

# **Методы и средства защиты атмосферы от химических примесей**

Лекция 6

# Методы защиты атмосферы

Методы защиты атмосферы можно объединить в три большие группы:

1. **Мероприятия по снижению мощности вредных выбросов** (уменьшению количества выбрасываемого вещества в единицу времени):

- • замена топлива более экологически чистыми;
- • сжигание топлива по специальной технологии;
- • создание замкнутых производственных циклов.

2. **Мероприятия по применению специальных систем очистки** для обработки и нейтрализации (очистки) вредных выбросов.

3. **Мероприятия по нормированию выбросов** как на отдельных предприятиях и устройствах, так и в регионе в целом.

Рассмотрим примеры промышленной реализации

# ***В ракетно-космической технике***

Для маршевых ЖРД большой тяги широко применяются пары горючее – окислитель:

- НДМГ + АТ (несимметричный диметил-гидразин  $(\text{CH}_3)_2\text{N NH}_2$  + азотный тетраксид  $\text{N}_2\text{O}_4$ )

Продукты сгорания НДМГ+АТ, оказывают вредное воздействие на человека, выделяя  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{NNO}(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ .

Для самого гидразина и его производных (в том числе НДМГ) ПДКрз =  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , он относится к первому классу опасности

# Замена ракетного топлива

необходимо использовать другие КЖРТ (соответственно, другие типы ЖРД), например:

- керосин – кислород (РГ-1 (С-85,9; Н-14,1) + кислород жидкий  $O_2$  ж);
- метан – кислород ( $CH_4 + O_2$  ж);
- пару водород – кислород ( $H_2$  ж +  $O_2$  ж),  
основным продуктом сгорания которой является вода ( $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ ), наилучшую в экологическом плане и эффективную с точки зрения энергетики (для достижения высокого удельного импульса тяги двигателя)

# Транспорт

Для автомобильного транспорта **применение водорода ( $H_2$ ) в качестве моторного топлива** является стратегическим перспективным направлением.

- применение **топливных элементов**, работающих, в свою очередь, на тех же кислороде и водороде.
- Водородные топливные элементы осуществляют превращение химической энергии топлива (водорода) в электричество, минуя процессы горения.

Обычно в низкотемпературных топливных элементах используются: водород со стороны анода и кислород на стороне катода (водородный элемент) или метанол и кислород воздуха.

На катализаторе анода молекулярный водород диссоциирует и теряет электроны. Катионы водорода проводятся через мембрану к катоду, а электроны отдаются во внешнюю цепь, так как мембрана не пропускает электроны.



# Водородная энергетика и СМТ

Для ее широкого практического применения водородной энергетике науке совместно с бизнесом и промышленностью нужно решить множество задач:

- создание экологически чистых и экономически оправданных технологий производства водорода в крупных промышленных масштабах;
- создание развитой водородной инфраструктуры (средства и системы хранения, транспортировки, заправки и пр.) с необходимой степенью безопасности.

Для общественного автотранспорта, дорожно-строительных машин, маневрового железнодорожного транспорта, использующих дизельное топливо, перспективным представляется перевод с «солярки» на **диметиловый эфир – синтетическое моторное топливо**, получаемое из природного газа и являющееся идеальным для дизельных двигателей.

# Топливо-энергетический комплекс

Для замены менее экологичных видов топлива более экологически чистыми применяют топливо с более низким баллом загрязнения атмосферы.

При сжигании различных топлив такие показатели, как зольность, количество диоксида серы и оксидов азота в выбросах, могут сильно различаться между собой, поэтому введен суммарный показатель загрязнения атмосферы в баллах, который отражает степень вредного воздействия на человека:

- • горючие сланцы – 3,16;
- • уголь – 1,5...2,5 (для углей различных месторождений);
- • **природный газ** – 0,04.

# Сжигание топлива

Традиционные энерготехнологические установки основаны на высокотемпературном (обычно около 1200°С) факельном сжигании топлив которому свойственны следующие недостатки:

- • большие выбросы вредных продуктов ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , бенз(а)пиренов);
- • большие габариты систем и, как следствие, высокие кап.затраты;
- • дорогие конструкционные материалы (требования жаростойкости и долговечности);
- • взрывопожароопасность и др.

