

Дисциплина:
Проектирование систем
обеспечения техносферной
безопасности

Тема:
Защита атмосферного воздуха от
выбросов загрязняющих веществ

Литература

1. **Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С.** Техника защиты окружающей среды. –2-е изд. перераб. и доп. М.: Химия, 1989. – 512 с.
2. Техника защиты окружающей среды: учеб. пособие для вузов / Н. С. Торошечников, А. И. Родионов, Н. В. Кельцев, В. Н. Клушин. - М.: Химия, 1981. - 368 с.
3. **Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В.** Процессы и аппараты пищевой технологии. 2-е изд. переаб. и доп.. М.: Колос.2000. 552с.
4. Техника и технология защиты воздушной среды: учеб. пособие для студ. вузов. - М. : Высшая школа, 2005. - 391 с.
5. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: учеб. пособие для студ. вузов / Д. А. Кривошеин, П. П. Кукин, В. Л. Лапин и др. - М.: Высшая школа, 2003. - 344 с.
6. Защита окружающей среды от техногенных воздействий: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. Невской Г.В. - М.: Изд-во МГОУ, 1993. - 216 с.
7. Охрана окружающей среды: учебник для техн. спец. вузов / С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков и др.; под ред. С.В. Белова. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1991. - 319 с.
8. Инженерная экология и экологический менеджмент/ Под ред. Н.И.Иванова. М.:Логос, 2002-528с.
9. **Аникеев В.А.** Технологические аспекты охраны окружающей среды / В. А. Аникеев, И. З. Копп, Ф. В. Скалкин. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 255 с.
10. **Коузов П. А.** Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. - Л.:Химия,1982. - 256с
11. **Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении.** - М. : Химия, 1983. - 288 с.
12. **Разумовский Э. С.** Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов . - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1986. - 175 с.
13. **Виглин В. Е.** Очистка воздуха и вентиляция на предприятиях радиоэлектронной промышленности: учеб. пособие для вузов / МИЭМ. - М. : Изд-во МИЭМ, 1987. - 91 с.
14. **Панин В.Ф.** Экология для инженера: учеб.-справ. пособие / В. Ф. Панин, А. И. Сечин, В. Д. Федосова. - М.: Ноосфера, 2001. - 282 с.
15. **Петров В. В., Королев А.Н.** Программа, индивидуальные задания и контрольные вопросы по дисциплине "Техника защиты окружающей среды".— Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2006. – 19с. **№4049**

Классификация методов очистки от туманов и пылей и их свойства

- Отходящие газы, содержащие взвешенные твердые (жидкие) частицы - двухфазные системы, аэрозоли. Аэрозоли разделяют на пыли, дымы, и туманы. Пыли содержат твердые частицы размером от 5 до 50 мкм, а дымы — от 0,1 до 5 мкм. Туманы состоят из капелек жидкости размером 0,3—5 мкм.
- Газовые выбросы классифицируют:
 - по организации отвода и контроля:
 - на организованные и неорганизованные;
 - по температуре:
 - на нагретые (температура газопылевой смеси выше температуры воздуха) и холодные;
 - по признакам очистки:
 - на выбрасываемые без очистки (организованные и неорганизованные) и после очистки (организованные).

Размер частиц, мкм	Аппарат
40 - 1000	Пылеосадительные камеры
20 - 1000	Циклоны диаметром 1 – 2 м
5 - 1000	Циклоны диаметром до 1 м
20 - 100	Скрубберы
0.5 - 100	Тканевые фильтры
0.05 - 100	Волокнистые фильтры
0.01 - 10	Электрофильтры

