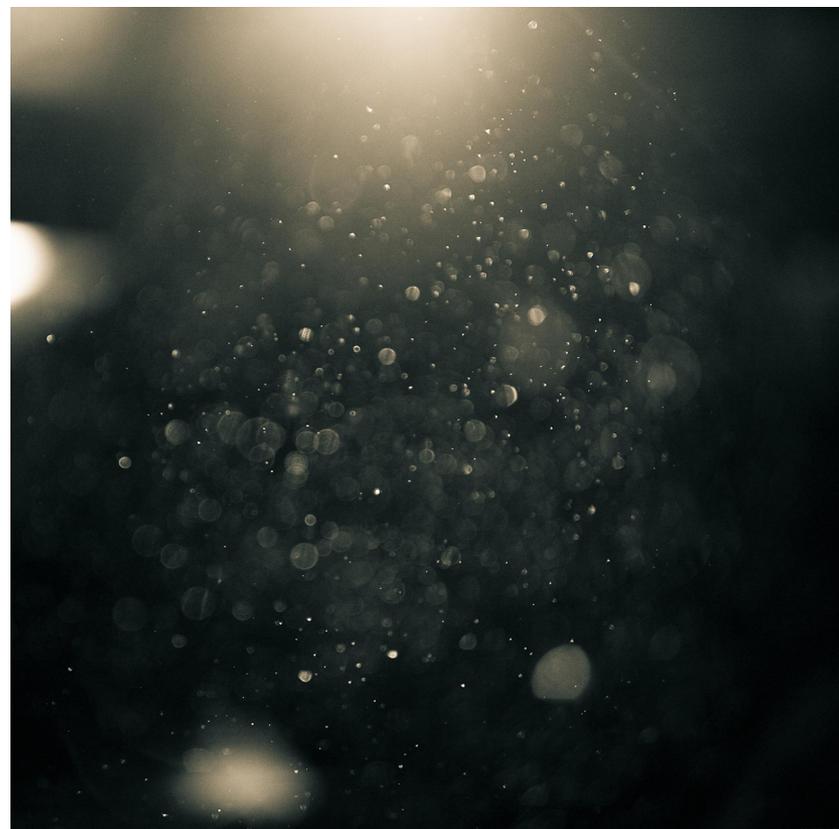
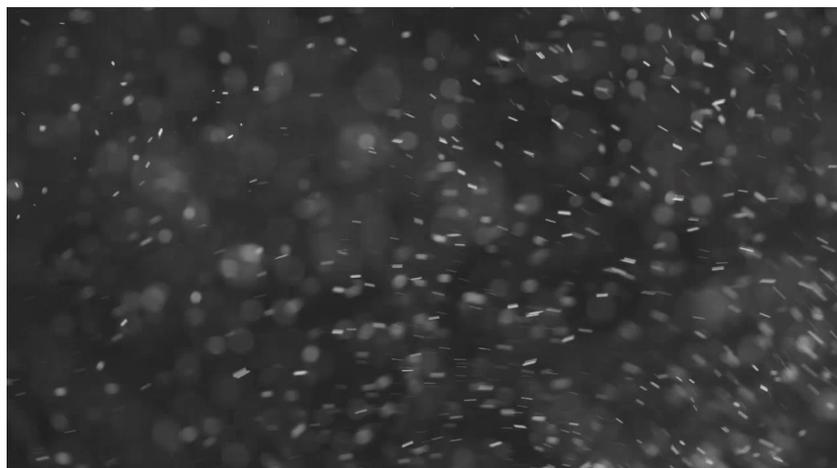


***МОКРЫЕ  
ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ***

## **МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ И ПЛЕНОК С ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ**



**Процесс улавливания пыли в мокрых пылеуловителях заключается в переносе твердой фазы из газовой среды в жидкую и удаление последней из аппарата вместе с твердой фазой.**

**Принцип действия мокрых пылеуловителей заключается в осаждении частиц пыли (или молекул газа) на поверхность капель или пленки жидкости за счет сил гравитации, инерции и броуновского движения.**

## **МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ* С ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ**

Для осуществления захвата частиц пыли каплями жидкости запыленный поток промывают диспергированной жидкостью. Во время промывки частицы пыли захватываются каплями жидкости и выводятся из газового потока.

При движении капли в пространстве, заполненном запыленным газом, осаждение пыли на ней происходит в основном вследствие кинематической коагуляции\*.

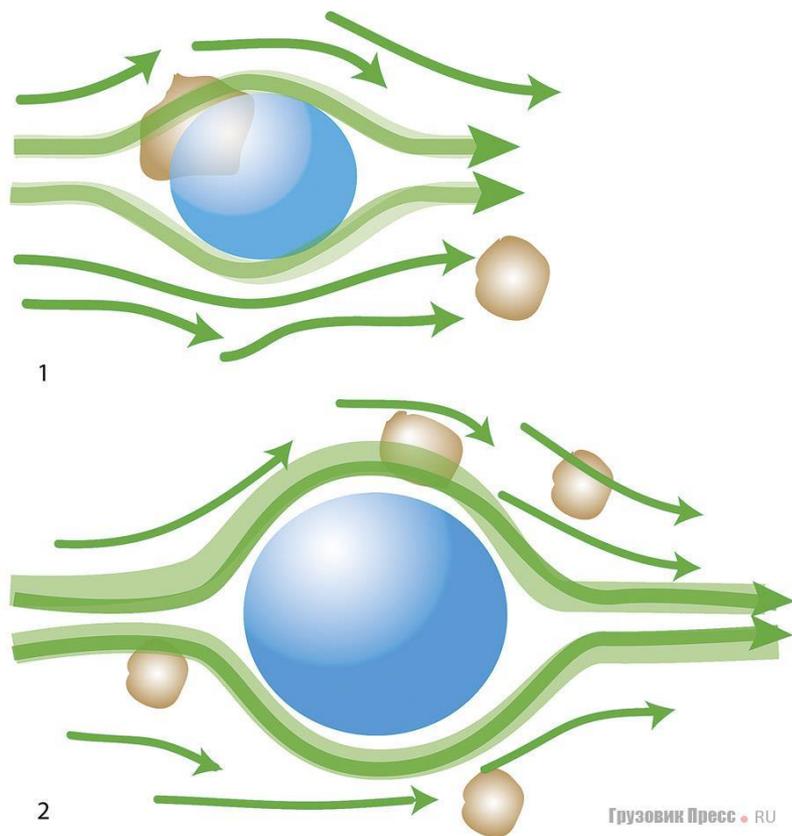
При чисто гравитационной коагуляции захват частиц пыли плотностью  $\rho_{\text{ч}} = 2000 \text{ кг/м}^3$  распыленной водой возможен только при размере частиц  $d_{\text{ч}} > 1 \text{ мкм}$ .

**Частицы меньше 1 мкм на каплях практически не осаждаются.**

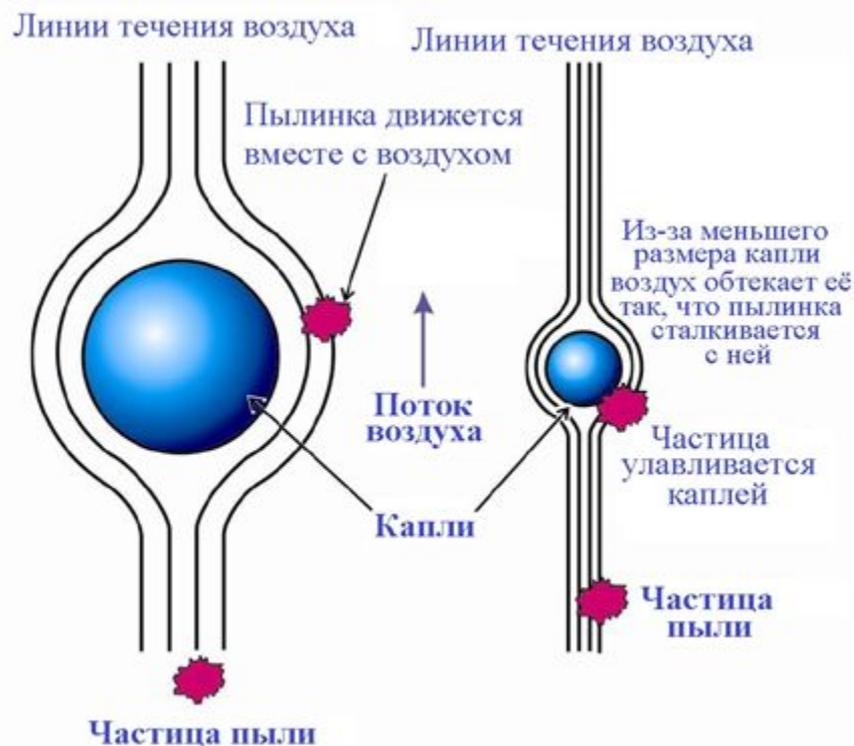
**\*Кинематическая коагуляция** – процесс слипания частиц различного размера в результате их столкновения при относительном движении, возникающем под воздействием внешних сил и при разных скоростях.

В результате коагуляции образуются агрегаты – более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления мелких (первичных) частиц.

# МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАПЕЛЬ ВОДЯНОГО ТУМАНА И ЧАСТИЦ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ



**1** – если размер частиц пыли и капель близок, то вероятность их соединения очень высока;  
**2** – если капли намного больше частиц пыли, пыль будет обтекать капли вместе с потоками воздуха и не соединится с водой



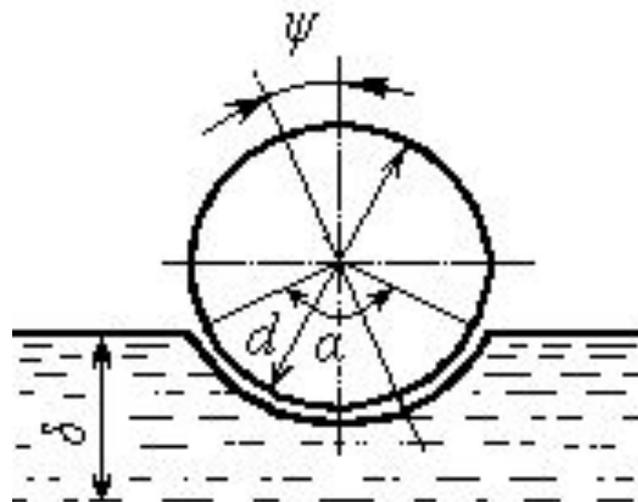
**Силы инерции** зависят от массы капель и частиц пыли, а также от скорости их движения. Частицы пыли малого размера (менее 1 мкм) не обладают достаточной кинетической энергией и при сближении с каплями обычно обтекают их и не улавливаются жидкостью.  
**Броуновское движение** обычно характерно для частиц малого размера.

## МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ **ВОДЯНЫХ ПЛЕНОК** С ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ

Захват и осаждение частиц пыли пленкой жидкости осуществляется при направлении потока частиц пыли на поверхность жидкости, смоченную жидкостью стенку или пленку специально полученных газовых пузырей.

При ударе частицы о поверхность водяной пленки возможны **либо отскок частицы, либо улавливание (захват)**.

Для улавливания частиц необходимо, чтобы их кинетическая энергия превышала работу погружения частицы в жидкость, т. е. работу преодоления сил поверхностного натяжения.



# **МОКРЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ**

**В мокрых пылеуловителях (ПУ) очистка газа осуществляется при контакте газа с жидкостью.**

**Взвешенные в газе частицы пыли смачиваются, утяжеляются и выводятся из газового потока под действием гравитационных сил или сил инерции, либо захватываются жидкостью и удаляются в виде шлама.**

**Чем лучше смачиваемость, тем эффективнее процесс очистки.**

**Одновременно происходит и охлаждение газа!**

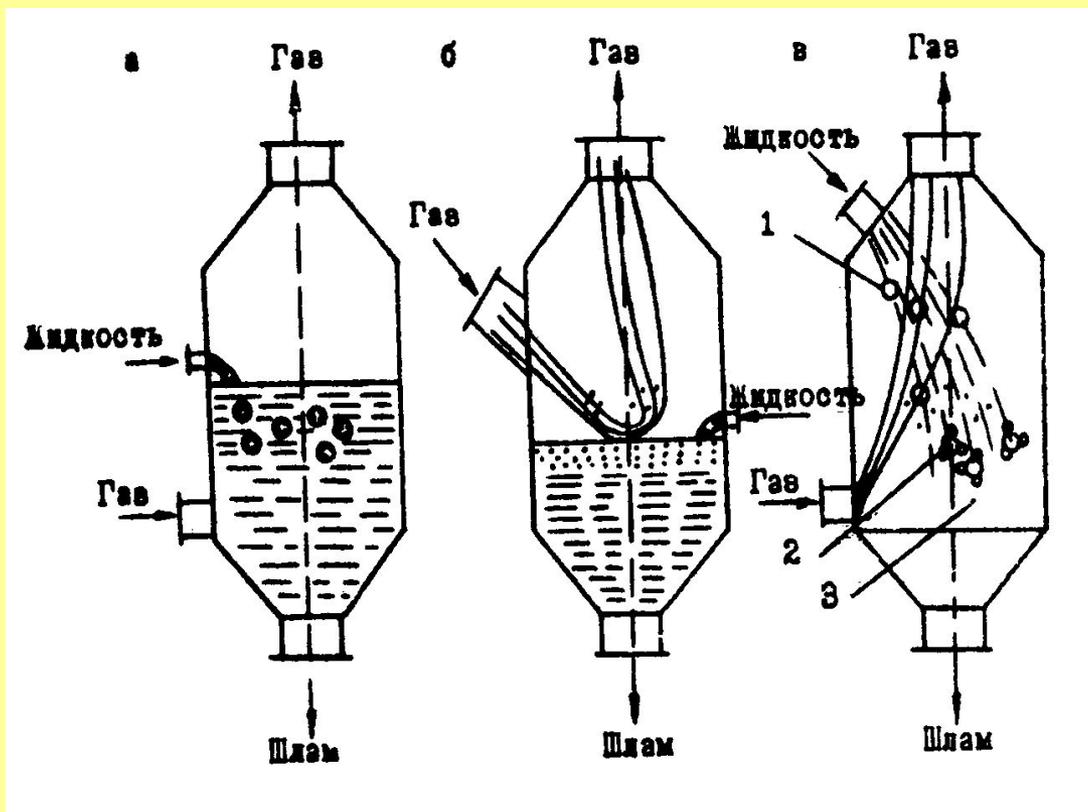
**Так как при смачивании масса (и размеры) частиц становится больше, в мокрых ПУ эффективность очистки лучше, чем в одностипных сухих.**

**Мокрые пылеуловители нашли достаточно широкое применение для очистки газов и воздуха от мелкодисперсной пыли с размерами частиц более 0,3 - 1,0 мкм, а также для очистки от взрывоопасных пылей и имеющих высокую температуру газов.**

# МОКРЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

В зависимости от формы контактирования твердой и жидкой фаз способы мокрой пылеочистки разделяются на:

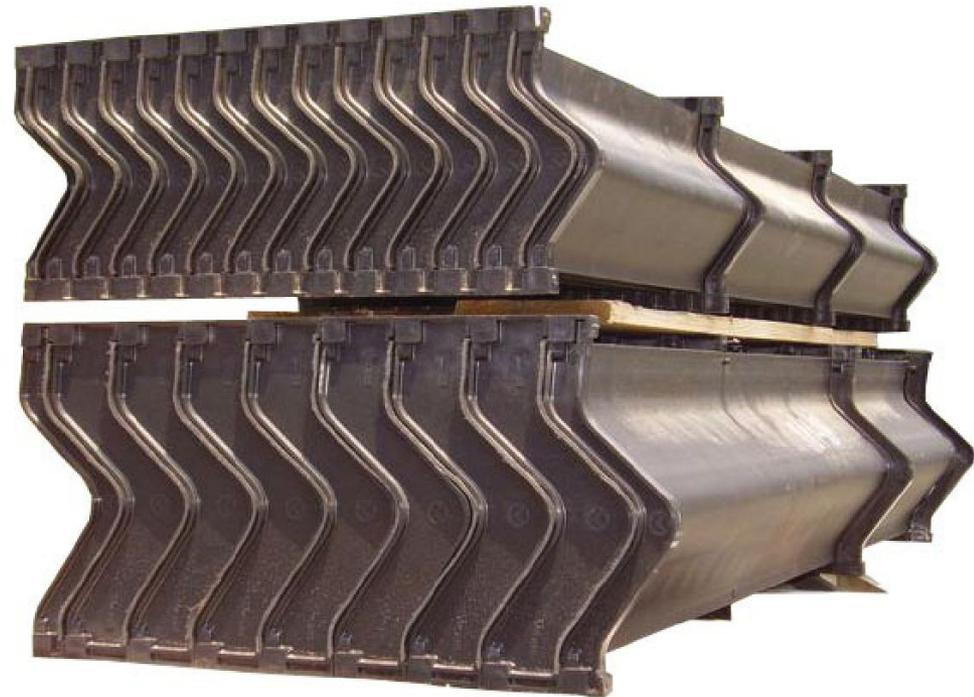
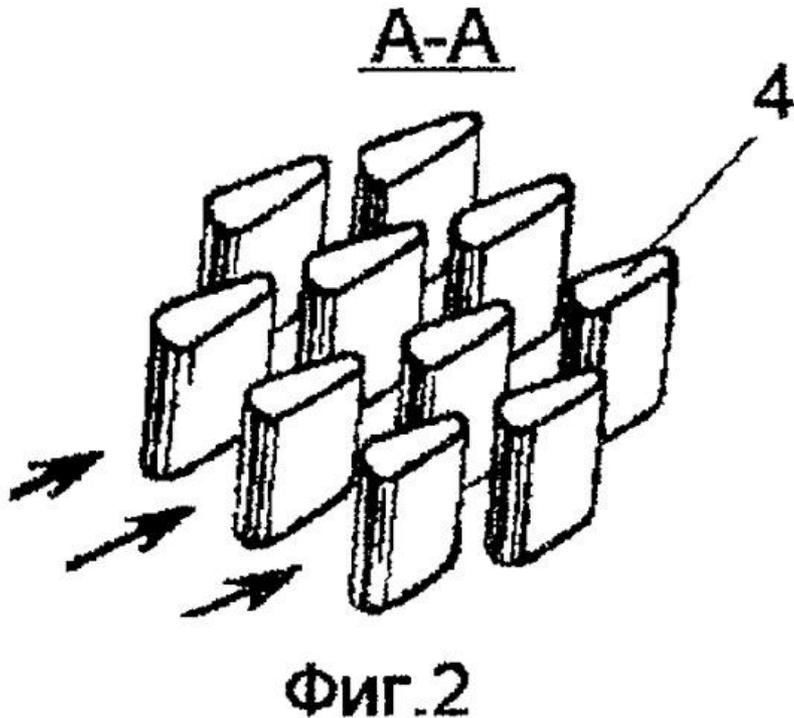
- а) улавливание **в объеме (слое) жидкости (барботажные)**;
- б) улавливание **пленками жидкости (пленочные)**;
- в) улавливание **распыленной жидкостью в объеме газа (капельные)**.