Сжигание топлива можно осуществить также с предварительной газификацией. **Предварительной газификации** подвергаются уголь и нефтяные топлива, однако на практике чаще всего применяют газификацию угля. Поскольку в энергетических установках получаемый и отходящий газы могут быть эффективно очищены, то концентрации диоксида серы и твердых частиц в их выбросах будут минимальными.

# Сжигание топлива по технологии «кипящего слоя»

Повысить эффективность горения и снизить загрязнение атмосферы позволяют сравнительно **низкотемпературные (900...1000°C) топki** с применением технологии «кипящего слоя» (псевдоожигения).

- Кипящий слой формируется из твердых частиц золы, песка или других веществ). Твердые частицы вдуваются в проходящие газы, где они завихряются, интенсивно перемешиваются и образуют принудительно равновесный поток, который в целом обладает свойствами жидкости (эффект псевдоожигения).

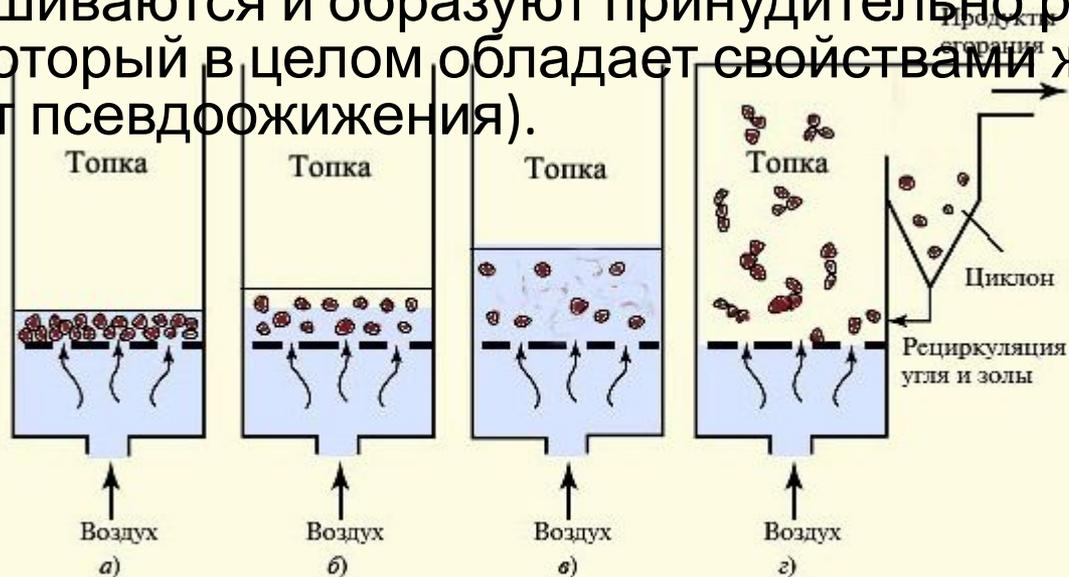
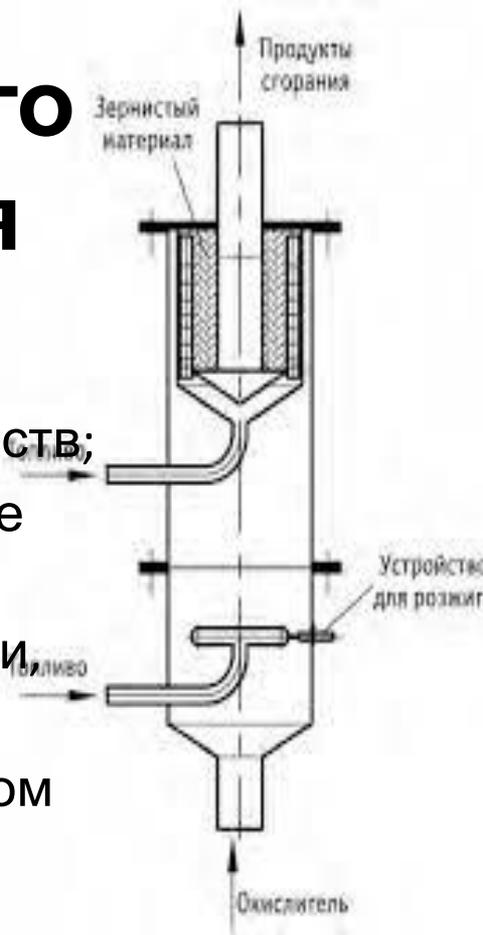


