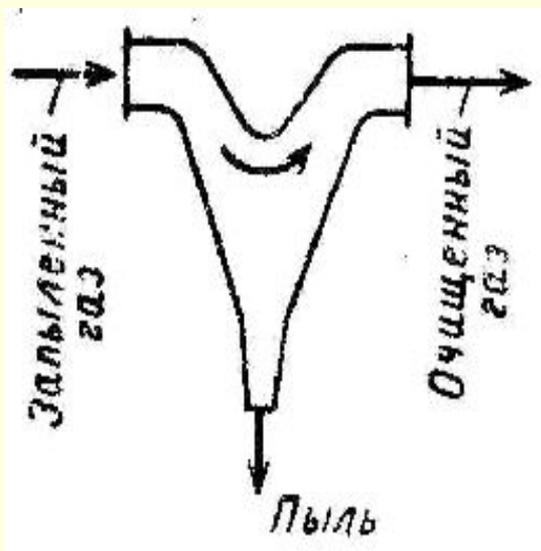


| Принцип очистки | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, %                |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Гравитационный  | Пыль 40-1000 мкм      | 40-50% (<20мкм)<br>80-90% (50мкм) |

# Очистка от пыли. Сухие методы

- Схемы инерционных пылеуловителей различных типов:

ТИПОВ:



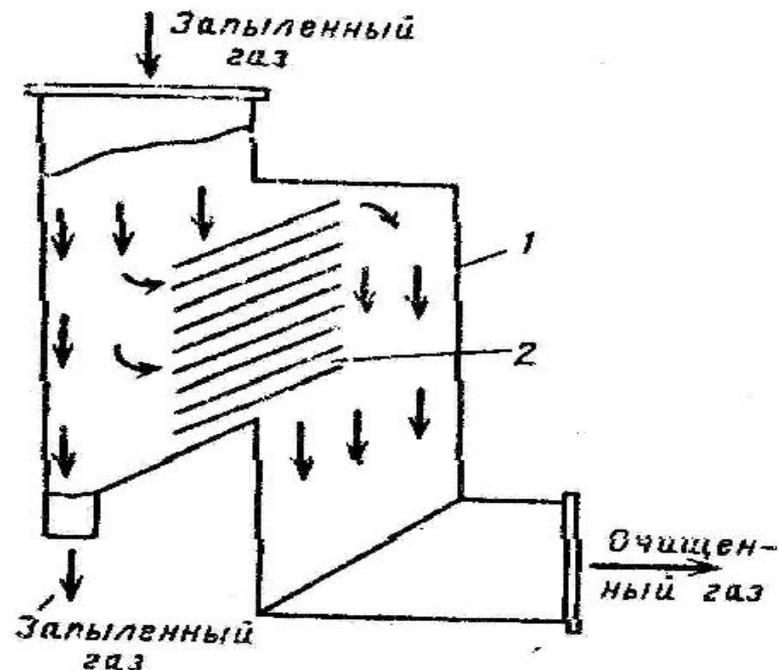
| Принцип очистки | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, %    |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Инерционный     | Пыль >25-30 мкм       | 65-80%<br>90 (30 мкм) |

# Очистка от пыли. Сухие методы

## □ Жалюзийный аппарат

1 – корпус;

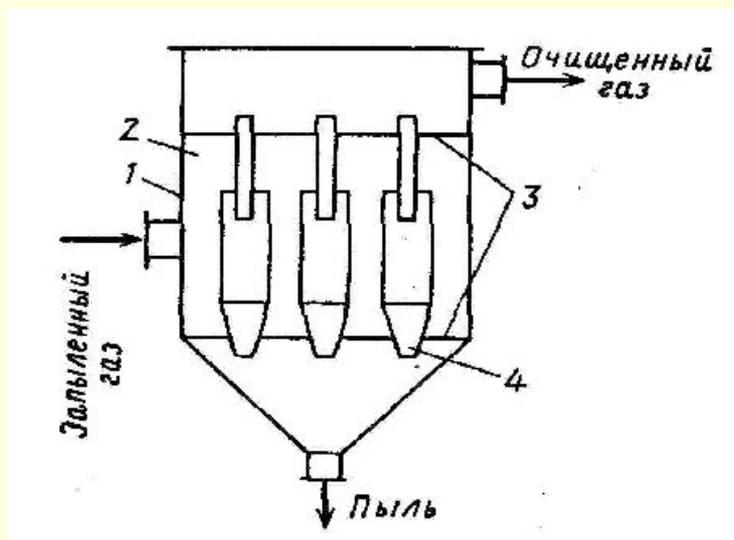
2 – решетка.



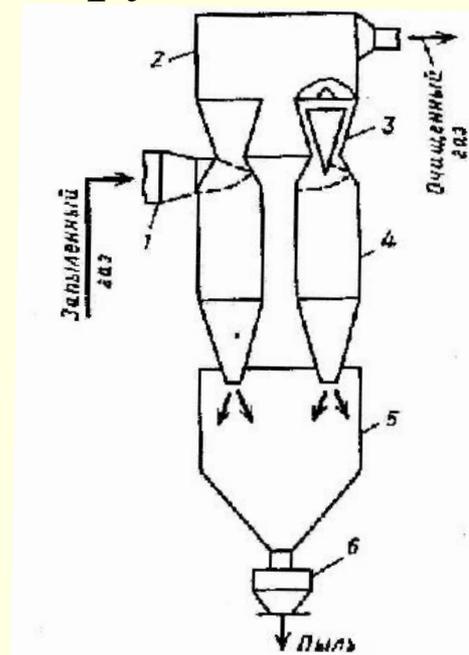
| Принцип очистки | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Инерционный     | Пыль >20 мкм          | 65-80%             |

# Очистка от пыли. Сухие методы

## Батарейный циклон



## Групповой циклон

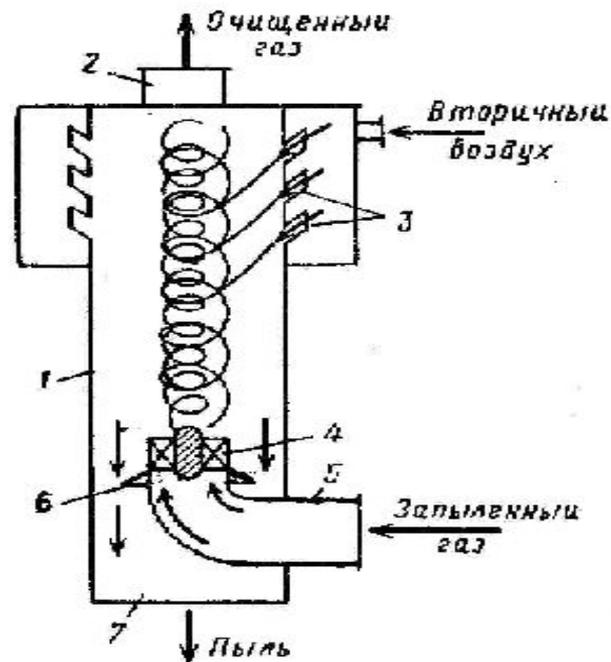


| Принцип очистки                 | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Инерционный (центробежные силы) | 5-1000 мкм            | 90% (5 мкм)        |

# Очистка от пыли. Сухие методы

## Схема вихревого пылеуловителя соплового типа

- 1 - камера;
- 2 - выходной патрубков;
- 3 - сопла;
- 4 - лопаточный завихритель типа «розетка»;
- 5 - входной патрубков;
- 6 - подпорная шайба;
- 7 - пылевой бункер;
- 8 - кольцевой лопаточный завихритель.