# ОСОБЕННОСТИ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

В качестве орошающей жидкости чаще всего применяют воду. Для уменьшения количества отработанной жидкости используют замкнутую систему орошения.

Чтобы предотвратить вынос брызг орошающей жидкости из аппаратов необходимо соблюдать оптимальный скоростной режим работы и предусматривать специальные брызго- и каплеуловители.



# **ОСОБЕННОСТИ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ**

**Мелкие частицы пыли в мокрых ПУ улавливаются плохо, так как на их поверхности образуется пленка газа, которая препятствует их смачиванию.**

**Для улучшения смачиваемости частиц необходимо создать условия для разрушения газовой пленки:**

- организацией турбулентности газового потока,**
- вводом в орошающую жидкость специальных поверхностно-активных веществ (ПАВ).**

# КЛАССИФИКАЦИЯ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

**По способу действия их делят на:**

- полые газопромыватели (оросительные устройства, полые и форсуночные скрубберы);
- насадочные скрубберы;
- тарельчатые скрубберы (барботажные и пенные аппараты);
- скрубберы с подвижной насадкой;
- скрубберы ударно-инерционного действия (ротоклоны);
- центробежные скрубберы;
- механические и динамические скрубберы;
- скоростные скрубберы (скрубберы Вентури);
- эжекторные скрубберы.

# **КЛАССИФИКАЦИЯ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ**

**По затратам энергии делят на три группы:**

- Низконапорные** – гидравлическое сопротивление **не более 1500 Па** (форсуночные, насадочные и центробежные скрубберы);
- Средненапорные** – гидравлическое сопротивление **от 1500 до 3000 Па** (динамические, эжекторные скрубберы, скрубберы ударно-инерционного действия);
- Высоконапорные** – гидравлическое сопротивление **более 3000 Па** (скрубберы Вентури).

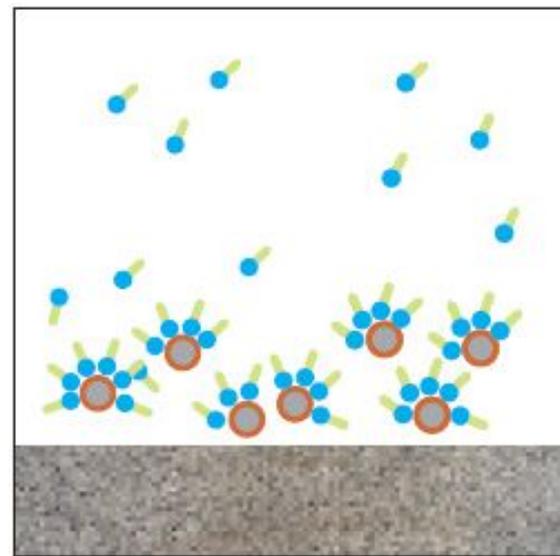
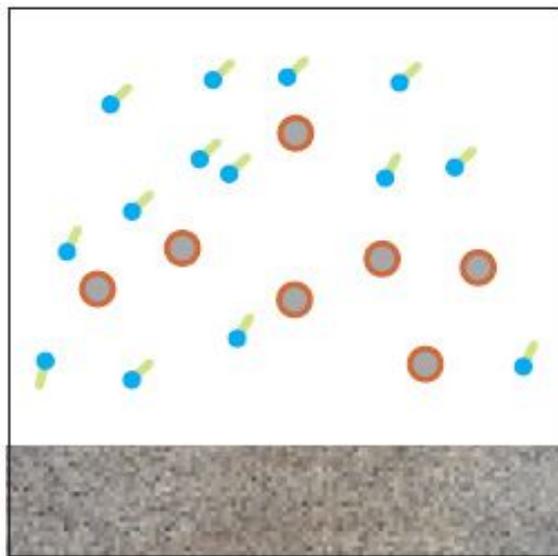
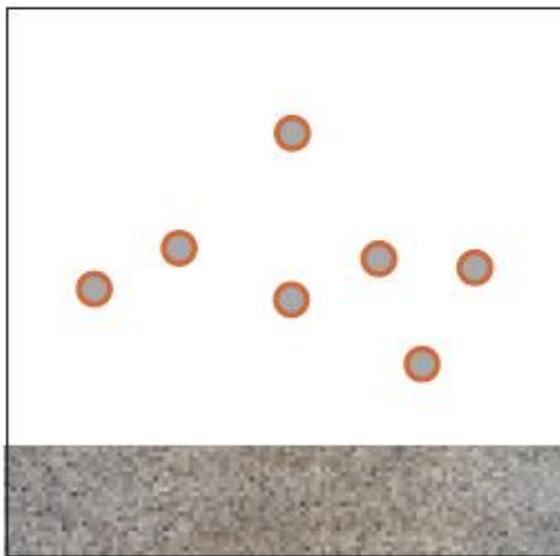
***ПОЛЫЕ  
ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ***

# ПОЛЫЕ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ

В полых газопромывателях газопылевой поток пропускают через завесу распыляемой или разбрызгиваемой жидкости.

При этом частицы пыли, **сталкиваясь** с каплями жидкости, **смачиваются** и **под действием сил тяжести выпадают** из газового потока, **осаждаясь в промывателе**, а очищенные газы удаляются из аппарата.

После полых газопромывателей в большинстве случаев **необходимо устанавливать каплеуловители**.



# ***ПОЛЫЕ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ***

## **К ним относятся:**

- оросительные устройства-брызгала;
- промывные камеры;
- полые скрубберы.

# ОРОСИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



Простейшее оросительное устройство представляет собой **ряд форсунок или брызгал**, установленных **в помещении, газоходе или дымовой трубе** и создающих в их поперечном сечении водяную завесу.

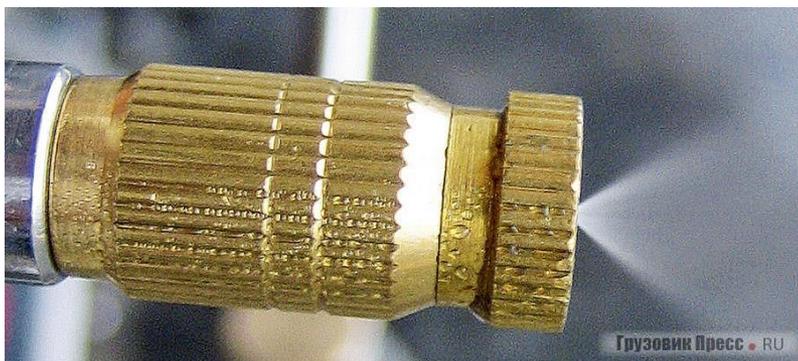
**Во избежание уноса брызг воды скорость газа – не более 3 м/с.**

**Расход воды - 0,1-0,3 л/м<sup>3</sup>.**

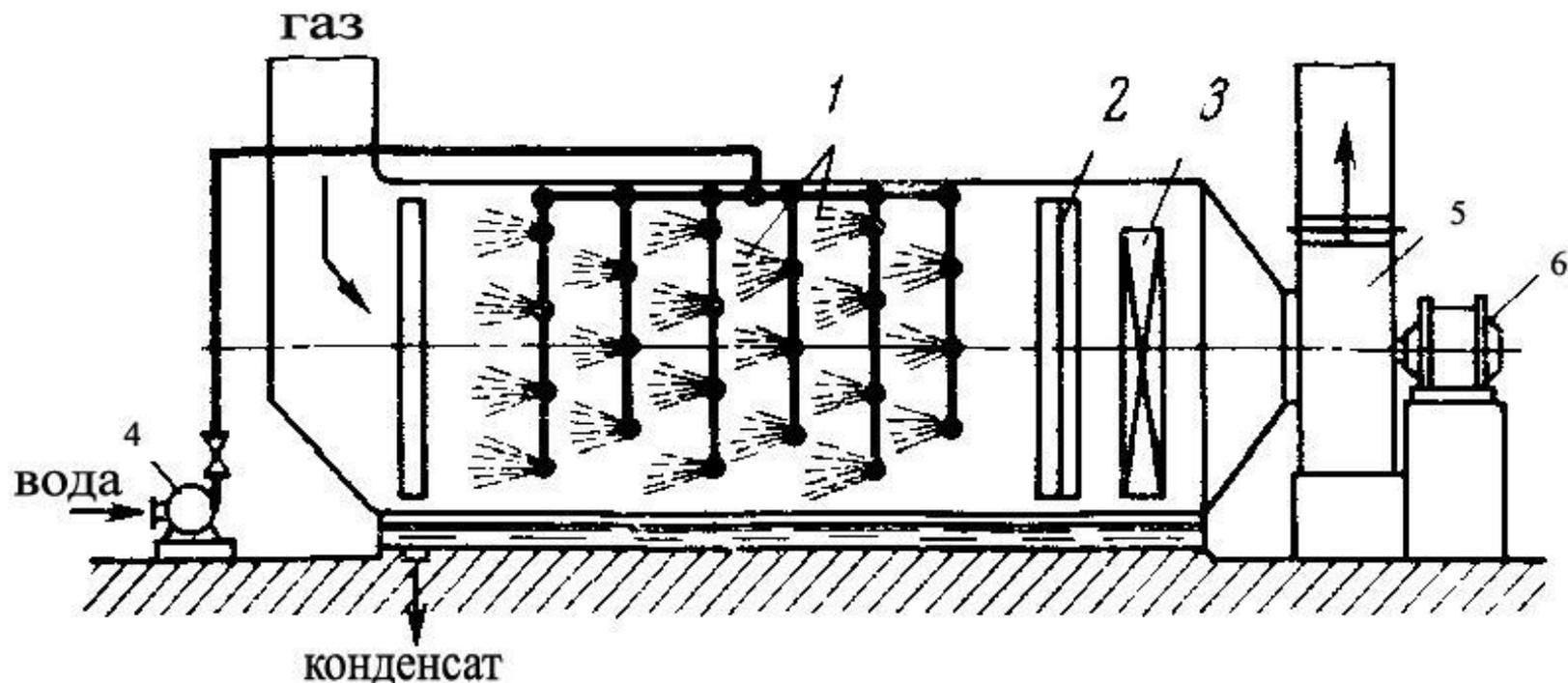
Используют **для очистки газа от пыли, размер частиц которой больше 15-20 мкм**, а также в том случае, если к очистке не предъявляют высоких требований.

**Эффективность** очистки составляет **всего 50-60%** даже при улавливании частиц пыли крупнее 20 мкм.

# ОРОСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА



# ПРОМЫВНАЯ КАМЕРА



**Промывная камера – это усовершенствованное оросительное устройство**

1 – форсунки; 2 - брызгоуловитель; 3 – сепаратор; 4 – насос; 5 – вентилятор; 6 – электродвигатель

**Скорость газа - 1,5-2,5 м/с. Расход воды – 0,2 - 1 л/м<sup>3</sup> газа.**

**Давление воды перед форсунками – 0,35 - 0,5 МПа,**

**Гидравлическое сопротивление камер – 300 - 500 Па.**

**Воду из поддона камеры отводят, очищают в фильтре и снова подают в форсунки.**

# ПОЛЫЕ ФОРСУНОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ

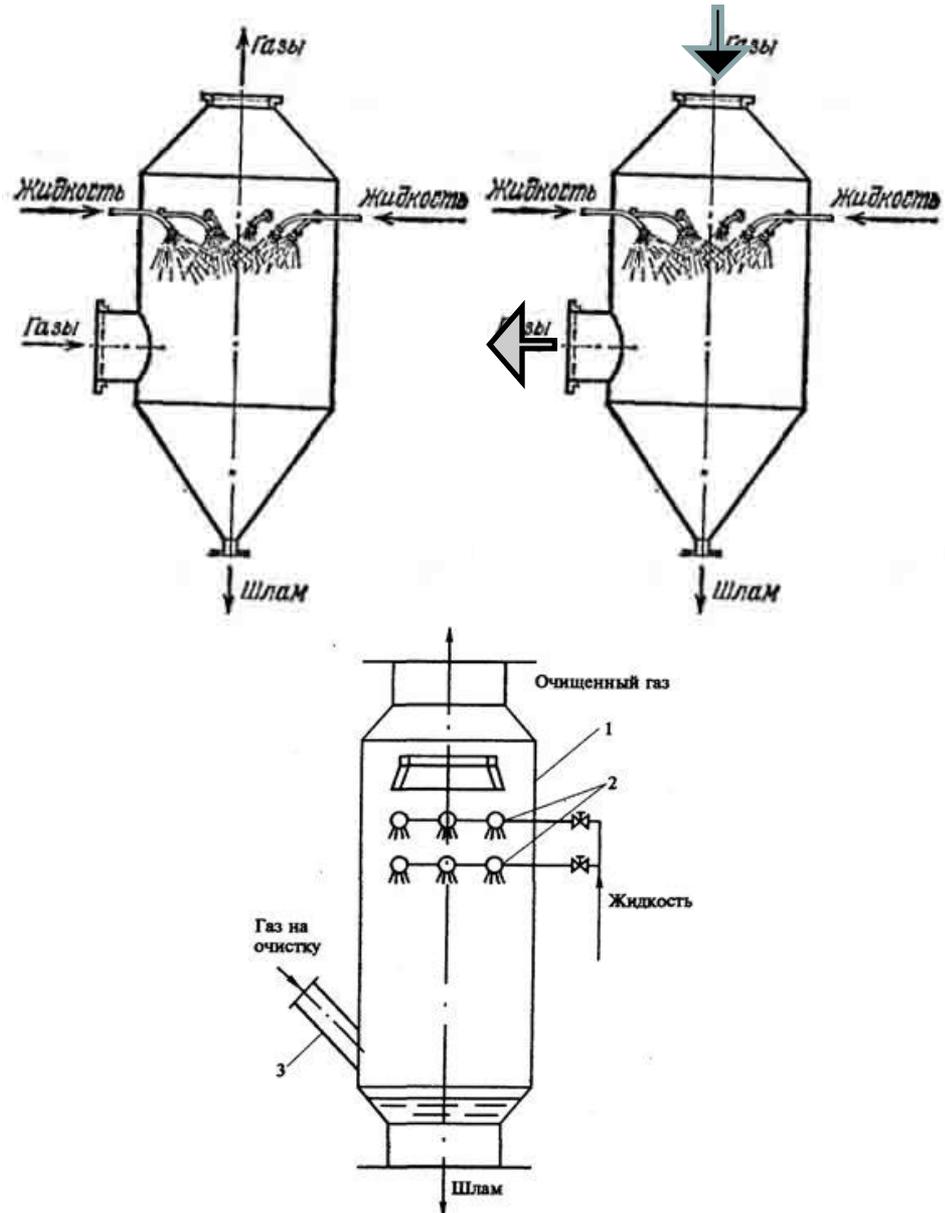
Среди полых газопромывателей наиболее распространены **полые форсуночные скрубберы**.

Они представляют собой башню (колонну) **круглого или прямоугольного сечения**, выполненную из **металла или кирпича, железобетона** и других материалов.

В случае необходимости **внутреннюю поверхность футеруют** или покрывают **антикоррозионными составами**.

Форсунки устанавливают **в одном или нескольких сечениях** (иногда рядами до 16 в каждом сечении, иногда только по оси аппарата в зависимости от расхода орошающей жидкости) таким образом, чтобы **все поперечное сечение было перекрыто факелами орошающей жидкости**.

По направлению движения газа и жидкости полые скрубберы делят на **противоточные и прямоточные**.



# **ПОЛЫЕ ФОРСУНОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ**

В зависимости от количества воды, подаваемой на орошение, полые скрубберы делят на **охладительные и испарительные**.