Рис. 11.9. Изменение кипящего слоя при различных количествах воздуха, подаваемого для горения

# Технология беспламенного каталитического горения

В ее основу заложено сочетание четырех принципов:

- 1) применение катализаторов полного окисления веществ;
- 2) сжигание топлив в псевдоожигенном (кипящем) слое частиц катализатора;
- 3) сжигание смесей топлива и воздуха при соотношении, близком к стехиометрическому;
- 4) совмещение тепловыделения и теплоотвода в едином псевдоожигенном слое.



Каталитическое сжигание принципиально отличается от горения в традиционном понимании, так как **топливо окисляется на поверхности твердых катализаторов без образования пламени.**

Действие катализаторов схематически можно представить как **химическое взаимодействие компонентов топлива с поверхностным кислородом катализатора** с последующей регенерацией восстановленной поверхности катализатора кислородом газовой фазы.

# Оксидные катализаторы

- В генераторах тепла каталитическое окисление топлива происходит на поверхности гранул **оксидных катализаторов**, поддерживаемых в псевдооживленном состоянии в потоке топлива, воздуха и продуктов горения. Отвод тепла из слоя производится путем прямого контакта катализатора с рабочим телом.
- процесс полного окисления многих веществ может протекать при температурах 300-700 °С. Таким образом, присутствие в реакционной системе **катализатора снижает температуру сжигания** органического топлива с 1000-1200 °С до 300-700 °С, сохраняя при этом высокие скорости горения **и обеспечивая полное сгорание** топливно-воздушных смесей даже без избытка воздуха.
- В псевдооживленном состоянии **гранулы катализатора являются одновременно и твердым теплоносителем**, обеспечивая высокие коэффициенты теплообмена. Очевидно, что для процессов сжигания в псевдооживленном слое наиболее важен **выбор катализатора и его носителя.**

- $\text{NiCr}_2\text{O}_4/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
- $\text{Cr}_2\text{O}_4/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
- ▲  $\text{Co}_3\text{O}_4/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
- △  $\text{Mn}_2\text{O}_3/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
- $\text{CuCr}_2\text{O}_4/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

СТИ

# Достоинства технологии ГТК

- **Использование катализаторов** позволяет исключить образование продуктов недожога: сажи (дисперсный углерод С) и канцерогенных углеводородов (СхНу) и значительно снизить выбросы СО и NOx.
- Сравнение концентраций NOx при факельном сжигании и сжигании в псевдоожиженном слое катализатора показало, что второе приводит к резкому снижению образования как термических, так и топливных NOx.
- ГТК минимизирует потери тепла с отходящими газами и позволяет эффективно проводить (при контролируемой температуре) различные технологические процессы, такие как нагрев, сушку и термообработку различных порошковых материалов. **Гранулы катализатора являются одновременно и твердым теплоносителем.**

# Методы очистки вредных выбросов

Все процессы извлечения из загрязненного газа взвешенных частиц состоят, как правило, из двух операций:

- осаждение частиц пыли или капель жидкости на сухих или смоченных поверхностях;
- удаление осадка с поверхностей осаждения.

Для очистки выбросов от жидких и твердых примесей применяют различные конструкции улавливающих аппаратов, работающих по различным принципам осаждения.

# Принципы осаждения

- **инерционного** – путем резкого изменения направления вектора скорости движения выброса, при этом твердые частицы под действием инерционных сил будут стремиться двигаться в прежнем направлении и попадать в приемный бункер;
- **гравитационного** – под действием гравитационных сил из-за различной кривизны траекторий движения составляющих выброса (газов и частиц), вектор скорости движения которого направлен горизонтально;
- **центробежного** – под действием центробежных сил путем придания выбросу вращательного движения внутри циклона, при этом твердые частицы отбрасываются центробежной силой к стенке, что позволяет удалить из выброса даже весьма мелкие частицы;
- **«жидкостного»**, т.е. осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения;
- **электростатического** – под действием электростатических сил в зазоре между коронирующим и осадительным электродами, через которое проходит загрязненный газ, отрицательно заряженные частицы движутся к осадительному электроду, положительно заряженные оседают на коронирующем;
- **путем механической фильтрации** – фильтрации выброса через пористую перегородку (с волокнистым, гранулированным или пористым фильтрующим материалом) в процессе которой оседают на частицы, содержащиеся в

# Эффективность процесса очистки

- **Процесс очистки** от вредных примесей характеризуется **тремя основными параметрами**:
- 1) общей эффективностью очистки ( $E$ );
- 2) гидравлическим сопротивлением ( $\Delta p$ );
- 3) производительностью ( $Q$ ).