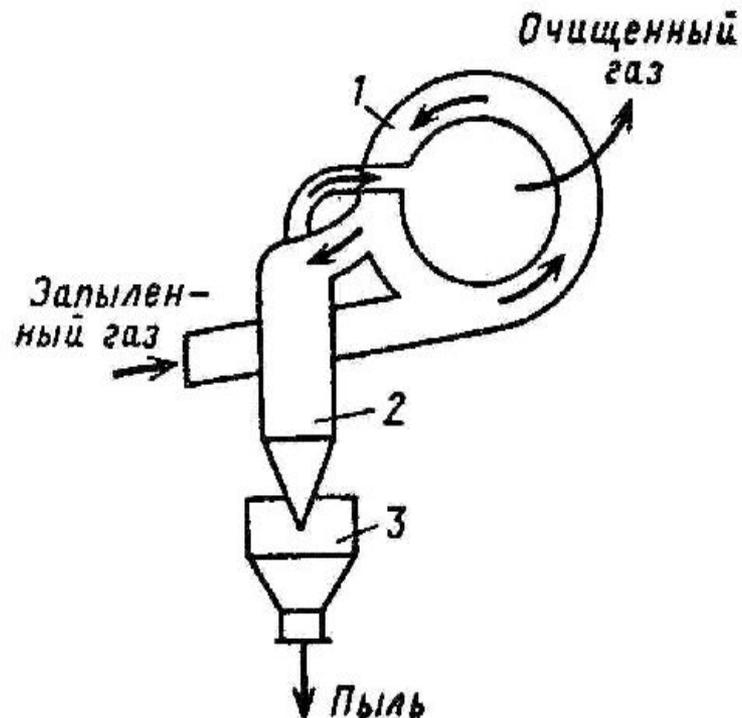


| Принцип очистки   | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Центробежные силы | -                     | 98-99% (2 мкм)     |

# Очистка от пыли. Сухие методы

## Динамический пылеуловитель

- 1 - «улитка»;
- 2 - циклон;
- 3 - пылесборный бункер.

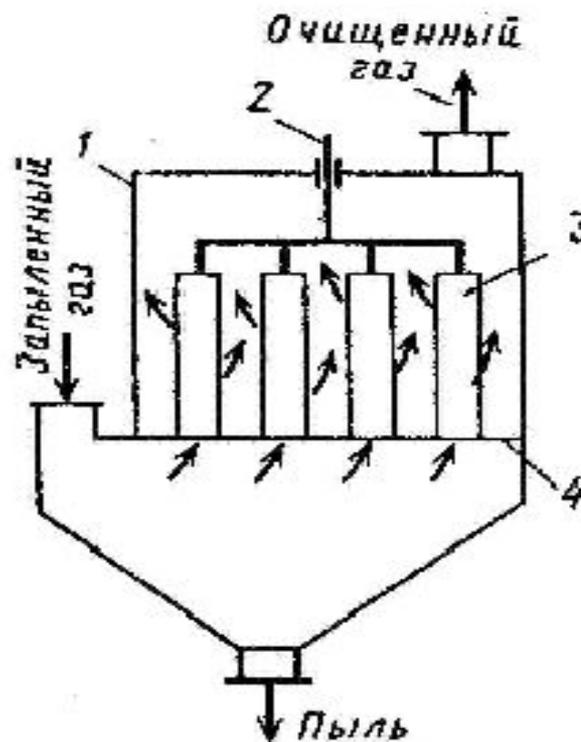


| Принцип очистки   | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Центробежные силы | Пыль >15 мкм          | 80-90% (2 мкм)     |

# Очистка от пыли. Сухие методы

## Тканевый фильтр

- 1 - корпус;
- 2 - встряхивающее устройство
- 3 - рукав;
- 4 - распределительная решетка



| Принцип очистки                            | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|--|-----------------------|--------------------|
| Фильтрация газа через пористую перегородку | 0,9-100 мкм           | 85-99%             |

# Очистка от пыли

## *II. Мокрые методы.*

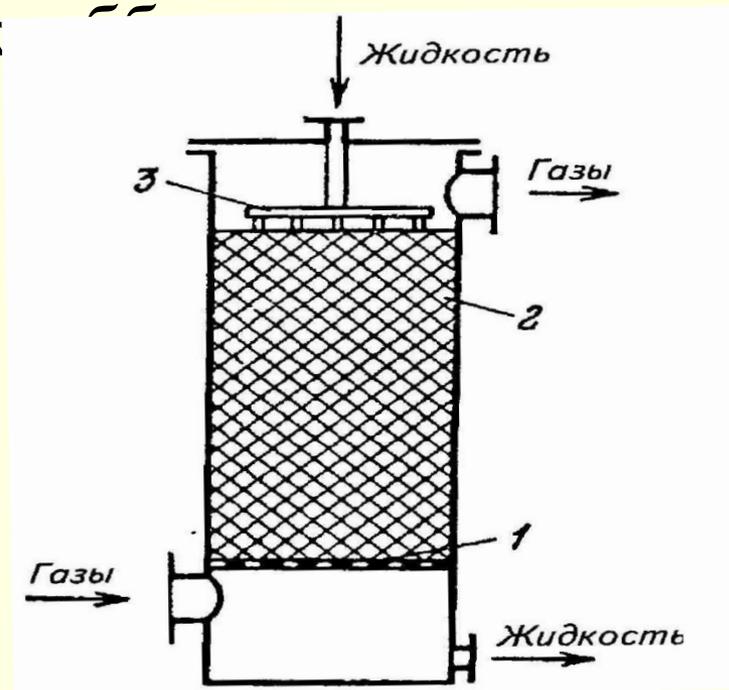
**Мокрая газоочистка** – метод, основанный на контакте газового потока с промывной жидкостью (обычно водой). Большинство схем имеют обратное водоснабжение: жидкость вместе с шламом из газопромывателей направляют в отстойники для осветления и повторного использования; при наличии в шламе ценных веществ его обезвоживают. Метод используют для улавливания тонкодисперсных пылей или туманов.

**Принцип действия:** в результате контакта запыленного газового потока с жидкостью образуется межфазная поверхность контакта. Эффективность очистки составляет от 90-99%.

# Очистка от пыли. Мокрые методы

## Противоточный насадочный скруббер

- 1 - опорная решетка;
- 2 - насадка;
- 3 - оросительное устройство.