В **охладительные скрубберы** подают **большое количество воды**, которая в процессе охлаждения газа не успевает испариться, а только нагревается.

В **испарительные скрубберы** воду подают в **небольшом количестве**, которая **частично или полностью испаряется**.

Температура конечного газа в **испарительных устройствах** значительно **выше, чем в охлаждающих скрубберах**.

# **ПОЛЫЕ ФОРСУНОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ**

**Для уменьшения уноса** применяют форсунки грубого распыла воды (давление воды - 0,3 - 0,4 Мпа, размер капель - около 0,8 мм).

**Форсунки грубого распыла** позволяют работать на оборотной воде, содержащей взвеси.

**Чем крупнее капли**, тем меньшее их количество образуется и тем хуже контакт газа с водой.

При работе **без каплеуловителей** чаще используют противоточные скрубберы.

**Для предотвращения уноса** капель жидкости оптимальная скорость газового потока (без каплеуловителей) - 0,6-1,5 м/с.

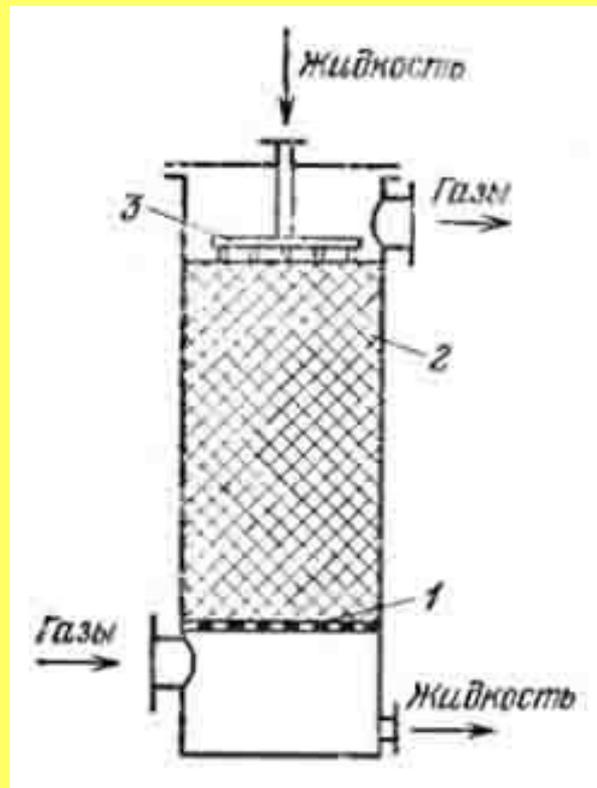
**Гидравлическое сопротивление** скруббера без каплеуловителя и газораспределителя - не более 250 Па.

При установке на выходе из полого скруббера каплеуловителя **повышается турбулентность** движения газового потока, **увеличивается интенсивность столкновений** капель с пылью и в результате достигается **лучший тепло- и массообмен** между газом и водой.

**Скорость газа в скрубберах с каплеуловителями** - от 2 - 2,3 до 5 - 8 м/с.

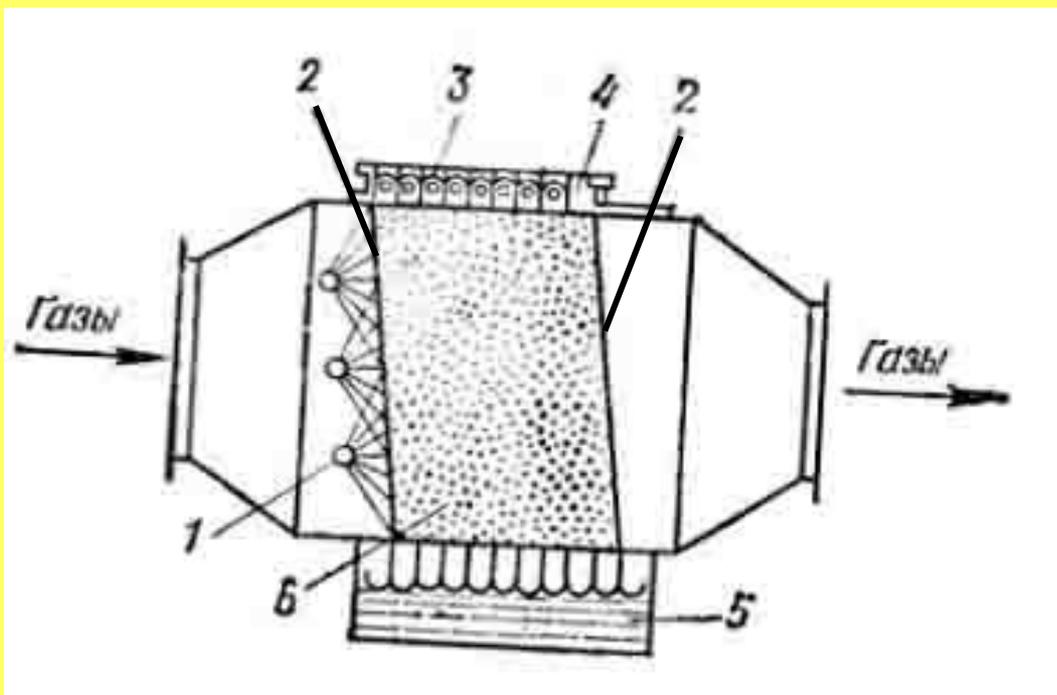
***НАСАДОЧНЫЕ  
СКРУББЕРЫ***

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ



**Противоточный насадочный скруббер.**

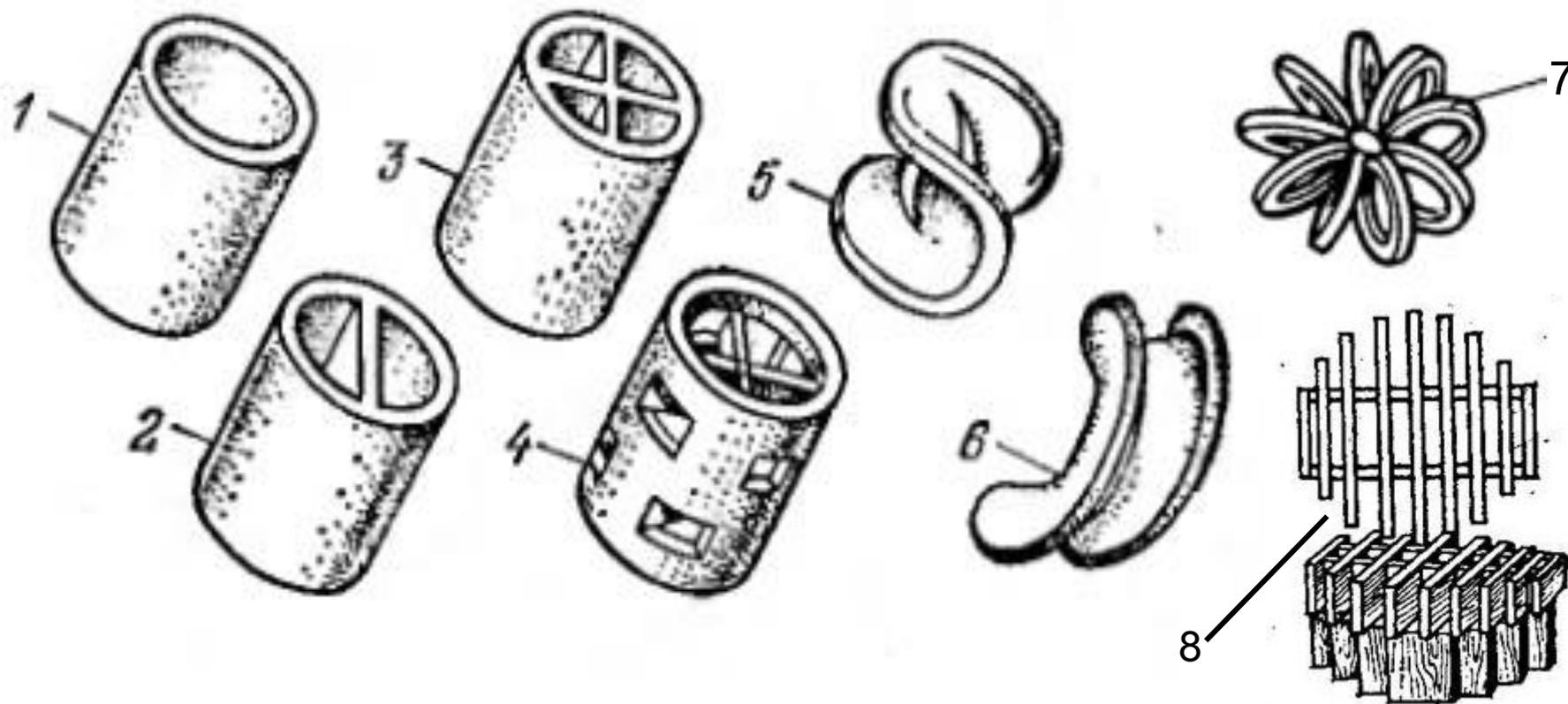
1 - опорная решетка; 2 - насадка;  
3 - оросительное устройство.



**Насадочный скруббер с поперечным орошением.**  
1 - форсунки; 2 - опорные решетки; 3 - оросительное устройство; 4 - неорошаемый склон насадки (брызгоуловитель); 5- шламособорник; 6 - насадка.

**В насадочных газопромывателях с поперечным орошением для обеспечения лучшего смачивания поверхности насадки ее слой обычно наклонен на 7-10° по отношению к направлению пылегазового потока.**

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ



**Тип насадки выбирают в зависимости от условий работы скруббера:**

1 - кольца Рашига; 2 - кольца с перегородкой; 3 - кольца с крестообразной перегородкой; 4 - кольца Палля; 5 - седла Берля; 6 - седла Италокс; 7- розетка Теллера; 8 – деревянная хордовая.

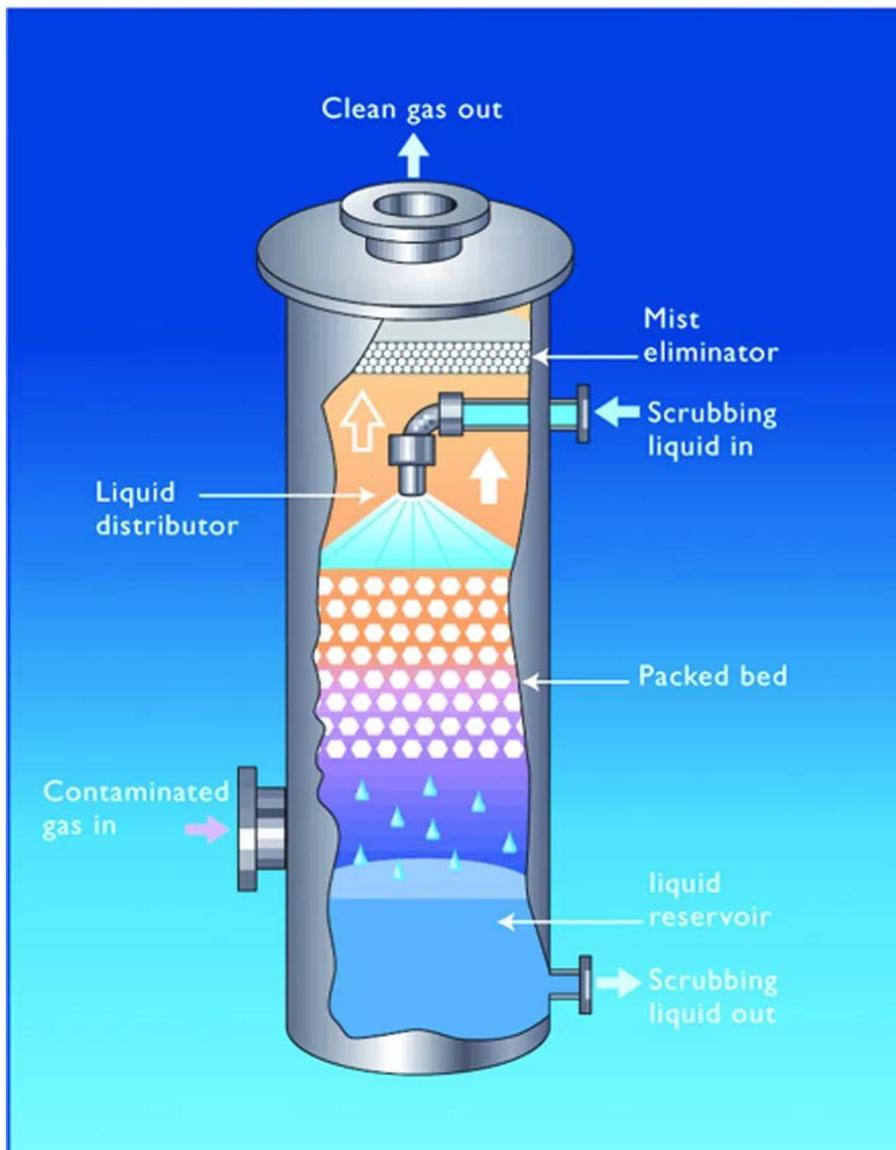
## **НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ**

**Для химически агрессивных сред чаще всего используется насадка из керамических колец (пустотелых и с перегородками).**

**При щелочных жидкостях применяют керамику и стальные кольца.**

**При нейтральных и не агрессивных к дереву жидкостях и газах с невысокой температурой иногда применяют насадку из досок сосны или ели.**

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ



Насадку помещают на колосниковую решетку, насыпая ее навалом или укладывая рядами.

Скорость газа в отверстиях насадки 0,8-1,5 м/с.

Смоченная поверхность насадки и является поверхностью контакта фаз.

После насадочного скруббера устанавливают каплеуловители.

## **НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ**

**Проходя через насадку, газ многократно изменяет направление своего движения, в результате чего содержащаяся в газе пыль или капельные компоненты по инерции попадают на смоченную поверхность насадки и смываются стекающей жидкостью.**

**Поэтому в насадочных скрубберах пыль улавливается более эффективно, чем в полых.**

**Гидравлическое сопротивление их невелико, хотя и больше, чем полых скрубберов.**

# **НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ**

**При недостаточном орошении насадки на ее элементах может налипать пыль, что приводит к забиванию насадки, росту гидравлического сопротивления скруббера и снижению его производительности**

**Очистка насадки от пыли представляет собой довольно трудоемкую операцию, связанную с удалением насадки из аппарата.**

**Поэтому для очистки запыленных газов используют только насадку с крупными элементами или хордовую насадку.**

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ

Насадочные скрубберы рекомендуется применять **только** при улавливании **хорошо смачиваемой пыли**, особенно в тех случаях, когда **процессы улавливания пыли сопровождаются охлаждением газов или абсорбцией\***.

При улавливании **плохо смачиваемой пыли** (но не склонной к образованию твердых отложений) могут использоваться **аппараты с разреженной насадкой**.

Из-за частого забивания насадки такие газопромыватели в настоящее время **редко используются для улавливания ПЫЛИ**.

*\* **Абсорбция** – поглощение сорбата/сорбтива (твердая, жидкая или газовая фаза) всем объёмом сорбента (в данном случае - жидкости)*

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ

Насадочные скрубберы в основном применяют как абсорберы\* для:

- очистки от  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,
- охлаждения и увлажнения малоапыленного газа.

Насадка должна обладать:

- химической стойкостью,
- механической прочностью,
- небольшой массой
- большой поверхностью единицы объема.

*\* Абсорбер - аппарат для поглощения газов, паров, а также для разделения газовой смеси на составные части растворением одного или нескольких компонентов этой смеси в жидкости-абсорбенте (поглотителе)*

# НАСАДОЧНЫЕ СКРУББЕРЫ

Параметры насадочного скруббера:

- **удельная поверхность  $a$**  - геометрическая поверхность насадочных тел в  $1 \text{ м}^3$  объема ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ );
- **свободный объем  $V_0$**  - объем пустот в  $1 \text{ м}^3$  насадки ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ );
- **плотность орошения** – объемный расход жидкости, которая подается на поперечное сечение скруббера -  **$5-20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$** ;
- **удельный расход орошающей жидкости** – отношение объемных расходов жидкости и газа,  $\text{л}/\text{м}^3$ :
  - в противоточных насадочных скрубберах -  **$1,3 - 2,6$  (иногда до  $6$ )  $\text{л}/\text{м}^3$** ;
  - в насадочных газопромывателях с поперечным орошением -  **$0,15-0,5 \text{ л}/\text{м}^3$** .