**Общая эффективность системы очистки** показывает степень снижения вредных примесей выброса в применяемой системе очистки. Для конкретной системы или аппарата очистки значение эффективности может существенно отличаться при очистке газа от взвешенных частиц различного размера.

**Гидравлическое сопротивление системы очистки** определяется как разность между давлением на входе в систему и давлением на выходе из нее;

$$E = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}},$$

где  $C_{\text{ВХ}}$  и  $C_{\text{ВЫХ}}$  – концентрации вредных примесей до и после системы очистки.

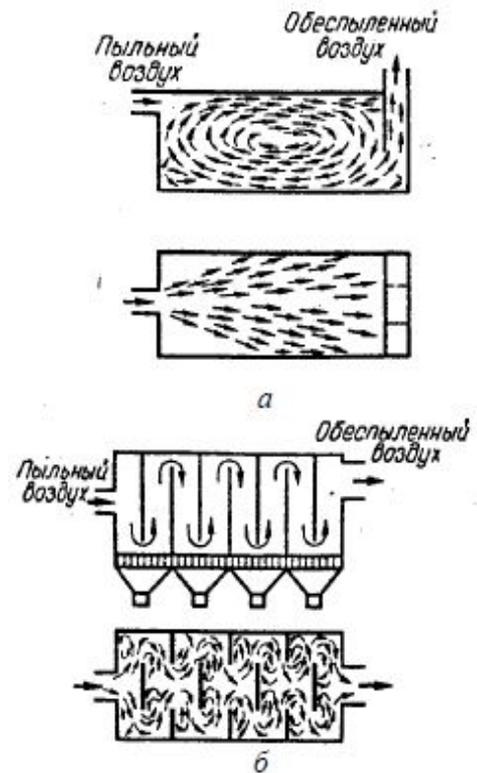
**Производительность системы очистки** показывает, какое количество газа проходит через нее в единицу времени ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ).

# Влияние размера частиц

- Для конкретной системы или аппарата очистки значение эффективности может существенно отличаться при очистке газа от взвешенных частиц различного размера.
- Для оценки размера частицы применяется величина, определяющая скорость осаждения частицы и называемая седиментационным диаметром ( $d_c$ ).
- Поскольку частицы имеют разнообразную форму (шарики, палочки, пластинки, иглы, волокна и т.д.) и для них понятие размера условно, **седиментационным диаметром частицы** принято считать диаметр шара, скорость осаждения и плотность которого равны скорости осаждения и плотности частицы.

# Аппараты для очистки выбросов от пыли

- В **сухих пылеуловителях** очистка движущегося воздуха от пыли происходит механически под действием сил гравитации и инерции. Эти системы называются **инерционными** – в них при резком изменении направления движения газового потока частицы пыли, по инерции сохраняя направление своего движения, ударяются о поверхность, теряют свою энергию и под действием сил гравитации осаждаются в специальном бункере.
- К простейшим пылеуловителям относятся **пылеосадочные камеры** различной конструкции (рис. 2.2). Эффективность их невысока, применяются они, как правило, для осаждения крупных взвешенных частиц.