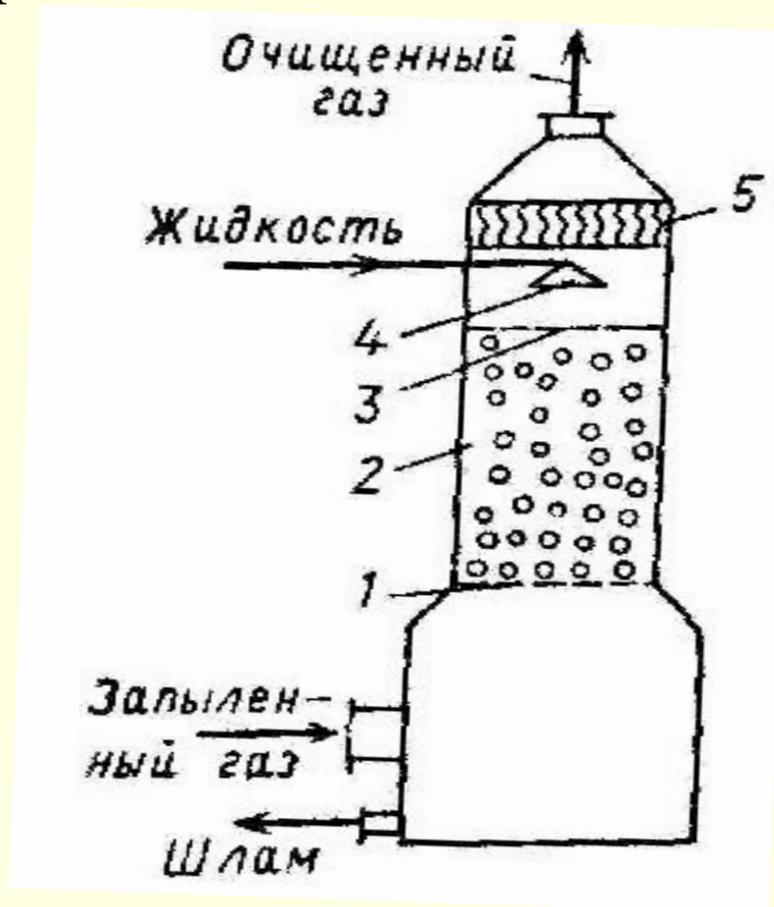


| Принцип очистки  | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|--|-----------------------|--------------------|
| При контакте запыленного газового потока с жидкостью образуется межфазная поверхность контакта | Пыль $\geq 2$ мкм     | >90% (2 мкм)       |

# Очистка от пыли. Мокрые методы

## Газопромыватель с подвижной насадкой

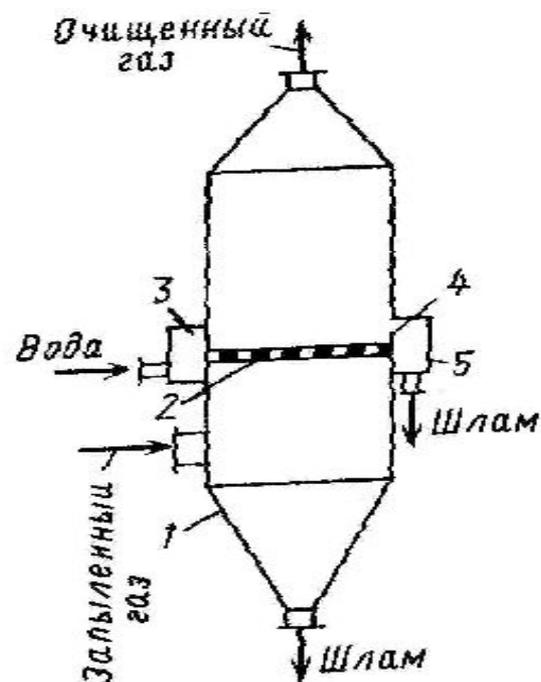
- 1-опорная решетка;
- 2- шаровая насадка;
- 3-ограничительная решетка;
- 4- оросительное устройство;
- 5- брызгоуловитель.



# Очистка от пыли. Мокрые методы

## □ Пенный газопромыватель с переливной тарелкой

- 1 – корпус;
- 2 – тарелка;
- 3 - приемная коробка;
- 4 – порог;
- 5- сливная коробка.

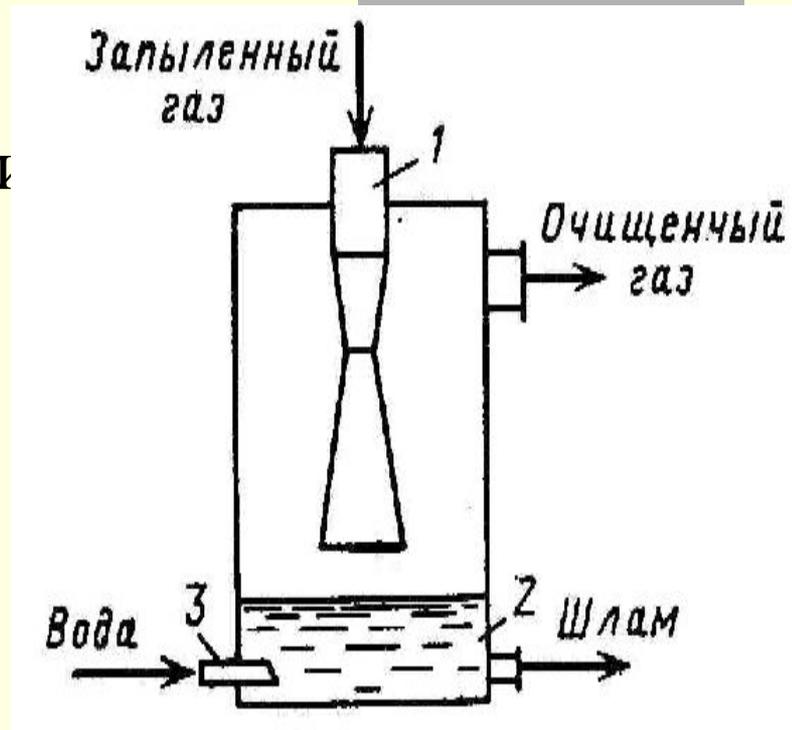


| Принцип очистки  | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|--|-----------------------|--------------------|
| При контакте запыленного газового потока с жидкостью образуется межфазная поверхность контакта | Пыль >10 мкм          | -                  |

# Очистка от пыли. Мокрые методы

□ Газопромыватель ударно-инерционного действия

- 1 - входной патрубок;
- 2 - резервуар с жидкостью;
- 3 - сопло.

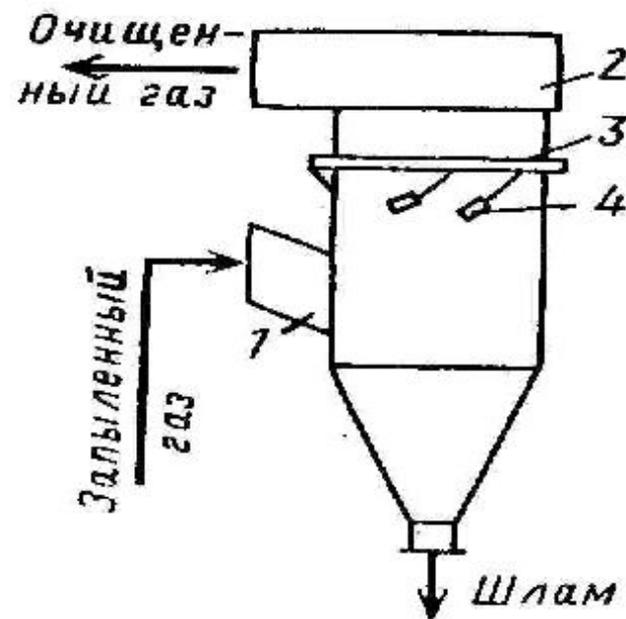


| Принцип очистки                             | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|---|-----------------------|--------------------|
| Удар газового потока о поверхность жидкости | -                     | 95-97 %            |

# Очистка от пыли. Мокрые методы

□ Газопромыватели центробежного лействия:  
циклон с водяной пленкой

- 1 – входной патрубков;
- 2 - выходной патрубков;
- 3 - кольцевой коллектор;
- 4 - сопло.