***ТАРЕЛЬЧАТЫЕ  
СКРУББЕРЫ  
(БАРБОТАЖНЫЕ И  
ПЕННЫЕ АППАРАТЫ)***

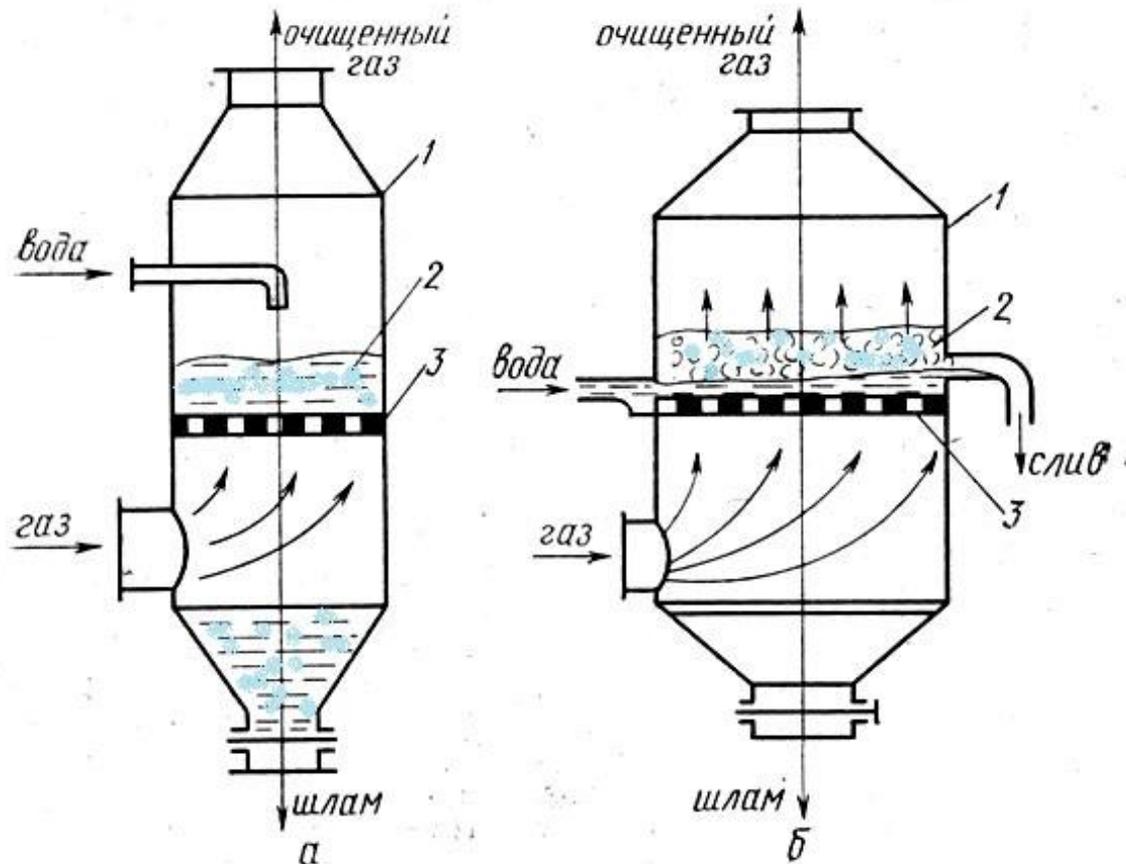
# ТАРЕЛЬЧАТЫЕ АППАРАТЫ

Барботажный пылеуловитель - цилиндрический или прямоугольный корпус с перфорированной тарелкой.

Проходя через отверстие тарелки, газ барботирует через жидкость, превращая ее в слой подвижной пены, что обеспечивает большую поверхность контакта фаз.

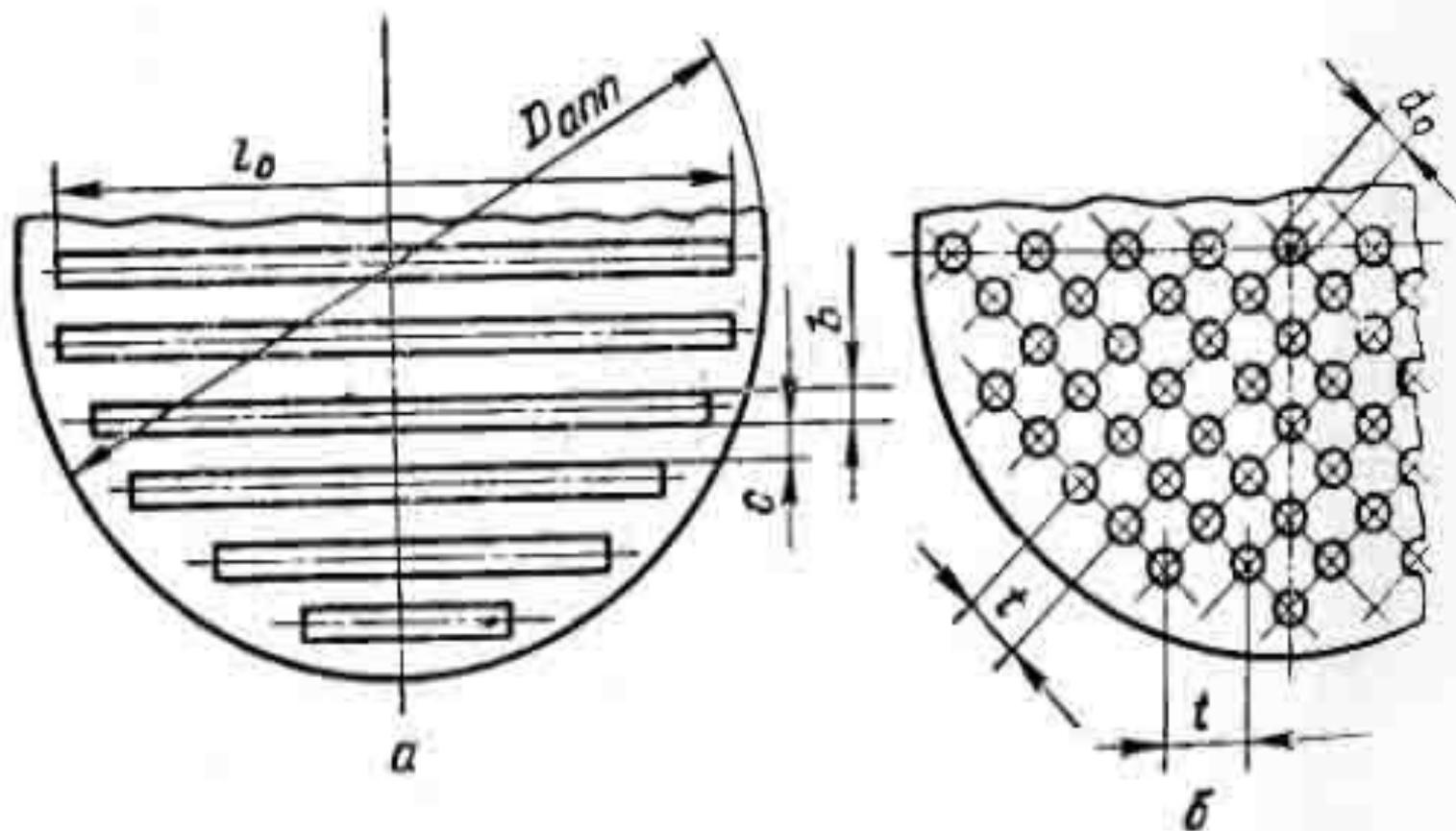
В слое пены пыль поглощается жидкостью, часть которой удаляется из аппарата через переточный порог, а другая часть сливается через отверстия в тарелке, промывая их и улавливая крупные частицы пыли.

Образующаяся суспензия выводится из нижней части аппарата.



а) — с провальными тарелками б) — с переливом

# КОНСТРУКЦИЯ ПРОВАЛЬНЫХ ТАРЕЛОК



Тарелки пенного пылеуловителя могут быть щелевыми (а) и дырчатыми (б)

# **ТАРЕЛЬЧАТЫЕ АППАРАТЫ**

**Размеры пенного аппарата определяются необходимостью равномерного распределения газа и предотвращения засорения:**

**□ Диаметр аппарата не более 2-2,5 м.**

**□ Живое сечение тарелки - 0,2-0,25 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.**

**□ Диаметр круглых отверстий - 4-8 мм,**

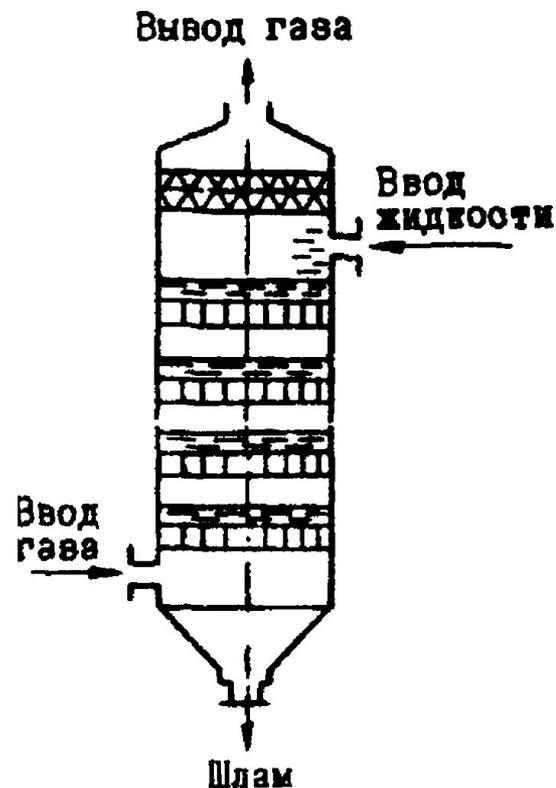
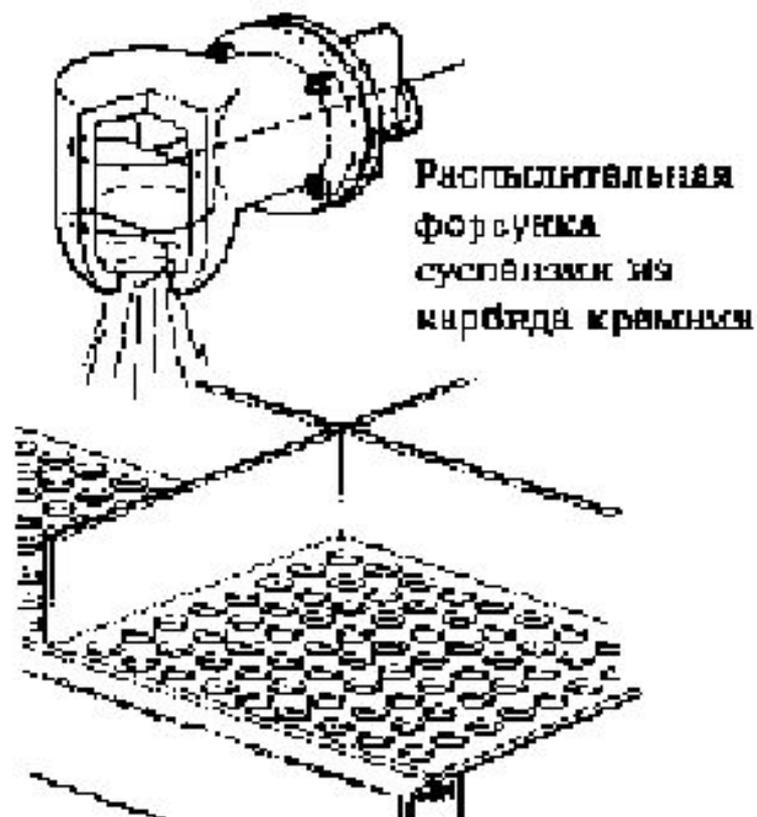
**□ Ширина щелей 4-5 мм;**

**□ Оптимальная толщина тарелки - 4-6 мм.**

**Расход жидкости - 0,2-0,3 л/м<sup>3</sup> газа.**

**Гидравлическое сопротивление однотарелочных аппаратов - 500-1000 Па.**

# ТАРЕЛЬЧАТЫЕ АППАРАТЫ

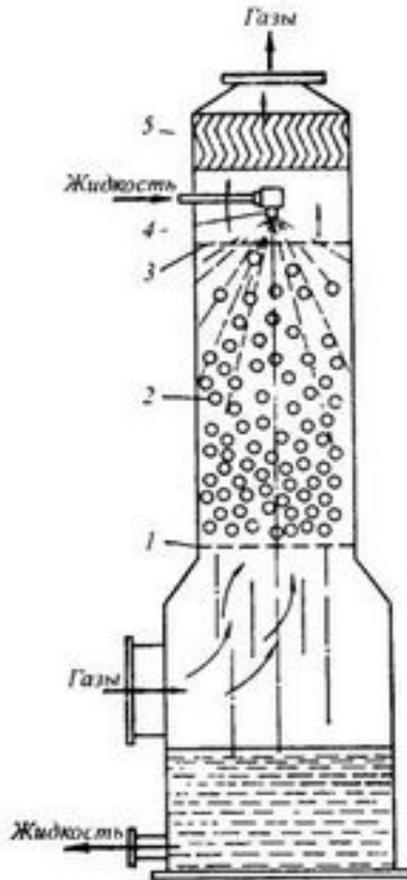


При больших размерах аппаратов подвод воды на тарелки секционируют.

При большом содержании пыли в газе и высоких требованиях к качеству очистки используют аппараты с несколькими рядами установленных друг над другом тарелок, через которые очищаемый газ проходит последовательно.

***СКРУББЕРЫ  
С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ***

# СКРУББЕРЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ



1 – опорная тарелка; 2 – шаровая насадка; 3 – ограничительная тарелка; 4 – оросительное устройство; 5 – каплеуловитель

В корпусе полого скруббера между нижней опорно-распределительной тарелкой и верхней ограничительной тарелкой помещается слой **полых или сплошных шаров из полимерных материалов, стекла или пористой резины.**

**Плотность шаров насадки не должна превышать плотности жидкости.**

Оптимальным режимом работы при пылеулавливании считается **режим полного псевдосжижения.**

**Скорость газов не должна превышать 5 м/с**

**Удельное орошение - 0,5-0,7 л/м<sup>3</sup>.**

**Гидравлическое сопротивление 800 – 1400 Па.**

При выборе **диаметра шаров** соблюдают соотношение  $D/d_{ш} \geq 10$ .

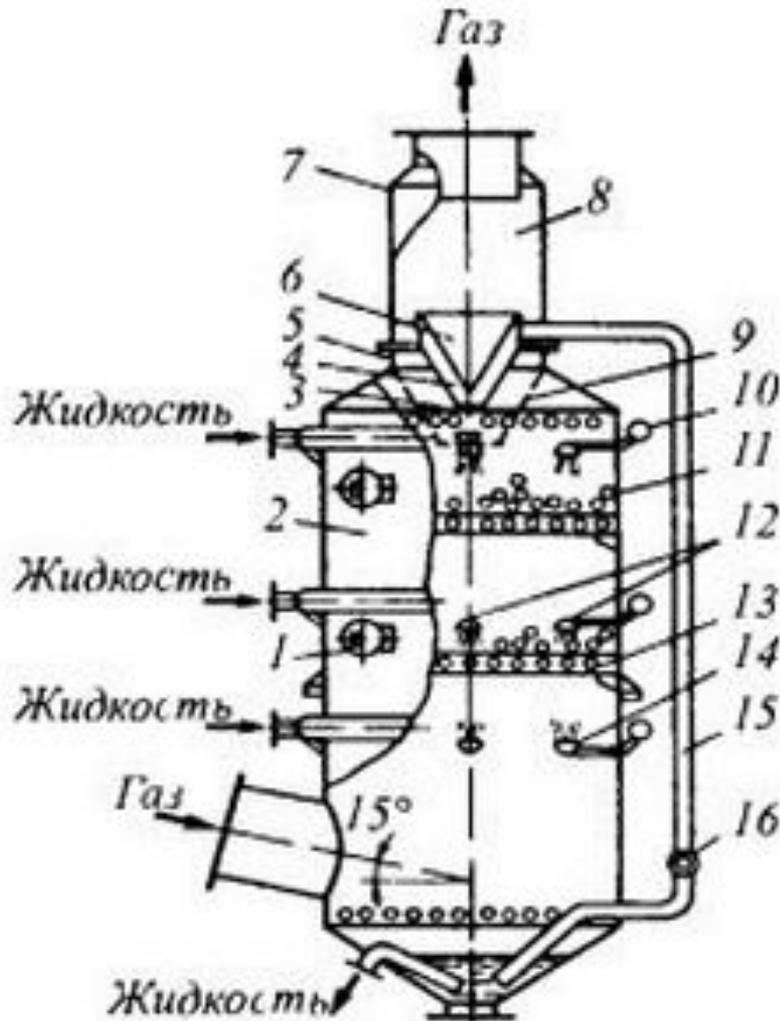
Оптимальными являются **шары диаметром 20—40 мм и насыпной плотностью 200—300 кг/м<sup>3</sup>.**

**Высота слоя насадки  $H_c$  :**

- минимальная  $(5 \div 8)d_{ш}$ ,
- максимальная –  $H_c/D \leq 1$ .