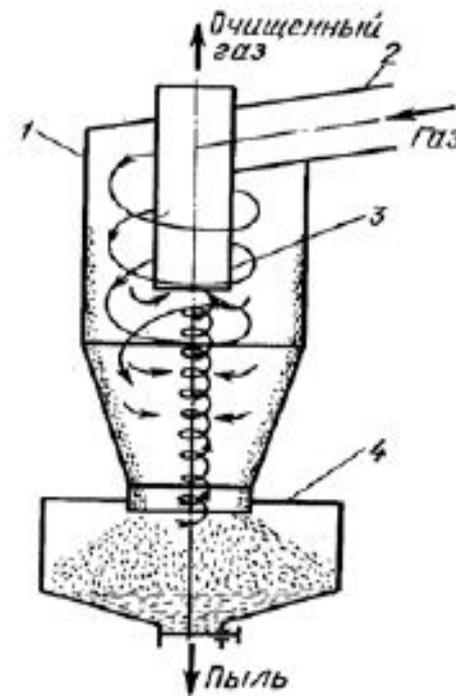
# Центробежные обеспыливающие системы

Газовый поток, попадая во внутренний корпус циклона через патрубок, совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса по направлению к бункеру. Под действием сил инерции частицы пыли осаждаются на стенках корпуса, а затем попадают в бункер. Очищенный газовый поток выходит из бункера через патрубок.

Производительность циклонов составляет от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров в час. Средняя эффективность обеспыливания газов для них следующая:

- $E = 0,98$  при размере частиц пыли 30...40 мкм,
- $E = 0,8$  для 10 мкм частиц,
- $E = 0,6$  для 4...5 мкм частиц.

Преимущество циклонов – простота конструкции, небольшие размеры, отсутствие движущихся частей; недостатки – затраты энергии на вращение и большой абразивный износ частей



# Мокрые пылеуловители

- Особенностью **мокрых пылеуловителей** является высокая эффективность очистки от мелкодисперсной пыли (менее 1,0 мкм). Эти системы обеспечивают возможность очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов.
- Они работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения.
- **Аппараты для промывки жидкостью газов для извлечения из них отдельных компонентов называются скрубберами.**
- Конструктивно мокрые пылеуловители разделяют на
  - скрубберы Вентури,
  - форсуночные скрубберы,
  - аппараты ударно-инерционного, барботажного
  - и других типов.
  -

# Скрубберы Вентури

Большое практическое применение находят скрубберы Вентури, которые работают следующим образом. Через патрубок 4 газ подается в устройство 2, которое называется соплом Вентури.

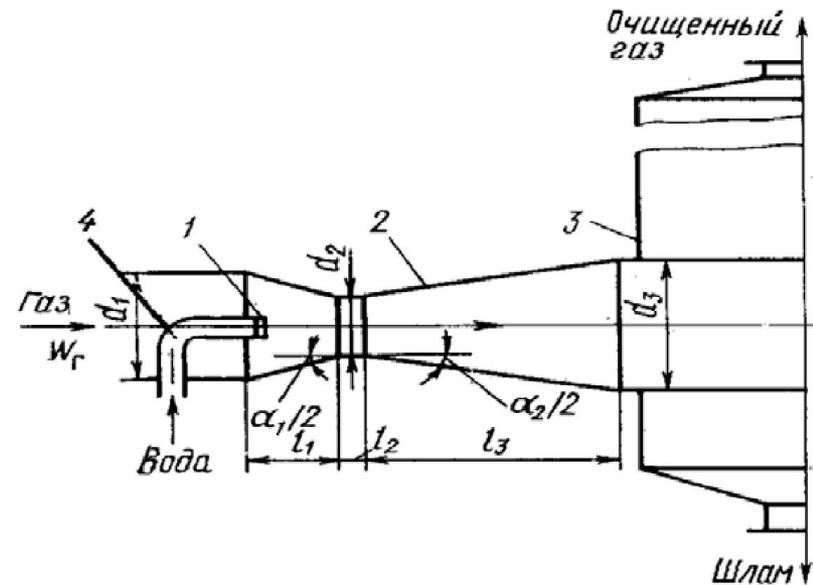
Сопло Вентури имеет конфузур (сужение), в который через форсунки 1 подается вода на орошение. В этой части сопла скорость газа увеличивается, достигая максимума в самом узком сечении (с 10...20 до 100...150 м/с).

Увеличение скорости способствует осаждению частиц пыли на каплях воды.

В диффузорной части сопла Вентури скорость потока мокрых газов уменьшается до 10...20 м/с. Этот поток подается в корпус 3, где под действием сил гравитации происходит осаждение загрязненных пылью капель.

В верхнюю часть корпуса выходит очищенный газ, в нижнюю попадает шлам.

Эффективность скрубберов Вентури 0,97...0,98. Расход воды 0,4...0,6 л/м<sup>3</sup>.