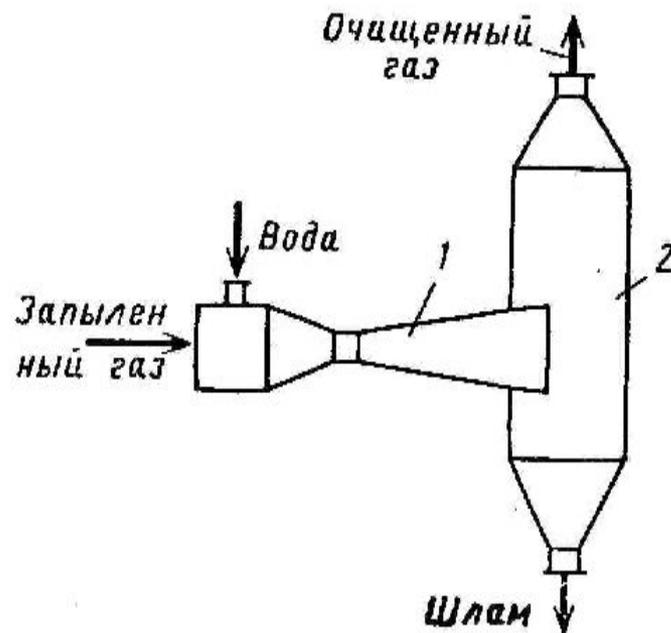
| Принцип очистки                  | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Центробежный, пленочное орошение | -                     | 98-99 %            |

# Очистка от пыли. Мокрые методы

□ Скоростной газопромыватель, скруббер Вентури с выносным каплеуловителем

1 - труба-распылитель;

2 - циклон-пылеуловитель.



| Принцип очистки  | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|--|-----------------------|--------------------|
| Интенсивное дробление газовым потоком орошающей его жидкости | Пыль >0,1 мкм         | -                  |

# Очистка от пыли

## III. Электрические методы

*Электрическая очистка* – ионизация электрическим зарядом под действием постоянного электрического тока (напряжением до 90 кВ) взвешенных в газах твердых и жидких частиц с последующим осаждением их на электродах.

*Принцип действия:* движение заряженных частиц к осадительному электроду происходит под действием аэродинамических сил, силы взаимодействия электрического поля и заряда частицы, силы тяжести и силы давления электрического ветра. Скорость осаждения главным образом зависит от удельного электрического сопротивления и электрического заряда частиц.

# Электрическая очистка

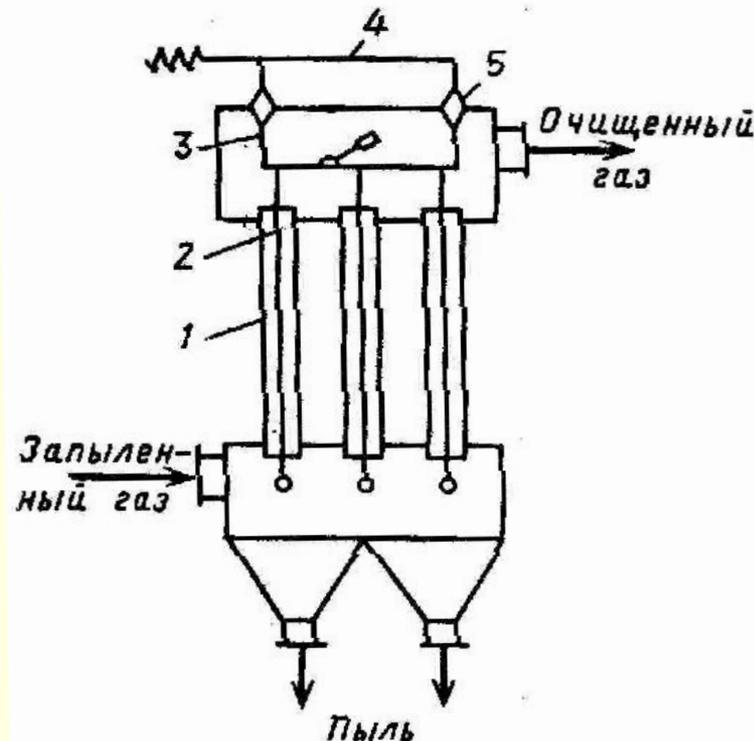
Осуществляется в сухих и мокрых электрофильтрах:

- широко применяются для улавливания высокодисперсных частиц пыли или тумана, особенно при очистке больших объемов газа.
- имеют широкий диапазон производительности - от сотен до миллионов м<sup>3</sup>/ч;
- обеспечивают высокую степень очистки газов до 99,95 %;
- имеют низкое гидравлическое сопротивление - 0,2 кПа;
- могут улавливать твердые и жидкие частицы размером от 0,01 (вирусы, табачный дым) до 10 мкм.

# Очистка от пыли. Электрические методы

## Трубчатый электрофильтр

- 1- осадительный электрод;
- 2- коронирующий электрод;
- 3- рама;
- 4- встряхивающее устройство;
- 5- изолятор.



| Принцип очистки   | Очищаемые ингредиенты | Степень очистки, % |
|---|-----------------------|--------------------|
| Ионизации частиц при прохождении газа через область коронного разряда и последующее осаждение на электродах | 0,01-10 мкм           | 90-99              |

# Очистка от туманов и брызг

Фильтрация газов через пористую перегородку, при которой улавливаются брызги и туманы – капли жидкости 0,5-5 мкм, в т.ч. масла.

**Принцип действия:** фильтрация газа происходит при помощи различного рода фильтров:

- Волокнистые фильтры-туманоуловители. Происходит захват частиц жидкости волокнами при пропускании туманов через волокнистый слой. Эффективность очистки 96-99,5%;
- Сеточные фильтры-туманоуловители. Сетки, уложенные в пакеты, используют как центры сбора капель;
- Электрофильтры (мокрые электрофильтры).

# Очистка от газообразных и парообразных примесей

**Абсорбция** - процесс избирательного поглощения газа или пара из газовой смеси жидким поглотителем — абсорбентом. В этом процессе происходит переход вещества из газовой или паровой фазы в жидкую.

**Принцип действия:** методы основаны на поглощении кислых газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HF}$  и др.) главным образом сильными основаниями, например, водными растворами щелочей, соды, суспензиями извести, известняка или магнезита; органических сернистых соединений - растворами щелочей.