**Из-за ряда эксплуатационных сложностей аппараты не находят широкого распространения.**

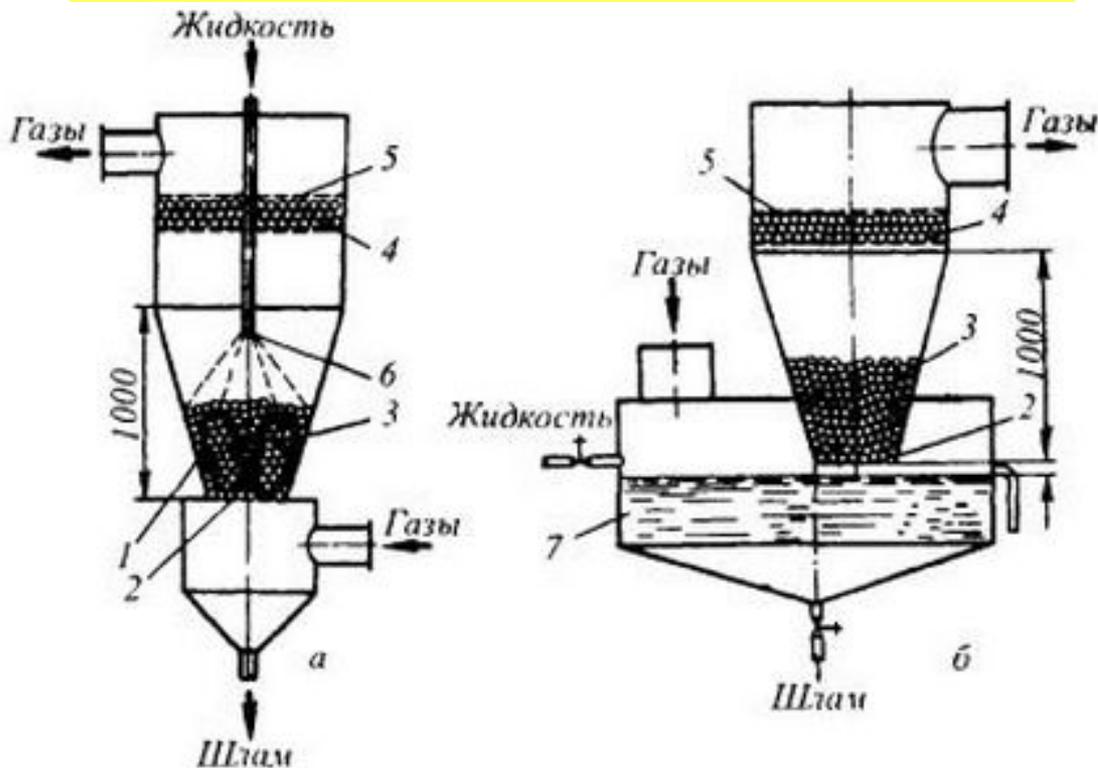
# ДВУХЯРУСНЫЙ СКРУББЕР С ПОДВИЖНОЙ ШАРОВОЙ НАСАДКОЙ



- 1 — люк; 2 — корпус; 3 — диск;  
4 — лопатка; 5 — выходной патрубков; 6 — конический завихритель; 7 — стенка каплеуловителя;  
8 — корпус каплеуловителя;  
9 — ограничительная решетка;  
10 — коллектор; 11 — шаровая насадка.; 12 — ярус орошения;  
13 — опорная решетка;  
14 — форсунка; 15 — сливная труба; 16 — смотровое стекло

# КОНИЧЕСКИЙ СКРУББЕР С ПОДВИЖНОЙ ШАРОВОЙ НАСАДКОЙ

Для улучшения распределения жидкости и уменьшения брызгоуноса используются аппараты конической формы с подвижной шаровой насадкой.



**а — форсуночный;      б — эжекционный**

1 — корпус; 2 — опорная тарелка; 3 — орошаемый слой шаров; 4 — брызгоулавливающий слой шаров; 5 — ограничительная тарелка; 6 — форсунка; 7 — емкость с постоянным уровнем жидкости

Полиэтиленовые шары диаметром **34-40 мм** с насыпной плотностью **110-120 кг/м<sup>3</sup>**.

Статическая **высота слоя шаров** составляет **650 мм**. Высота конической части - **1 м**.

**Внутренний угол раскрытия конической части** (при условии режима псевдооживления) **10 - 60°**.

**Неорошаемый слой шаров** в цилиндрической части аппарата для улавливания брызг — **150 мм**.

# КОНИЧЕСКИЙ СКРУББЕР С ПОДВИЖНОЙ ШАРОВОЙ НАСАДКОЙ

## Скорость газов:

- на входе в слой 6-10 м/с;
- на выходе из слоя 1-2 м/с.

**В форсуночном скруббере** расход орошающей жидкости - 4—6 л/м<sup>3</sup> газов.

**При эжекционном скруббере** орошение шаров осуществляется жидкостью, которая всасывается из емкости постоянного уровня газами, подлежащими очистке.

Величина зазора между нижним основанием конуса и уровнем жидкости зависит от производительности аппарата.

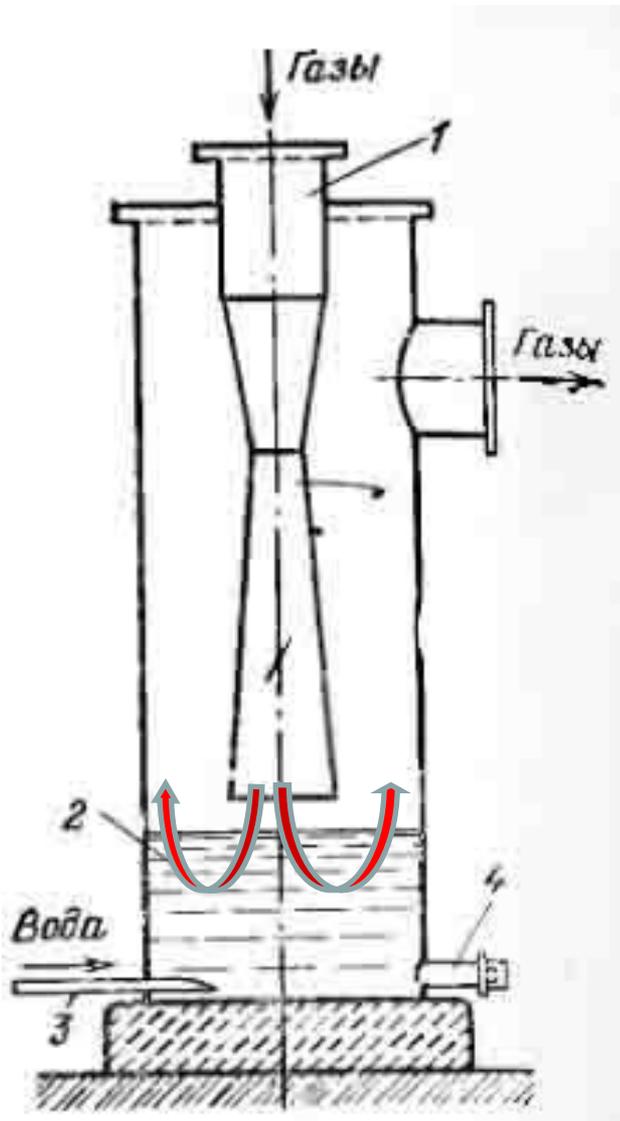
## Гидравлическое сопротивление:

- форсуночного - 900 - 1400 Па;
- эжекционного — 800 - 1400 Па.

В настоящее время в промышленности **применяются конические скрубберы с подвижной насадкой** производительностью по газам от 3000 до 40000 м<sup>3</sup>/ч.

***СКРУББЕРЫ  
УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО  
ДЕЙСТВИЯ (РОТОКЛОНЫ)***

## СКРУББЕРЫ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ



**В газопромывателях ударно-инерционного действия контакт газов с жидкостью осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости.**

- 1 - входной патрубков;
- 2 - резервуар с жидкостью;
- 3 - смывное сопло;
- 4 - труба для удаления шлама

## **СКРУББЕРЫ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ**

Запыленные газы по газоходу (обычно круглого сечения или выполненного в виде трубы Вентури) с **большой скоростью** направляются на поверхность жидкости.

В результате такого взаимодействия образуются **капли диаметром 300-400 мкм.**

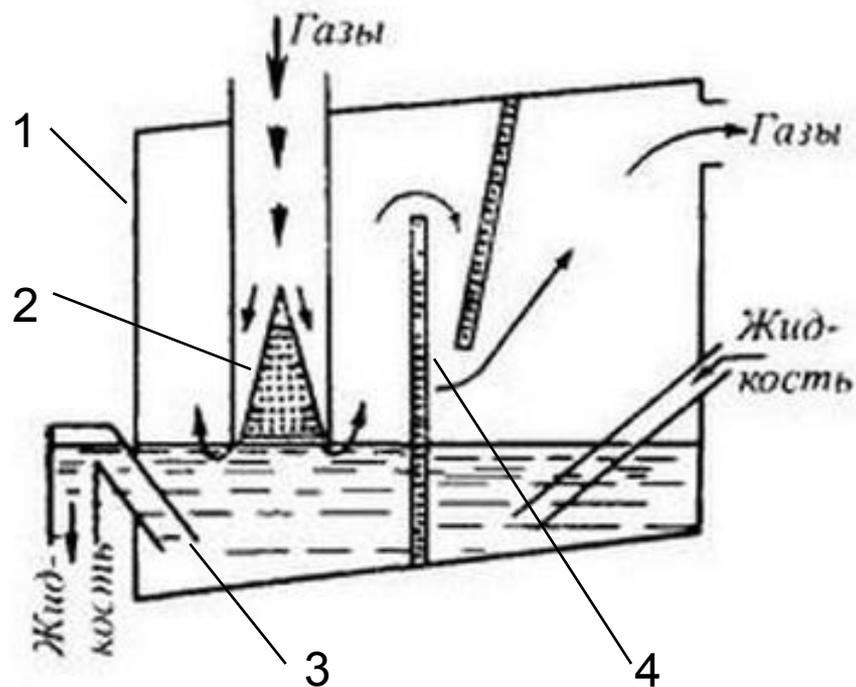
При **резком повороте газового потока на 180°** происходит **инерционное осаждение частиц пыли на каплях** жидкости.

**Шлам** из аппарата может **удаляться** через гидрозатвор **периодически или непрерывно.**

Для удаления уплотненного осадка со дна применяют **смывные сопла.**

Особенностью аппаратов ударного действия является **полное отсутствие средств перемещения жидкости**, и поэтому вся энергия, необходимая для создания поверхности контакта, подводится через газовый поток.

## СКРУББЕРЫ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ



### Скруббер Дойля

- 1 - корпус;
- 2 - сопло-ускоритель;
- 3 - сливное устройство;
- 4 - брызгоотбойник.

Газовый поток поступает через трубы, в нижней части которых установлены **конусы для увеличения скорости газов** в свободном сечении трубы. **Скорость газов** на выходе из трубы 35-55 м/с.

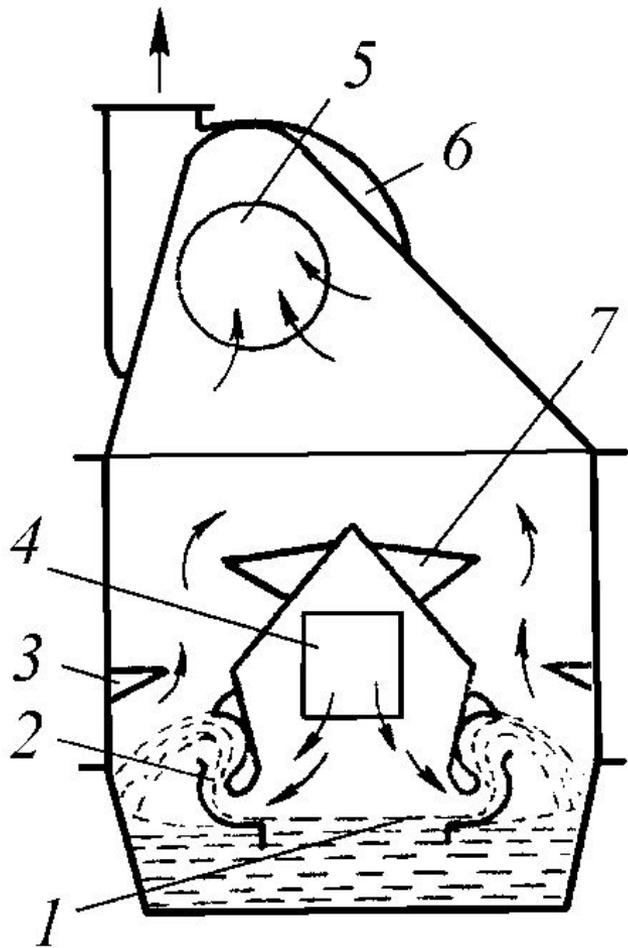
**При ударе** газового потока о поверхность жидкости, создается **завеса из капель**.

Уровень жидкости в скруббере (в статическом состоянии) **на 2-3 мм ниже кромки трубы**.

**Гидравлическое сопротивление** - 500-4000 Па.

**Удельный расход жидкости**- около 0,13 л/м<sup>3</sup>.

## Ротоклон типа N



- 1 – бункер с водой; 2 – щелевой канал;  
3 и 7 – отражатели; 4 – входной патрубок; 5 – выходной патрубок;  
6 – вентилятор

**Ротоклон типа N** – вид газопромывателей ударно-инерционного действия.

В аппарате установлены один или несколько **изогнутых щелевых каналов**, нижняя часть которых затоплена жидкостью.

Газовый поток, ударяясь о поверхность жидкости, **захватывает часть жидкости и заставляет ее двигаться вдоль нижней направляющей канала**. Затем жидкость отбрасывается к верхней направляющей и при выходе из щели падает **в виде сплошной водяной завесы**.

Для предотвращения уноса капель газы после канала проходят через **систему каплеотбойных устройств**.

**Скорость газов** в канале не превышает 15 м/с.

## **СКРУББЕРЫ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ**

Важное значение для нормальной эксплуатации газопромывателей этого класса играет **поддержание постоянного уровня жидкости в аппарате**. Даже незначительное изменение уровня жидкости может привести к резкому снижению эффективности или значительному увеличению гидравлического сопротивления.

Отсутствие мелких отверстий для раздачи жидкости и механических вращающихся частей **позволяет работать при значительной запыленности газов**.

**Удаление шлама** из отстойника осуществляется **периодически или непрерывно** (иногда с помощью скребкового транспортера).

**Подпитка воды** производится только для компенсации ее потерь за счет испарения и отвода со шламом.

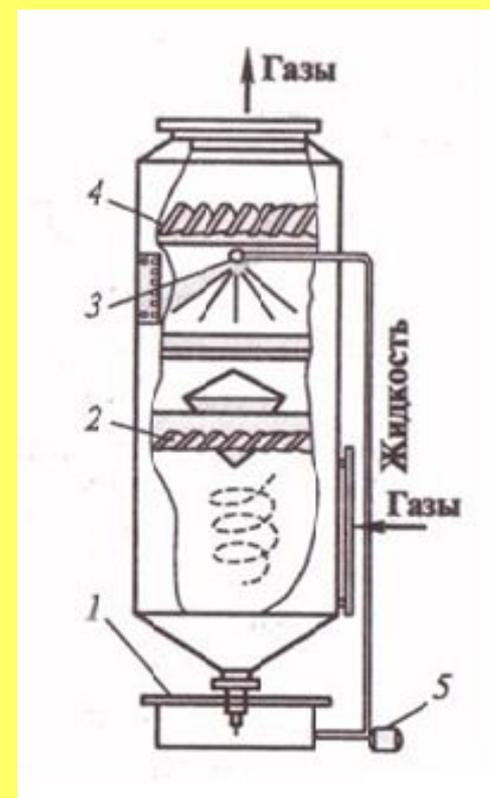
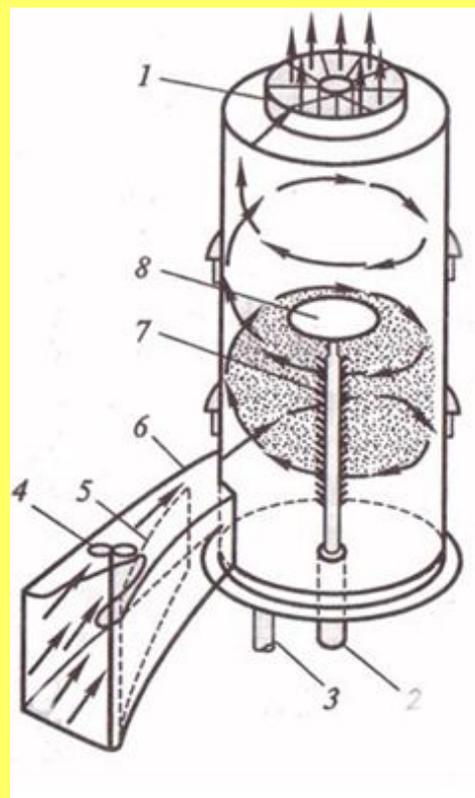
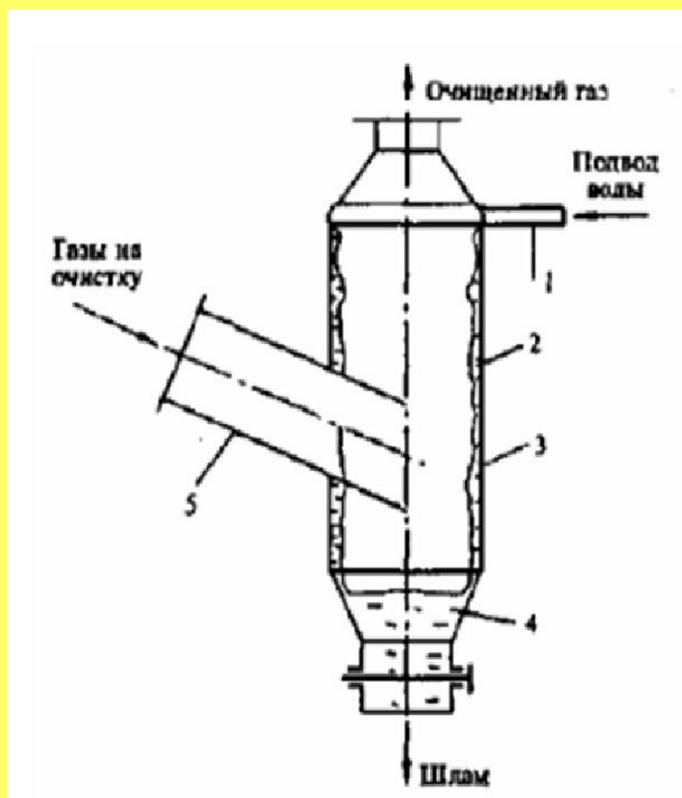
**Ротоклоны целесообразно устанавливать для очистки холодных или предварительно охлажденных газов**.