# Полый и насадочный скрубберы

- **Полый скруббер** (рис. 2.5,а) представляет собой колонну круглого сечения. В нее подается жидкость через **систему форсунок**, число которых может достигать 14...16 по сечению колонны.
- **В насадочном скруббере** (рис. 2.5,б) используется система поперечного орошения с наклонно установленной насадкой. Эффективность таких систем 0,9.

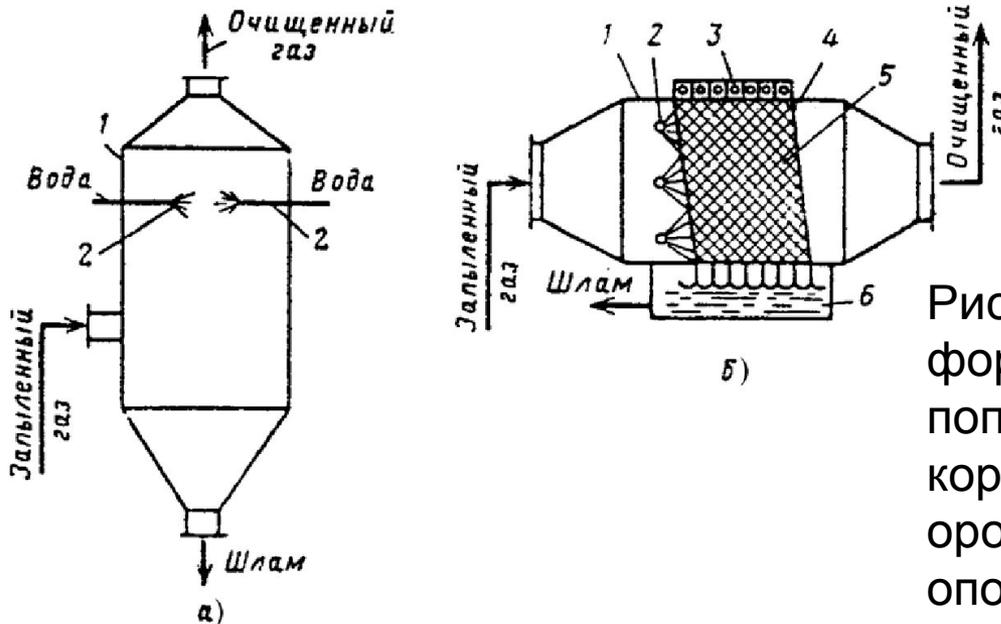
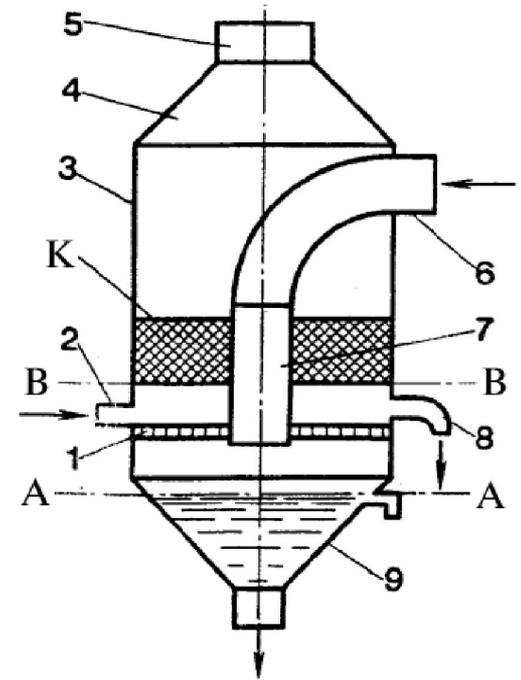


Рис. 2.5. Скрубберы: а – полый форсуночный; б – насадочный с поперечным орошением: 1 – корпус; 2 – форсунка; 3 – оросительное устройство; 4 – опорная решетка; 5 – насадка; 6 – шламособорник

# Скруббер ударно-инерционного действия

- В этих аппаратах контакт газов с жидкостью осуществляется при ударе газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации или непосредственным отводом газо-жидкостной взвеси в сепаратор жидкой фазы.
- Один из вариантов такого скруббера состоит из цилиндрического кожуха 3, сливного конического бункера 9, корпуса 4 и выхлопной трубы 5 для вывода очищенного воздуха (газа).