# Абсорбционные методы

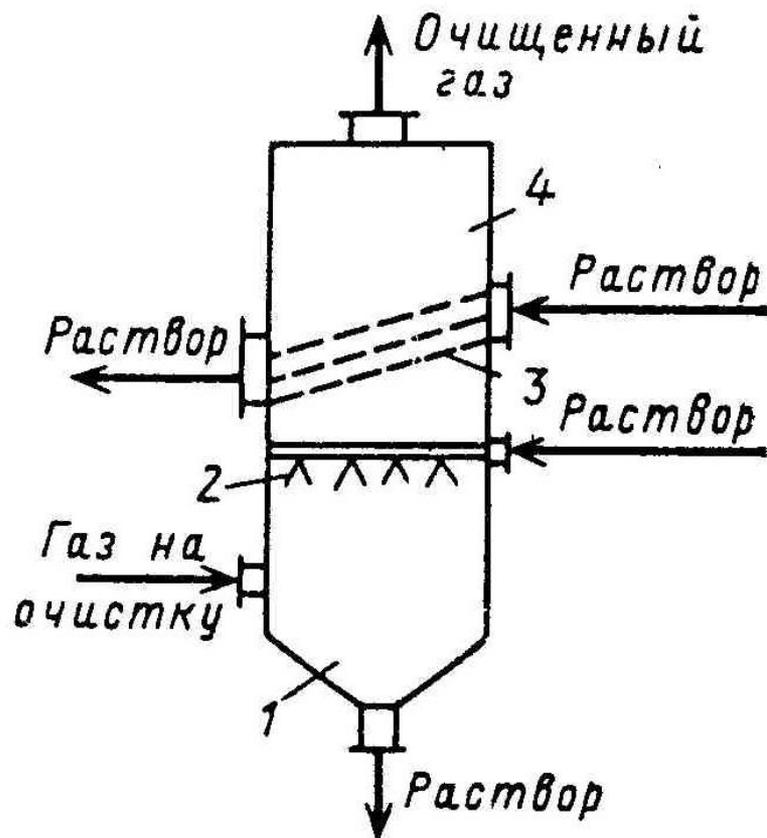


| Очищаемые ингредиенты                 | Принцип очистки  | Степень очистки, %      |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| SO <sub>2</sub>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Абсорбция водой, растворимость мала:<br/> <math display="block">\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-</math> </li> <li>– Растворы известняка, извести:<br/> <math display="block">\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaSO}_3</math> </li> <li>– Раствор соды: <math>\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{CO}_2</math></li> <li>– Поглощение аммиачной водой:<br/> <math display="block">\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}</math> </li> </ul>                                  | 85-99                   |
| H <sub>2</sub> S                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Поглощение водным раствором Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> /K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></li> <li>– Аммиачный раствор;</li> <li>– Щелочные растворы (pH&gt;8);</li> </ul>  | 90-99<br>85-90          |
| NO <sub>x</sub>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Галогенное окисление O<sub>2</sub> или другими окислителями: <math>\text{NO} + \text{O}_2 \xrightarrow{2} \text{NO}_2</math></li> <li>– Поглощение водой:<br/> <math display="block">\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{NO} + \text{Q}</math> </li> <li>– Поглощение раствором щелочи:<br/> <math display="block">\text{NO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{CO}_2 + \text{Q}</math> </li> <li>– Селективные абсорбенты – FeSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>2</sub> – для очистки от NO</li> <li>– Гомогенное восстановление аммиаком при t&gt;200°C: <math>\text{NH}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}</math></li> </ul> | до 97                   |
| Галогены и их соединения<br>FCl и HCl | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Очистка водой;</li> <li>– Поглощение водой, водные растворы щелочей (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>);</li> <li>– <math>2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NaCl} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O}</math>.</li> </ul>  | 90-95<br>70-90<br>90-98 |

# Абсорбционные методы

## Тарельчатый абсорбер:

- 1 - секция очистки газа;
- 2 - форсунка;
- 3 - контактные тарелки;
- 4 - секция брызгоудаления.



# Абсорбционные методы

□ Насадочный абсорбер:

А) со сплошной загрузкой наса

Б) с послойной загрузкой наса

1 - поддерживающие решетки;

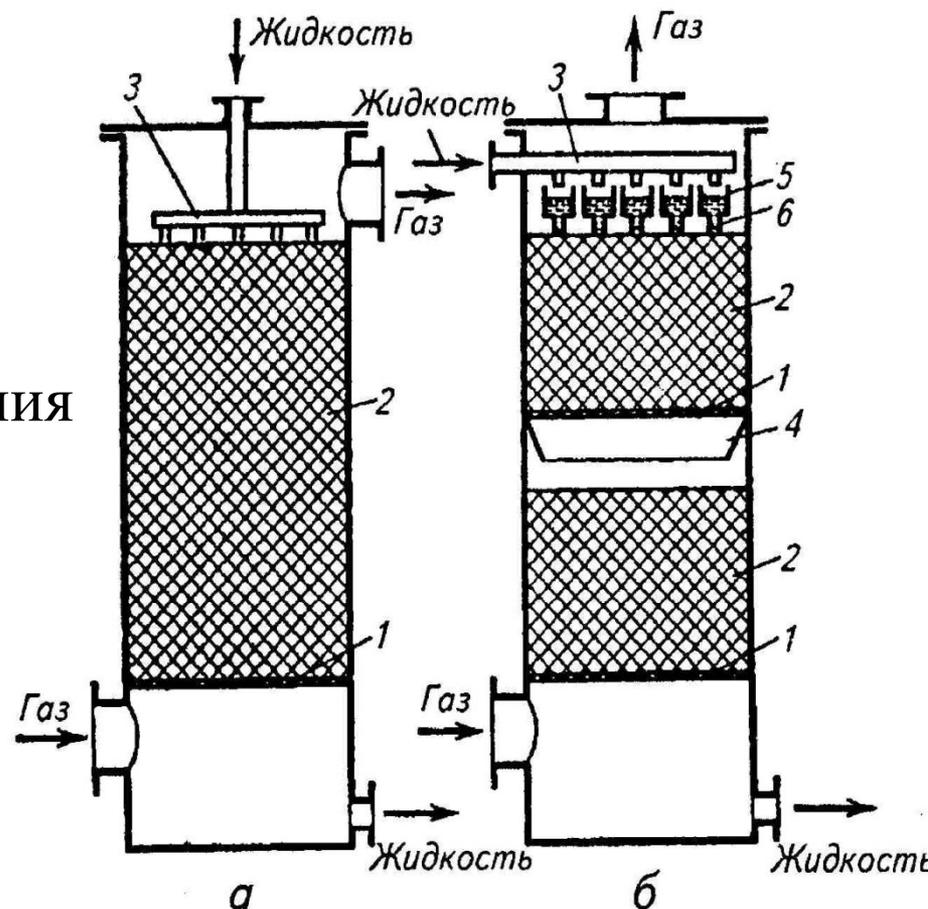
2 - насадка;

3 - устройство для распределения  
жидкости;

4 - перераспределитель;

5 - желоб;

6 - патрубок.