# ***ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СКРУББЕРЫ***

# ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СКРУББЕРЫ

Центробежные скрубберы по конструкции делятся на:

- аппараты с боковым тангенциальным или улиточным подводом газа
- аппараты, в которых закрутка газового потока осуществляется при помощи центрального лопастного закручивающего устройства;



# **ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СКРУББЕРЫ**

Частицы пыли в процессе вращения **отбрасываются** к стенкам, **захватываются пленкой воды** и **стекают** вместе с ней вниз.

**Скорость газа** по сечению аппарата **для исключения явления брызгоуноса** должна составлять **2,5-5,5 м/с**.

**Эффективность очистки** зависит от размера аппарата (диаметр не должен быть больше 1,2 м).

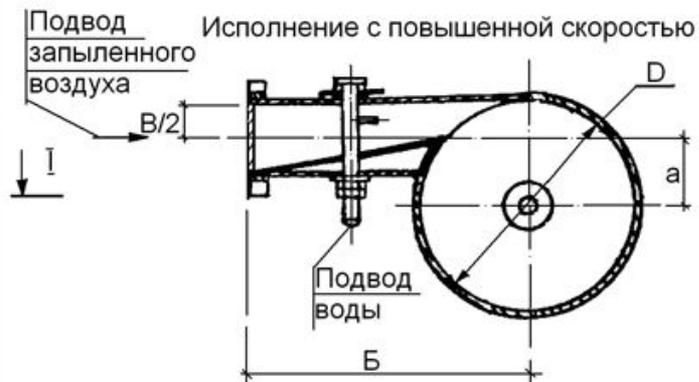
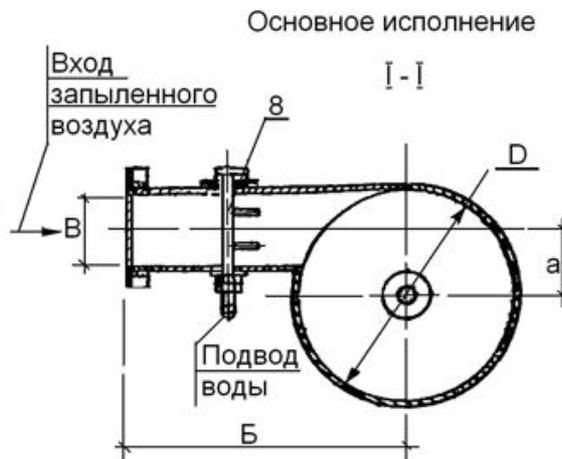
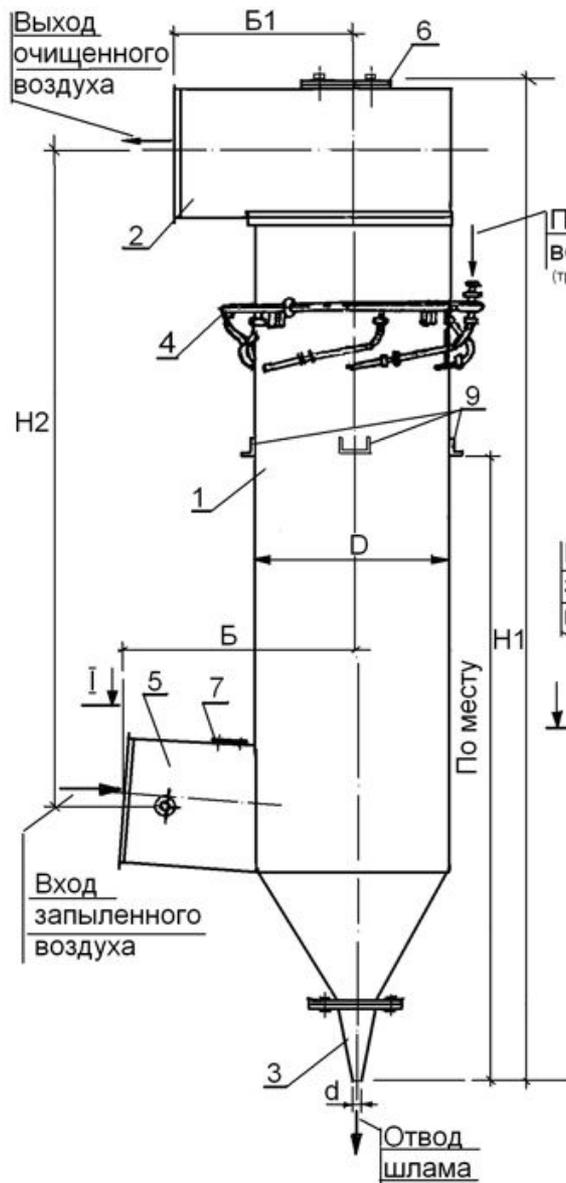
**Процесс очистки улучшается при:**

- **большем размере частиц пыли и их плотности,**
- **меньшем диаметре цилиндрической части аппарата;**
- **большой скорости газа во входном патрубке.**

**При содержании пыли, превышающем  $2 \text{ г/м}^3$ ,** до циклона с водяной пленкой **рекомендуется устанавливать первую ступень очистки** в виде сухого циклона или другого инерционного пылеуловителя.

Используются для очистки любых видов **нецементирующейся пыли**.

# ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СКРУББЕРЫ



- 1 - корпус циклона;
- 2 - улитка;
- 3 - конусной патрубков (гидрозатвор);
- 4 - водный коллектор;
- 5 - входной патрубков;
- 6 - люк;
- 7 - лючок;
- 8 - смывочное приспособление;
- 9 - опора

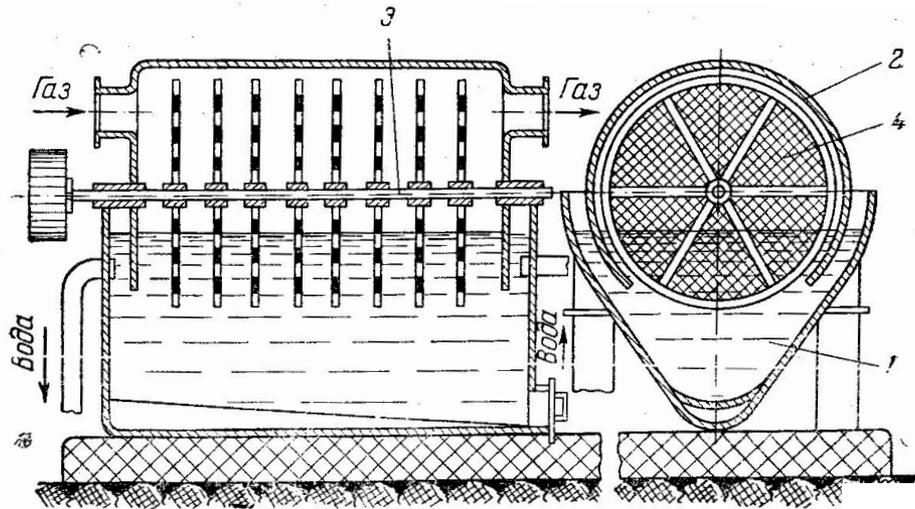
***МЕХАНИЧЕСКИЕ  
ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ  
(МЕХАНИЧЕСКИЕ И  
ДИНАМИЧЕСКИЕ  
СКРУББЕРЫ)***

# **МЕХАНИЧЕСКИЕ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ**

Характерной особенностью **механических газопромывателей** является **наличие вращающегося устройства** (ротора, диска и т. п.), которое обеспечивает **разбрызгивание и перемешивание жидкости** или **вращение газового потока**. В зависимости от способа подвода механической энергии аппараты этого типа подразделяются на:

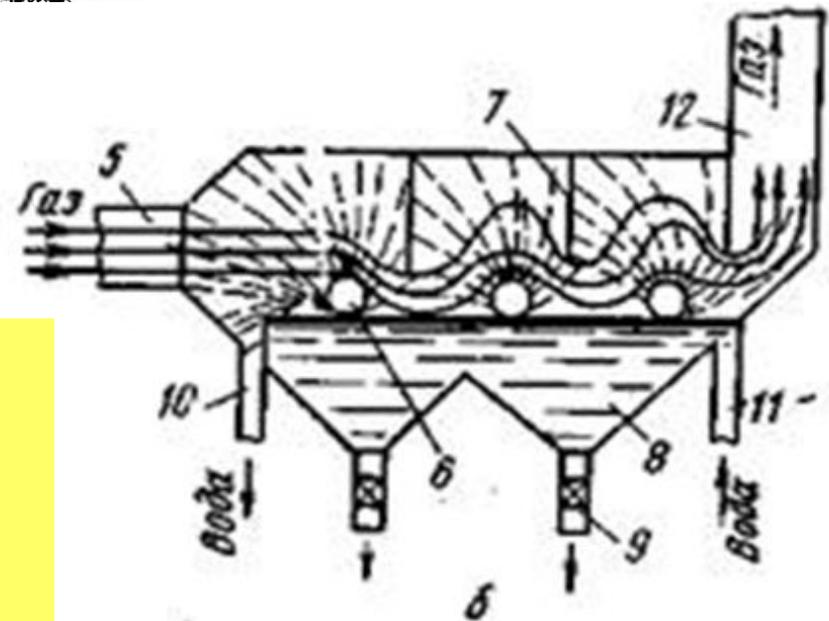
- **механические скрубберы** – газопромыватели, в которых очищаемые газы приводятся в соприкосновение с **жидкостью, разбрызгиваемой с помощью вращающегося тела** (вала с лопастями, диска, перфорированного барабана и т. п.);
- **динамические газопромыватели (ДГ)** – аппараты, в которых подводимая механическим устройством **энергия используется для вращения газового потока**.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ



Механический скруббер с вращающимися дисками:

- 1- поддон;
- 2 – кожух;
- 3 – горизонтальный вал;
- 4 – сетчатые диски



Механический скруббер с вращающимися пустотелыми цилиндрами:

- 5 – входной патрубок;
- 6 – пустотелые цилиндры;
- 7 – вертикальная перегородка;
- 8 – ванна;
- 9 – патрубок удаления шлама;
- 10 – сливная труба;
- 11 – подача свежей воды;
- 12 – выход очищенного газа.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ

**Механический скруббер с вращающимися дисками** вмещает в себя ротор 3, на котором закреплены сетчатые диски 4, погруженные на некоторую глубину в жидкость, находящуюся в поддоне 1.

В верхней части аппарата горизонтально расположены патрубки для входа и выхода газа.

В процессе вращения вала жидкость разбрызгивается сетчатыми дисками, образуя на пути движения газа туман.

Содержащиеся в газе частицы, сталкиваясь с капельками воды, укрупняются, утяжеляются и осаждаются в поддон и частично на смоченные диски, с которых смываются жидкостью. Уловленная пыль в виде шлама периодически или непрерывно удаляется из поддона в канализацию.

Допустимая скорость движения газа в аппарате составляет 0,8—1 м/с.

**В механическом скруббере с вращающимися пустотелыми цилиндрами** водяная завеса создается в результате быстрого вращения легких пустотелых цилиндров 6, частично погруженных в жидкость.

Газ вводят в аппарат через патрубок 5. На пути движения газа установлены вертикальные перегородки 7, которые создают узкий проход для газа в том месте, где образуется наиболее плотная завеса жидкости.

Частицы пыли оседают на дно ванны 8 и удаляются в виде шлама через патрубки 9.

Уровень жидкости в ванне поддерживают постоянным при помощи сливной трубы 10. Свежая жидкость пополняет ванну через трубопровод 11.

Очищенный газ удаляют из аппарата по газопроводу 12.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ



## Ротационный скруббер:

8 – ванна; 13 - входной газоход;  
14 – распределительная решетка;  
15 - колесо; 16 – выходной газоход.

**В ротационном пылеуловителе жидкость разбрызгивается колесом 15, частично погруженным в жидкость в ванне 8.**

Газ вводят в аппарат через входной газоход 13, он проходит через решетку 14, контактирует с каплями жидкости и через газоход 16 выводится из аппарата.

**Вследствие поворота газа в аппарате на 180° наиболее крупные частицы пыли тонут в жидкости под действием сил инерции.**

**Поэтому ротационный пылеуловитель работает более эффективно по сравнению с другими пылеуловителями этого типа.**

# **МЕХАНИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ**

**Механические скрубберы** как с быстро, так и с медленно вращающимися валами **не имеют существенных преимуществ перед аппаратами других типов.** Они **значительно менее распространены,** чем башни с насадкой и барботажные аппараты, что объясняется их менее выгодными эксплуатационными качествами

## **Недостатки:**

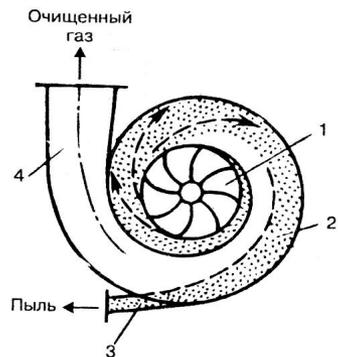
- **значительный дополнительный расход энергии** на вращение разбрызгивающих устройств (большая часть ее теряется в приводных устройствах и расходуется на трение движущихся частей);
- **затруднено применение для агрессивных сред** (малая стойкость проволочных дисков по отношению к таким агрессивным газам, как сероводород, в результате чего сетки на дисках приходится довольно часто менять).

# **ДИНАМИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ**

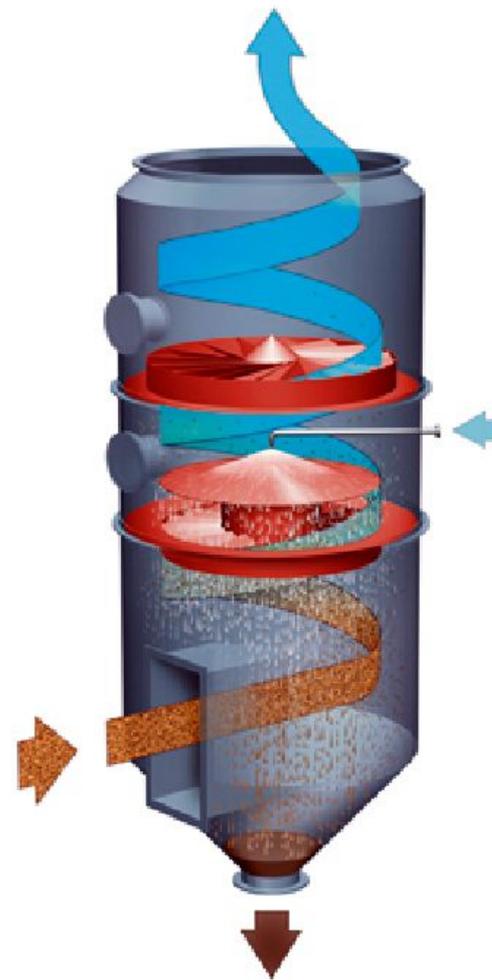
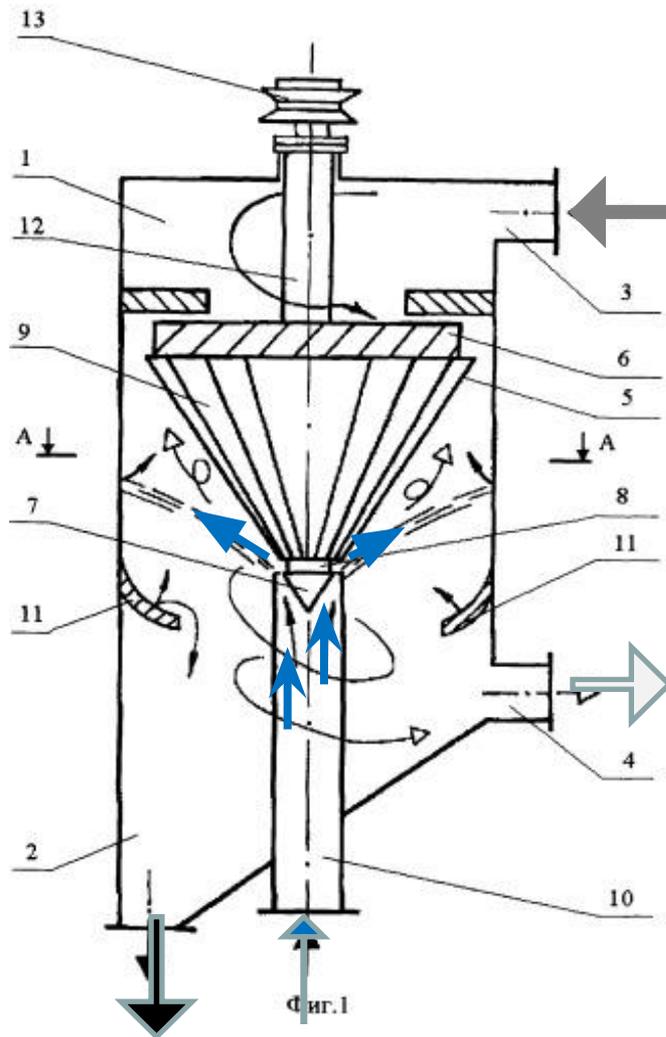
**Динамические газопромыватели отличаются от сухих ротационных пылеуловителей только подводом на входе в аппарат орошающей жидкости, которая способствует росту эффективности очистки.**