Запыленный воздух поступает через воздуховод 6 в вертикальный стояк 7. Перед поворотом на 180° воздух ударяется о поверхность воды А – А, вследствие чего сепарируются крупные частицы пыли.

Далее воздух проходит через решетку 1 с отверстиями. На нее же через трубу 2 подается вода, излишки которой сливаются через трубу 8 и частично через отверстия решетки.

Между решеткой и уровнем В – В образуется водяная пена, которая затем распространяется в объеме К, заполненном короткими фарфоровыми цилиндрами.

# Электрофилтры

- Работа **электрофилтров** основана на одном из наиболее эффективных видов очистки газов (в том числе дымовых) от аэрозолей – электрическом. Электрофилтры также используются и для очистки тумана. Основной принцип работы – **ударная ионизация газа в неоднородном электрическом поле**, которое создается в зазоре между коронирующим и осадительным электродами.
- Загрязненные газы, попав между электродами, способны проводить электрический ток вследствие имеющейся частичной ионизации. Так как большинство частиц пыли получают отрицательный заряд, основная масса пыли осажается на положительном осадительном электроде, с которого пыль легко удаляется.
- Эффективность очистки газов электрофилтрами достигает 0,9...0,99, производительность – до 1 млн м<sup>3</sup>/ч. Для конструкций с увеличенным временем пребывания частиц в электростатическом поле эффективность может достигать 0,999 и выше.
- Сочетание высокой эффективности, умеренного расхода энергии, высокой производительности и способности работать при высоких температурах и в агрессивных условиях объясняют

# Фильтры

- Работа фильтров основана на фильтровании подлежащего очистке воздуха через проницаемую перегородку, на которой частицы примесей задерживаются (рис. 2.7).
- В общем случае в корпусе 1 фильтра расположена воздухопроницаемая перегородка 2, на которой осаждаются улавливаемые частицы 3.

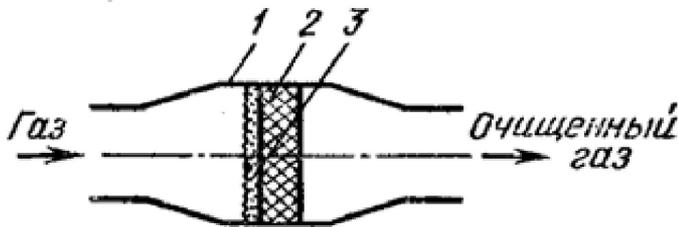


Рис. 2.7. Схема процесса фильтрации

Основные характеристики фильтров – это эффективность улавливания частиц определенного размера при заданной скорости и перепаде давления. Это достигается за счет максимально возможного **увеличения площади фильтрации (например, гофрирования фильтрующего материала)**. Фильтроэлемент, как правило, изготавливается в виде протяженного **цилиндра**, а не просто перегородки.

# Рукавный фильтр

- В промышленности наиболее широко применяют тканевые рукавные фильтры (рис. 2.8). В корпусе фильтра устанавливается необходимое число рукавов, в которые подается загрязненный воздух, при этом очищенный воздух выходит через патрубок 5.
- Насыщенные загрязненными частицами рукава продувают и встряхивают для удаления осажденных частиц пыли. Эффективность таких фильтров достигает 0,99 для частиц размером более 0,5 мкм.