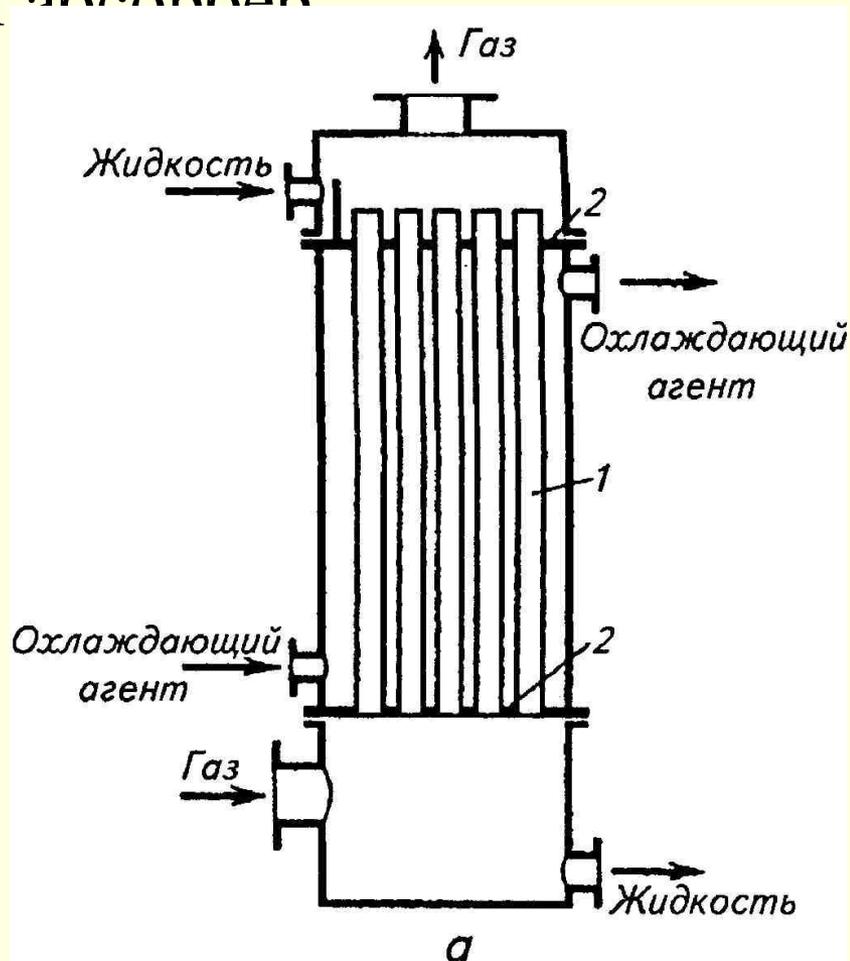


# Абсорбционные методы

## Трубочный плёночный абсорбер

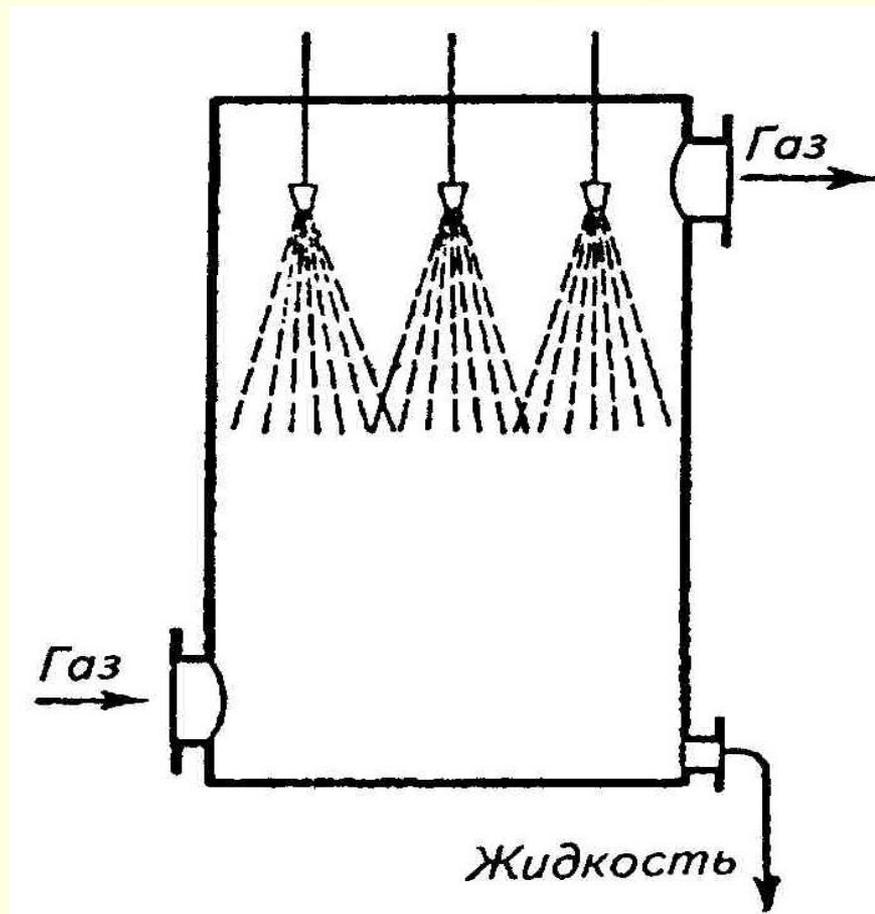
1 - трубы;

2 - трубные решетки.



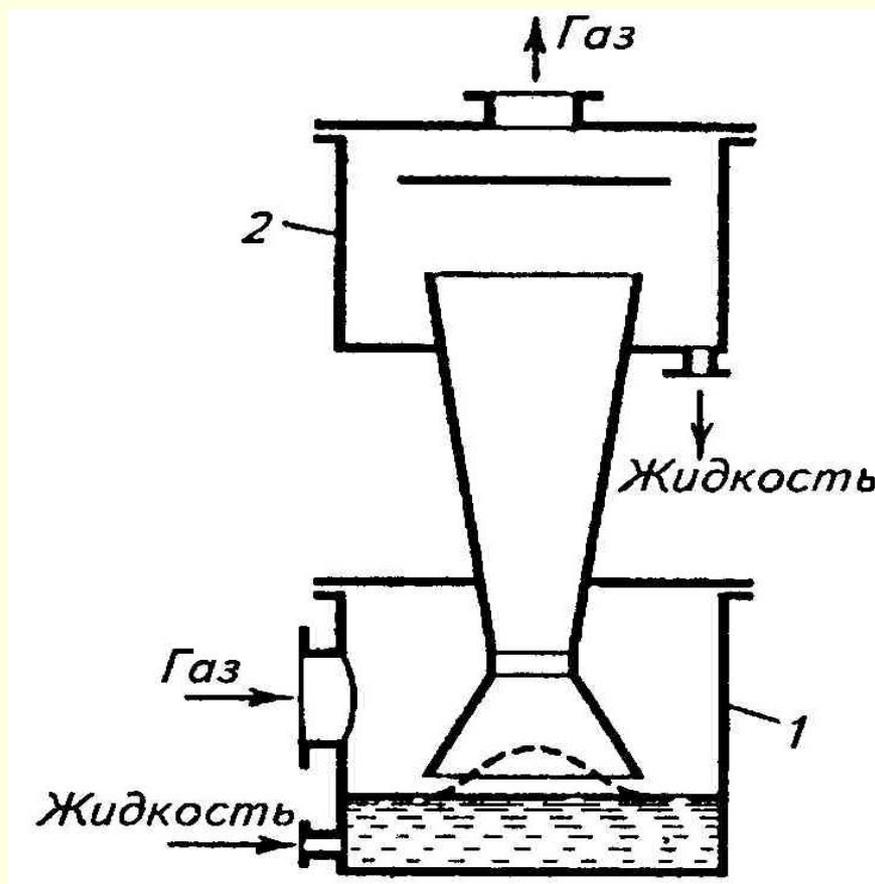
# Абсорбционные методы

## Полый распыливающий абсорбер



# Абсорбционные методы

## Бесфорсуночный абсорбер Вентури



# Очистка от газообразных и парообразных примесей

**Адсорбция** - процесс прилипания молекул вещества (адсорбат) на поверхности контакта этого вещества с твердым телом или жидкостью (адсорбент). Поглощения адсорбата в глубину адсорбента не происходит. Этим адсорбция отличается от абсорбции.