**В динамических газопромывателях очищаемые газы приводятся в соприкосновение с распыляемой или разбрызгиваемой жидкостью с помощью **вращающегося тела** ( ротора, диска и др.), которое обеспечивает разбрызгивание и перемешивание жидкости или вращение газового потока**

# ДИНАМИЧЕСКИЕ СКРУББЕРЫ



Сухой  
ротационный  
пылеуловитель



***СКОРОСТНЫЕ СКРУББЕРЫ  
(СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ)***

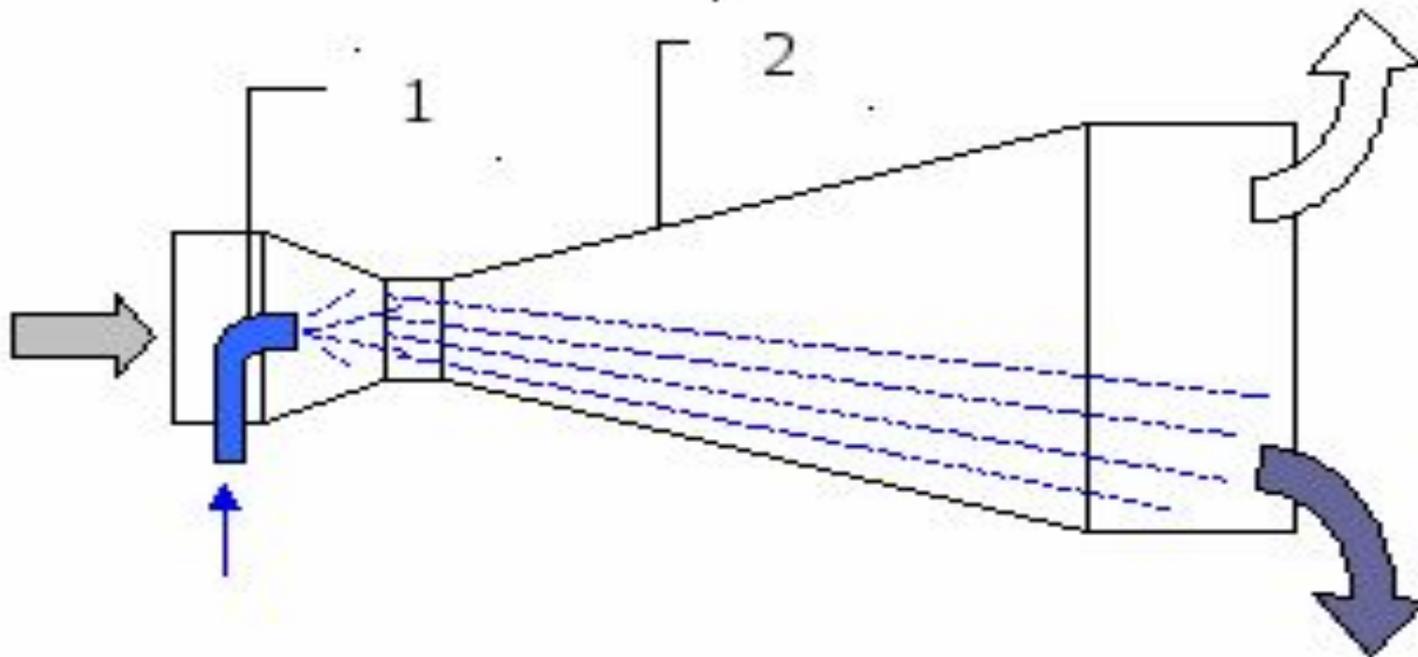
# **СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ**

**Скруббер\* Вентури** – наиболее эффективный и доминирующий вид из применяемых в промышленности мокрых пылеуловителей для удаления частиц размером менее 5 мкм.

Применяют для очистки технологических и вентиляционных газов от мелкодисперсной пыли, для охлаждения газов и очистки от вредных газообразных примесей.

*\*Скруббер (от англ. scrub — «скрести», «чистить») — устройство, используемое для очистки газообразных или твердых сред от примесей в различных химико-технологических процессах.*

## СХЕМА СКРУББЕРА ВЕНТУРИ



Скруббер Вентури состоит из 3-х частей: конфузора (1), горловины и диффузора (2).

Запыленный газ вводят в широкое отверстие конфузора, в котором его скорость увеличивается.

В конфузор или прямо в горловину подают воду.

# СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ



Горловина может быть круглого или прямоугольного сечения.

# СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ

В турбулентном потоке **вода дробиться** на мелкие капли, а **газовая оболочка** вокруг небольших частиц пыли **разрушается**.

Чем **выше скорость** газа, тем **мельче** получаются капли и **большее** их количество.

Образовавшиеся **капли** воды интенсивно **перемешиваются** в потоке газа **с частицами** пыли, **сталкиваются** с ними и **укрупняют** их.

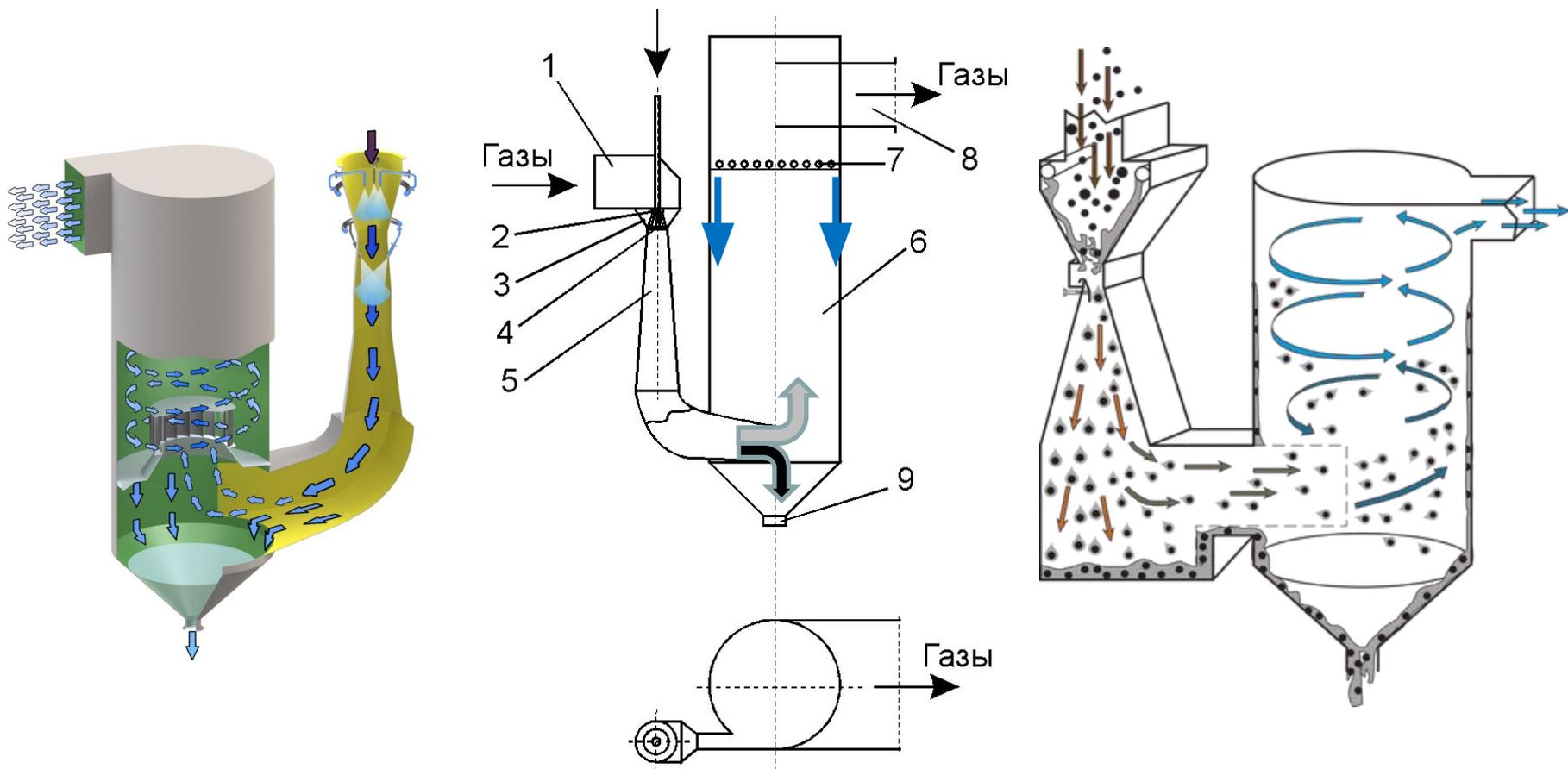
Чтобы мелкие капли воды не испарялись и не ухудшались условия коагуляции, **температура газа не должна быть больше 250°C**. Иначе необходимо увеличивать количество воды на орошение.

При входе в диффузор **газ теряет скорость** и происходит **дальнейшая коагуляция\*** пыли.

Одновременно в скруббере Вентури происходит **охлаждение газа** и **поглощение вредных газовых компонентов**, которые хорошо растворяются в воде (например,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ).

*\*Коагуляция — объединение мелких диспергированных частиц при их столкновении в бóльшие по размеру агрегаты*

# СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ



Для очистки от крупной пыли и от капель жидкости после скруббера устанавливают инерционный аппарат или центробежный циклон.

# СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ



Скрубберы Вентури можно устанавливать в вертикальном, наклонном и горизонтальном положении.

# **СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ**

**Скорость газа** во входном сечении конфузора и выходном сечении диффузора составляет 18-24 м/с.

**В горловине трубы Вентури скорость** зависит от размера частиц пыли и назначения аппарата и составляет:

- 90-200 м/с - при очистке технологических газов,
- 60-90 м/с - при очистке воздуха в системах аспирации,
- 40-70 м/с - при охлаждении газа и очистке от газообразных компонентов.

Чем выше **скорость газа** в горловине и чем больше **удельный расход жидкости** на ее орошение, тем выше **гидравлическое сопротивление** аппарата и эффективнее проходит процесс **коагуляции пыли**.

**Удельный расход воды** - 0,25-1,25 л/м<sup>3</sup>.

Если пыль мелкодисперсная, то выбирают больший удельный расход жидкости.

При очистке аспирационного воздуха, который содержит крупнодисперсную пыль удельный расход составляет 0,25-0,5 л/м<sup>3</sup>.

Типоразмеры трубы Вентури обеспечивают производительность по газу в диапазоне **2000–500000 м<sup>3</sup>/ч**.

# **СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ**

Если гидравлическое сопротивление трубы Вентури **менее 5000 Па**, то ее называют **низконапорной**.

**Низконапорные устройства** используют для очистки воздуха и газа от частиц пыли **более 5 мкм** в системах промышленной вентиляции и газов паровых котлов в энергетике.

**Высоконапорные трубы Вентури** (гидравлическое сопротивление от 5000 до 25000 Па) применяют, главным образом, **для очистки технологических газов от мелкодисперсной пыли**.

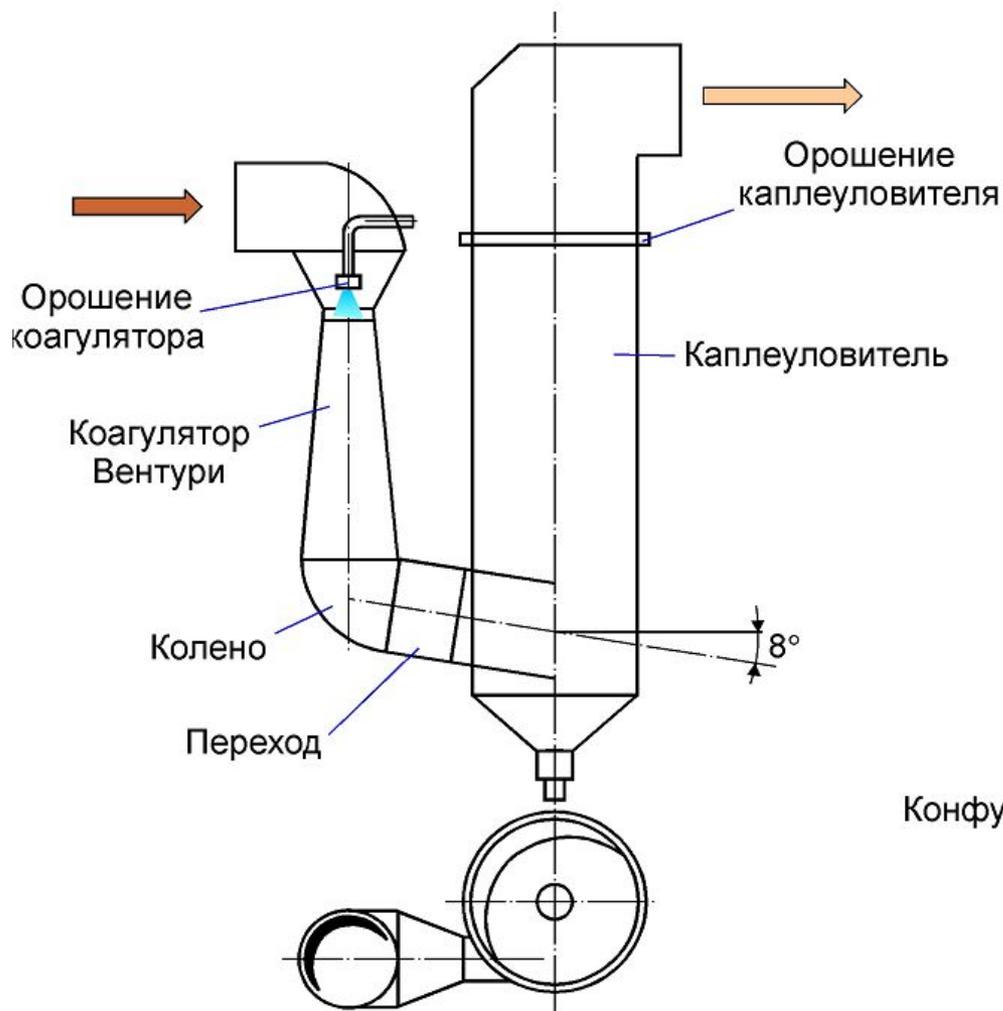
**Если температура газового потока высокая**, то его перед скруббером Вентури **охлаждают в полом скруббере**, низконапорной трубе Вентури или другом аппарате.

Если аппарат используют еще и для очистки от газообразных примесей, то применяют схему из **двух последовательно установленных труб Вентури**.

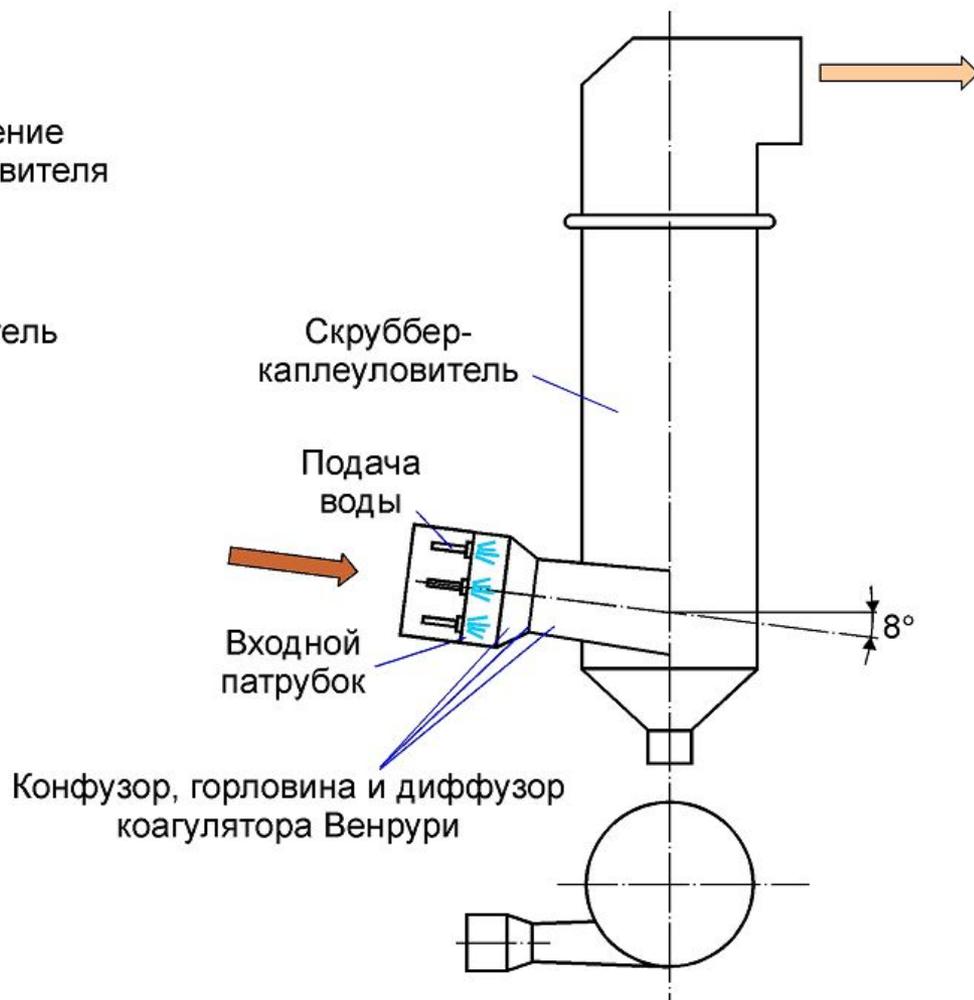
**В первой трубе** (высоконапорной) происходит **процесс коагуляции и захвата пыли водой**, а **во второй** (низконапорной) осуществляется **улавливание газообразных примесей**.

# МОКРЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ С КОАГУЛЯТОРАМИ ВЕНТУРИ

а) Аппарат типа МВ



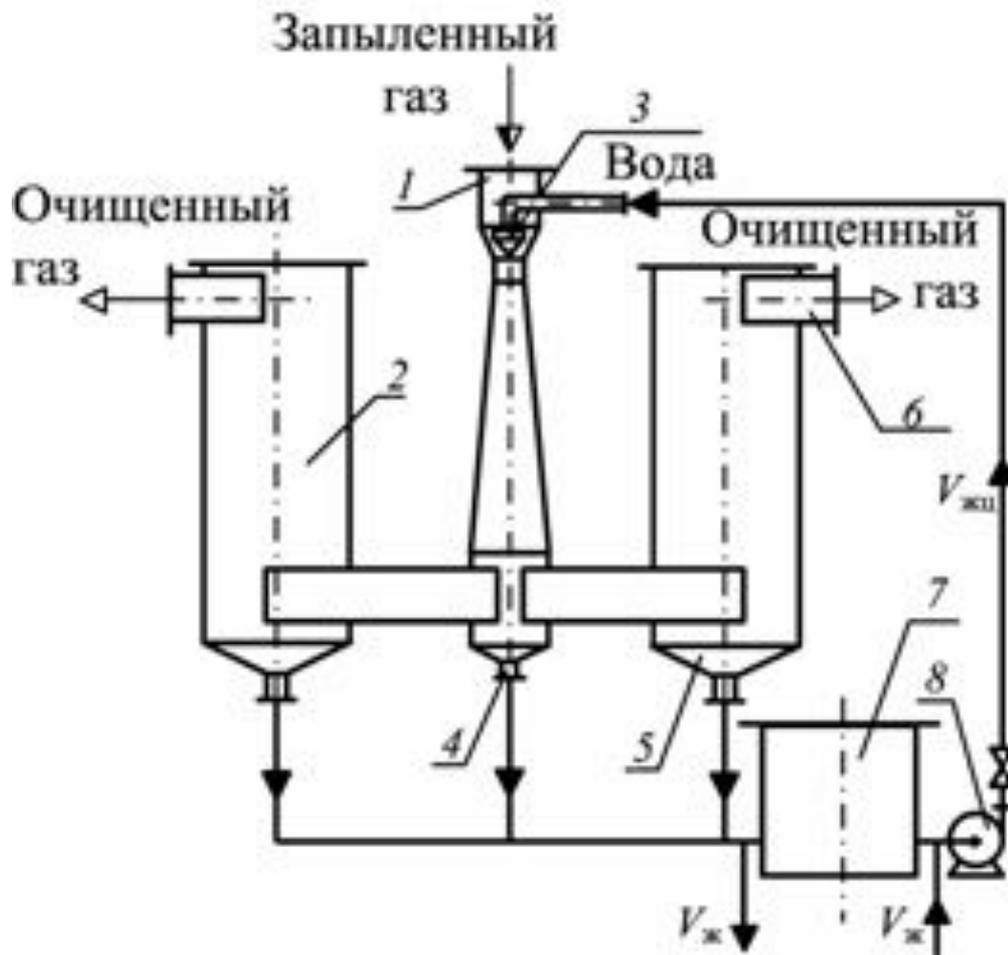
б) Аппарат типа МС



# Золулавливающее оборудование ОАО «Кузбассэнерго»

| Тип котла              | Тип ЗУУ   | Степень очистки |             |
|------------------------|---|-----------------|-------------|
|                        |   | Проект,%        | Факт,%      |
| ТП-87                  | Электрофильтры<br>ПГДС 4x 70  | 98              | 98,0 –98,6  |
| ТП-87<br>ПК-40         | <b>Мокрая ЗУУ<br/>МП ВТИ<br/>с трубами<br/>Вентури</b>                    | 94-96           | 97,6 – 98,4 |
| Е-85<br>Е-120<br>Е-170 | <b>Мокрая ЗУУ<br/>с трубами<br/>Вентури</b> и<br>акустической<br>системой | 96              | 97,0-98,6   |
| ТП-87                  | <b>Мокрая ЗУУ<br/>МП ВТИ</b><br>с акустическим<br>резонатором             | 95              | 97          |

# СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ

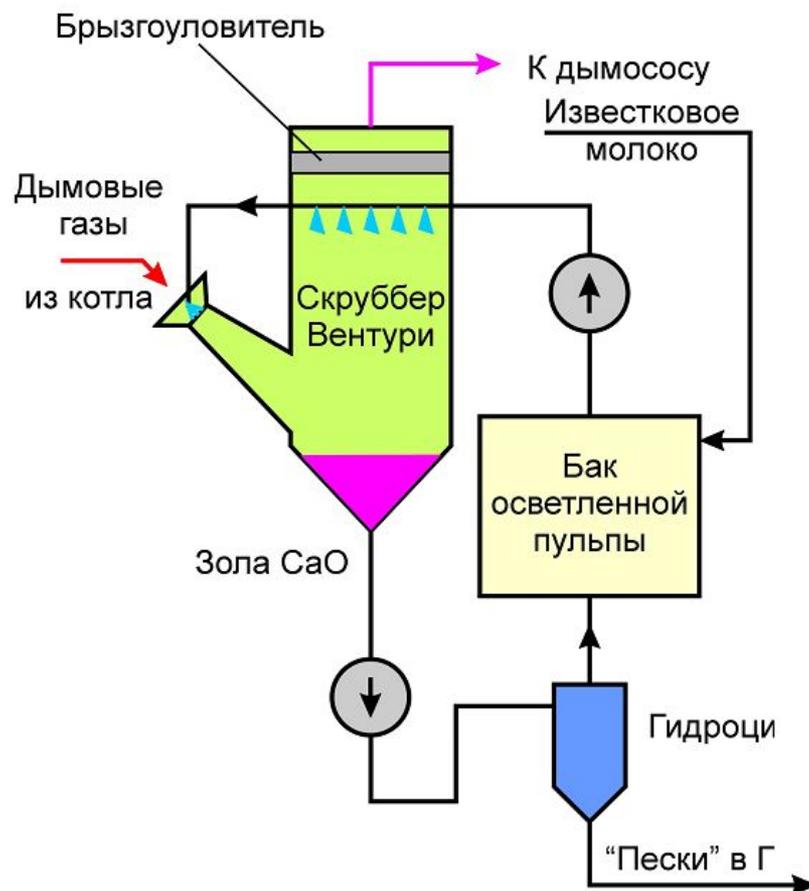
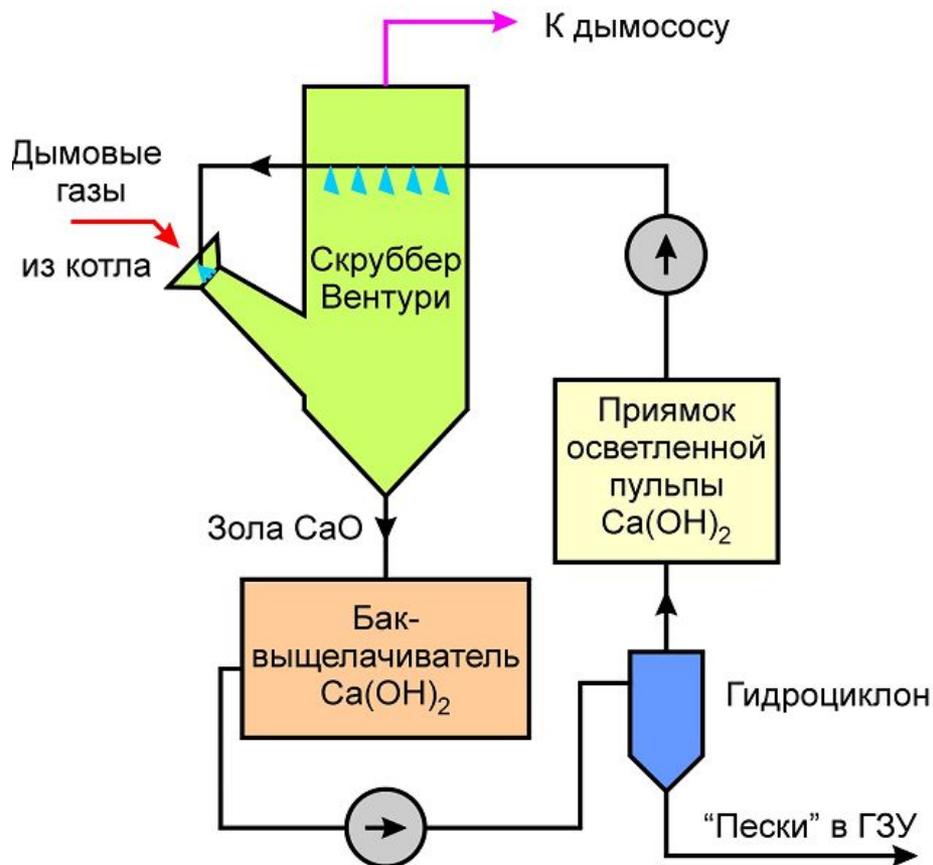


При больших объемах газа применяют батарейные или групповые компоновки скрубберов Вентури

# СЕРОЧИСТКА ГАЗОВ В МОКРЫХ ЗУ

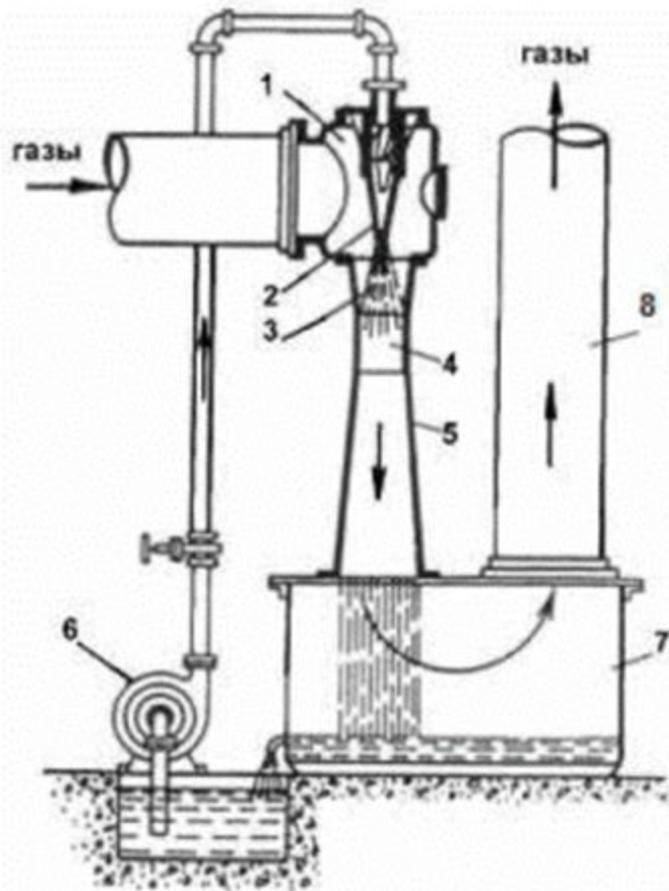
а) Использование щелочных соединений золы

б) Использование щелочных соединений золы с добавками реагентов

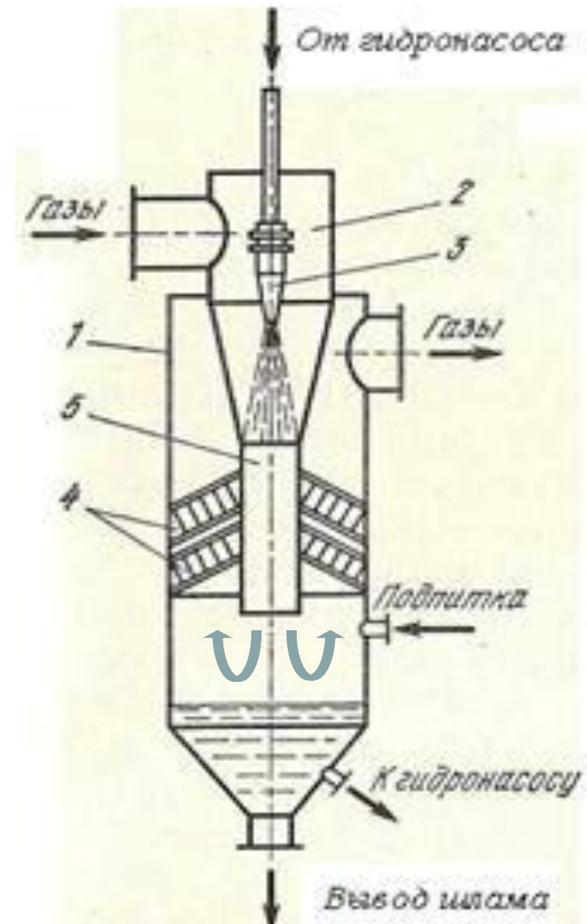


# ***ЭЖЕКТОРНЫЕ СКРУББЕРЫ***

# ЭЖЕКТОРНЫЕ СКРУББЕРЫ



1 – приемная камера; 2 – форсунка;  
3 – конфузор; 4 – камера смешения;  
5 – диффузор; 6 – насос; 7 – резервуар-отстойник; 8 – выхлопной патрубок



1 – корпус и бак-репульпатор; 2 — камера всасывания; 3 — форсунка; 4 — сетчатый пылеуловитель; 5 — камера смешения.

# **ЭЖЕКТОРНЫЕ СКРУББЕРЫ**

**В эжекторных скрубберах газ засасывается потоком жидкости.**

**Энергия, затрачиваемая на очистку газов, подводится к орошающей жидкости, которая подается в трубу-распылитель через расположенную в конфузоре форсунку под давлением 600-1200 кПа.**

**Так как в трубе-распылителе газы транспортируются капельной жидкостью и создается положительный напор, то общее гидравлическое сопротивление всей установки может быть равно нулю.**

**Такие аппараты применяют при очистке низконапорных потоков газа и в тех случаях, когда нежелательна установка вентилятора или дымососа (например, при очистке взрывоопасных газов или газов, содержащих радиоактивную пыль, коррозионными средами).**

# **ЭЖЕКТОРНЫЕ СКРУББЕРЫ**

Сечения конфузора и горловины (камеры смешения) подбираются таким образом, чтобы **создавать условия для эжекции газов потоком жидкости.**

**Скорость газовой потока** в сечении камеры смешения рекомендуется выбирать в пределах **от 10 до 12 м/с**, а длину камеры смешения— около трех ее диаметров.

**Удельный расход жидкости** - 7 - 10 л/м<sup>3</sup>.

Скорость истечения жидкости из форсунки — 15 - 30 м/с.

**Производительность** от 50 до 5000 м<sup>3</sup>/ч регулируется путем изменения уровня жидкости в баке-репульпаторе относительно камеры смешения.

Максимально возможное разрежение - 0,6 кПа.

# **ДОСТОИНСТВА МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ**

**При анализе конструкции и принципов действия мокрых пылеуловителей можно выделить следующие их достоинства:**

- простота конструкции и сравнительно невысокая стоимость;
- более высокая эффективность по сравнению с сухими механическими пылеуловителями инерционного типа;
- меньшие габариты по сравнению с тканевыми фильтрами и электрофильтрами;
- возможность использования при высокой температуре и повышенной влажности газов;
- работы на взрывоопасных газах;
- улавливание вместе с взвешенными твердыми частицами паров и газообразных компонентов.

# **НЕДОСТАТКИ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ**

**Однако мокрым пылеуловителям свойствен и ряд недостатков:**

- значительные затраты энергии при высоких степенях очистки;
- получение уловленного продукта в виде шлама, что часто затрудняет и удорожает его последующее использование;
- необходимость организации оборотного цикла водоснабжения и очистки сточных вод (отстойники, перекачивающие насосы и т. п.);
- образование отложений в оборудовании и газопроводах;
- коррозионный износ оборудования и газопроводов при очистке газов, содержащих агрессивные компоненты (необходимость применения антикоррозионных материалов и покрытий);
- вынос брызг орошающей жидкости из аппаратов;
- ухудшение условий рассеивания пыли и вредных газов, выбрасываемых через дымовые трубы в воздушный бассейн.