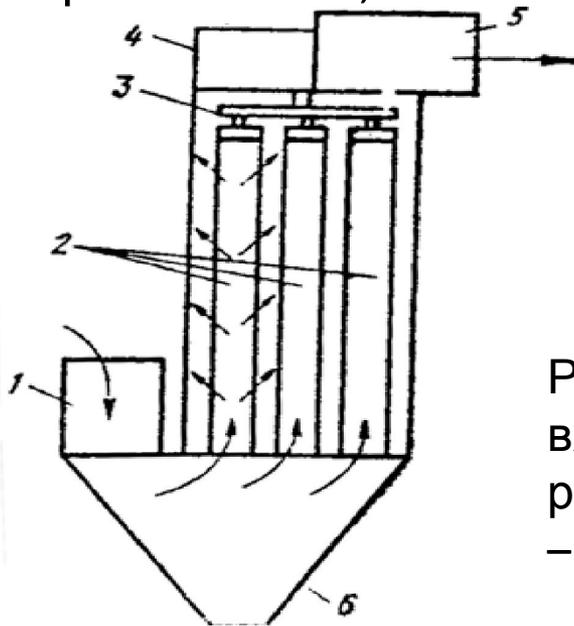


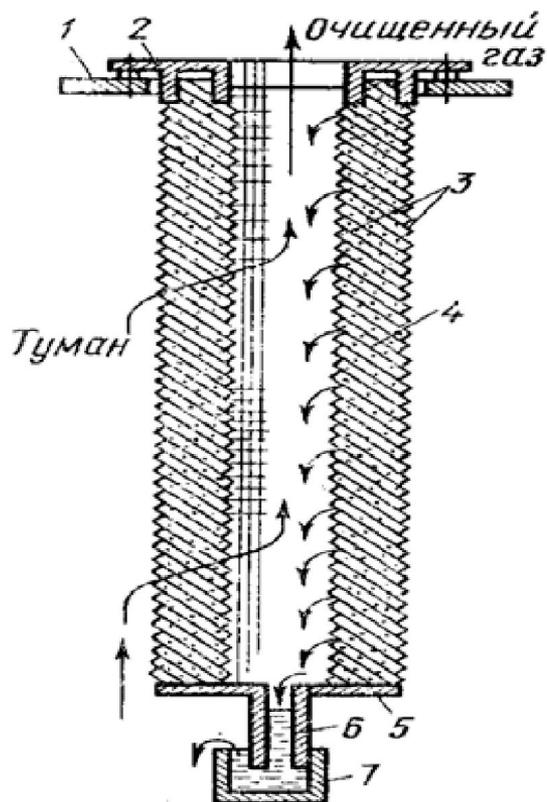
Рис. 2.8. Схема рукавного фильтра: 1 – входной патрубок; 2 – рукав; 3 – подвеска рукавов; 4 – встряхивающий механизм; 5 – выходной патрубок; 6 – бункер

# Фильтрующие элементы

- В фильтрах применяются фильтрующие элементы различных типов:
- **в виде зернистых слоев**, например гравия (неподвижные свободно насыпанные материалы) – используются для очистки от пылей механического происхождения (дробилок, мельниц); они дешевы, просты в эксплуатации;
- **гибкие пористые** (ткани, войлоки, губчатая резина, пенополиуретан) – широко используются для тонкой очистки газов от примесей; их основные недостатки – малая термостойкость, низкая прочность;
- **полужесткие пористые** (вязаные сетки, прессованные спирали и стружка) – изготавливаются из различных сталей, меди, бронзы, никеля, других металлов, могут работать в широком диапазоне температур и в агрессивных средах;
- **жесткие пористые** (пористая керамика, пористые металлы) – изготавливаются из пористой керамики и пористых металлов, обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью.

# Аппараты для очистки выбросов от жидких взвешенных частиц (туманоуловители)

Для очистки воздуха от туманов, кислот, щелочей, масел и других жидкостей используются волокнистые фильтры, принцип действия которых основан **на осаждении капель на поверхности пор** с последующим их стеканием под действием гравитационных сил.



В пространстве между двумя цилиндрами 3, изготовленными из сеток, размещается волокнистый фильтрующий материал 4. Жидкость, оседающая на фильтрующем материале, стекает через гидрозатвор 6 в приемное устройство 7. Крепление фильтрующего материала к корпусу туманоуловителя 1 осуществляется фланцами 2 и 5. В качестве материала фильтрующего элемента используются войлок, лавсан, полипропилен и другие материалы толщиной 5...15 см.

# Контрольная работа №2

1 вариант	2 вариант
<b>Отрасли промышленности и их газовые выбросы</b>	Главные источники загрязнения атмосферы
<b>Что такое аэрозоли? Виды аэрозолей в зависимости от размера частиц. Виды ПДК.</b>	Промышленные пыли в зависимости от механизма их образования. ПДК
<b>Последствия загрязнения атмосферы. Парниковый эффект.</b>	Последствия загрязнения атмосферы. Механизм (реакции) образования кислотных дождей
<b>Снижению вредных выбросов в ракетно-</b>	Мероприятия по снижению мощности вредных выбросов