**Принцип действия:** поглощение паров растворителей (98-99%), оксидов азота (96-99%), оксидов серы (~90%), галогенов и их соединений (80-95%) происходит адсорбентом, в качестве которого могут выступать активные угли, силикагели, хемосорбенты, хемосорбенты (известняк).

# Адсорбционные методы

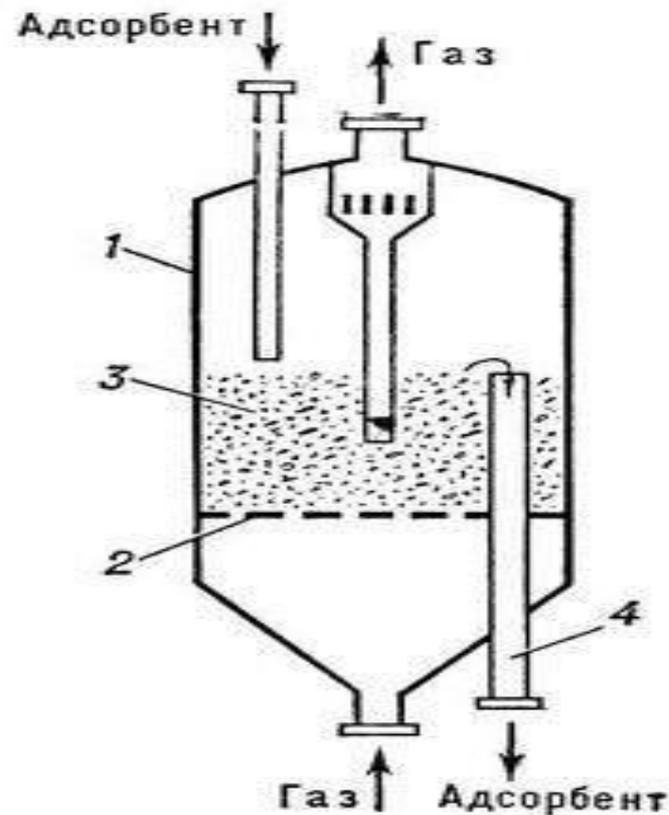
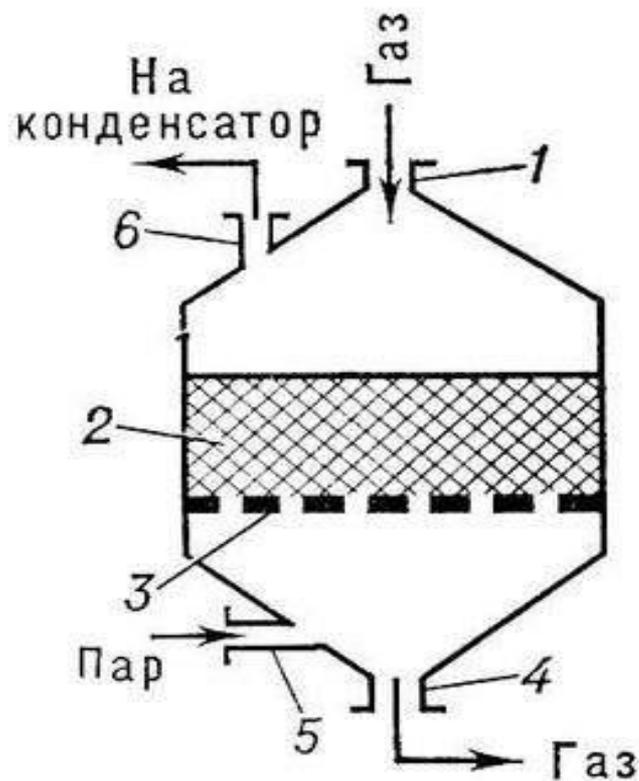
| Очищаемые ингредиенты    | Принцип очистки           | Степень очистки, % |
|--------------------------|---------------------------|--------------------|
| Пары растворителей       | активные угли             | 98-99              |
| $\text{NO}_x$            | активные угли, силикагели | 96-99              |
| $\text{SO}_x$            | хемосорбенты              | ~90                |
| Галогены и их соединения | хемосорбенты (известняк)  | 80-95              |

# Адсорбционные методы

Адсорбер:

А) периодического действия;

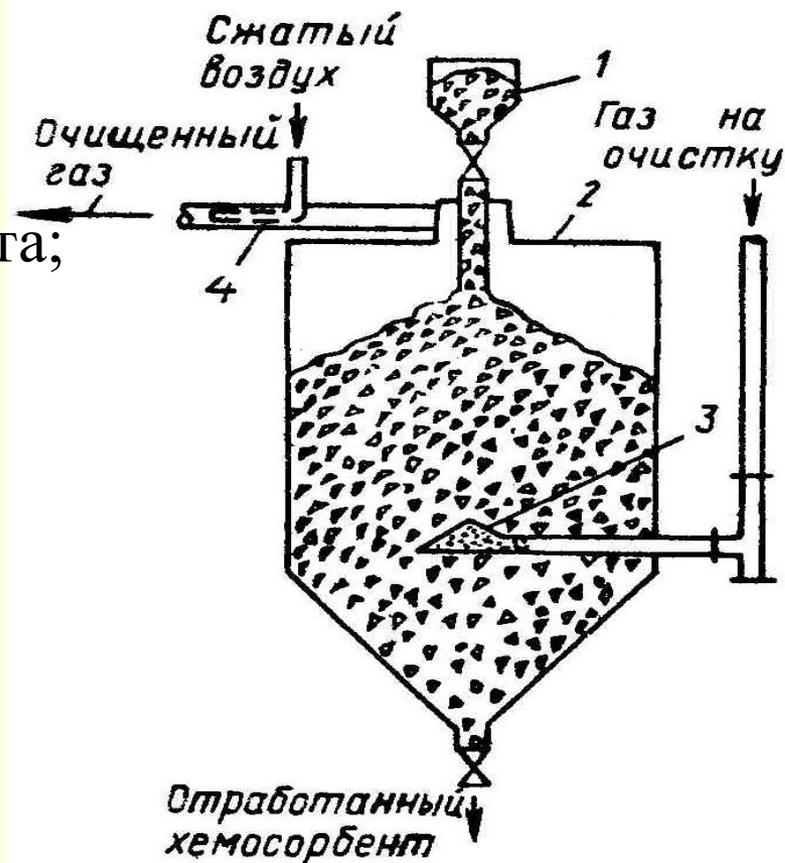
Б) с кипящим слоем



# Адсорбционные методы

## Схема установки для хемосорбции фторида водорода известняком

- 1 - бункер;
- 2 - корпус контактного аппарата;
- 3 - газораспределительное устройство;
- 4 - пневматический эжектор.



# Каталитические методы

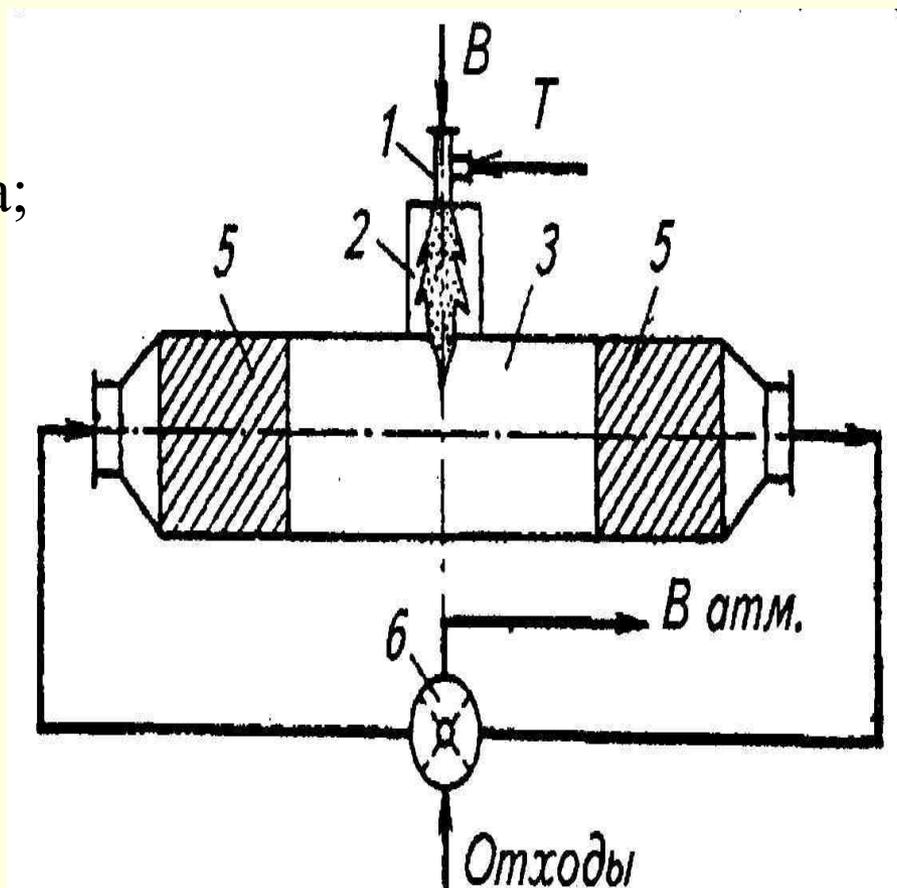
*Каталитические методы* очистки газов основаны на гетерогенном катализе и служат для превращения примесей в безвредные или легко удаляемые из газа соединения.

| Очищаемые ингредиенты | Принцип очистки  | Степень очистки, % |
|-----------------------|--|--------------------|
| NO <sub>x</sub>       | Протекают процессы гетерогенного катализа. Катализаторы – металлы (Pt, Rh, Pd), основа – металлы или керамика (сетки, спирали, ленты, соты, решетки).<br>Аммиак: $\text{NO} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . | 90-99,9            |
| Органические вещества |  |                    |

# Каталитические методы

## Реактор огневого обезвреживания газообразных отходов с регенеративным теплообменником

- 1 - горелочное устройство;
- 2 - камера сгорания топлива;
- 3 - камера обезвреживания отходов;
- 5 - регенеративный теплообменник;
- 6 - перекидной клапан;
- Т - топливо;
- В - воздух.



# Высокотемпературное обезвреживание

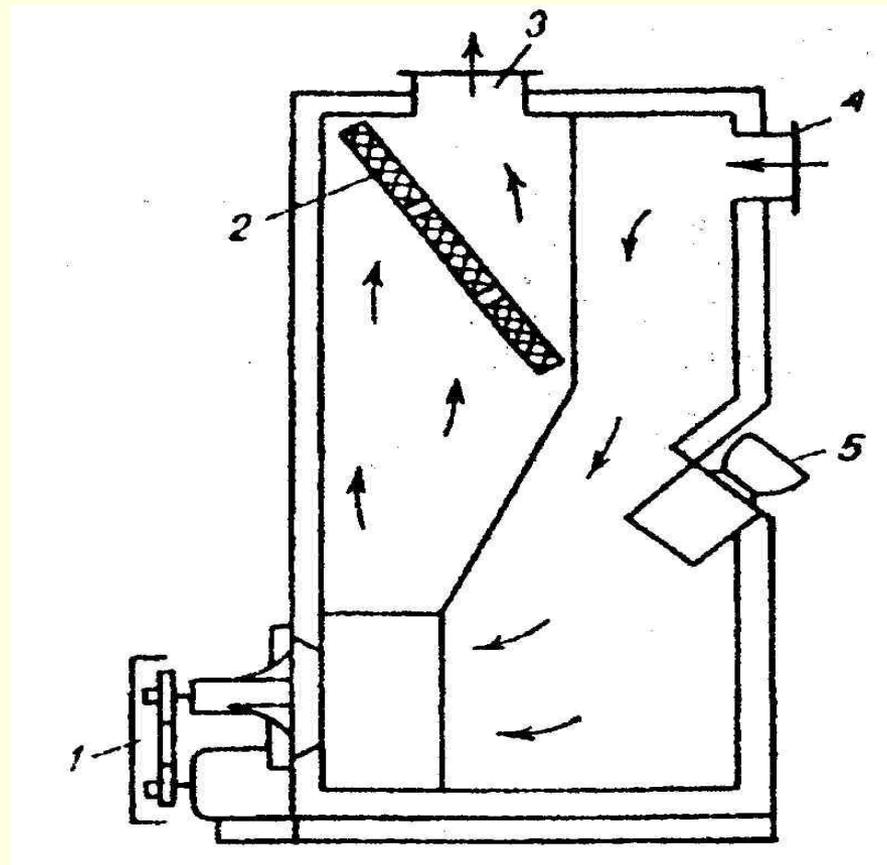
**Высокотемпературное обезвреживание** – термохимическое преобразование обезвреживаемого вещества, включающее высокотемпературное разложение ( $T=2000-3500^{\circ}\text{C}$ ), доокисление и химическое связывание продуктов разложения, мгновенную систему нейтрализации и улавливания конечных малотоксичных химических соединений.

| <b>Очищаемые ингредиенты</b>                       | <b>Принцип очистки</b>                           | <b>Степень очистки, %</b> |
|--|--|---------------------------|
| Органические, легко окисляемые, дурнопахнущие газы | Окисление обезвреживаемых компонентов кислородом | 90-99                     |

# Высокотемпературное обезвреживание

## Аппарат для каталитического сжигания ПГО.

- 1 - вентилятор;
- 2 - катализатор;
- 3 - штуцер для выхода очищенного газа;
- 4 - штуцер для ввода ПГО;
- 5 - горелка для предварительного нагрева.



# ЛЕКЦИЯ №6

---

## Методы защиты атмосферного воздуха