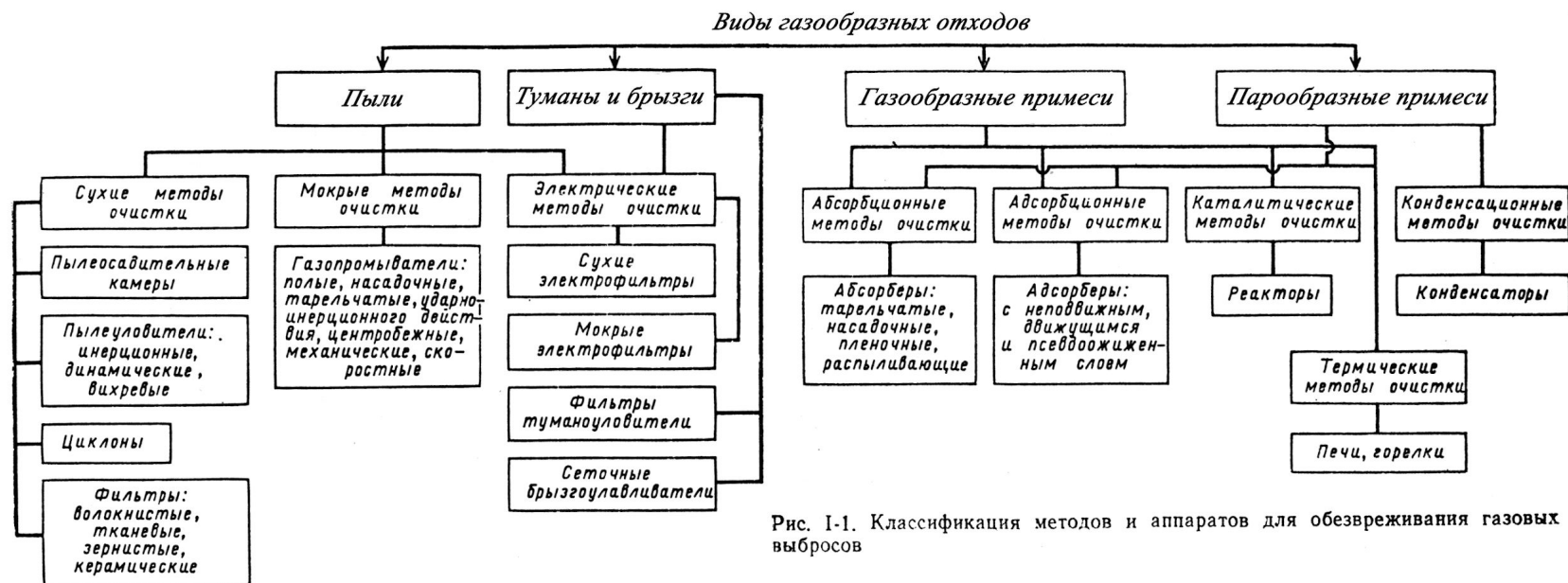


Рис. I-1. Классификация методов и аппаратов для обезвреживания газовых выбросов

• Основные свойства пылей.

Плотность частиц;

Дисперсный состав частиц характеризуется двумя параметрами:

- медианным диаметром частиц (диаметр частиц пыли, при котором масса всех частиц с размером менее d_{50} составляет 50 % общей массы пыли).
- дисперсией σ (или показателем полидисперсности пыли). Дисперсия характеризуется углом наклона линии дисперсного состава к оси абсцисс и определяется из выражения:
- где d_{16} , d_{84} - диаметры частиц, при которых масса частиц, меньших d_{16} и d_{84} , составляет соответственно 16 и 84 % общей массы пыли.

$$\sigma \cong d_{50} / d_{16} \cong d_{84} / d_{50},$$

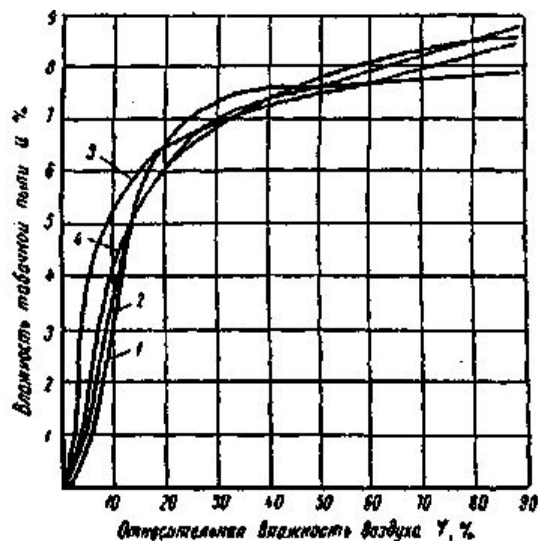
Размер частиц на границах фракций, мкм	<1,5	1,5-2,5	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-25	25-35	35-50	>50
Фракции, % от общей массы частиц	2,19	3,73	7,89	13,16	15,45	21,13	18,63	6,06	5,1	6,66

Размер частиц, мкм	1,5	2,5	4	7	10	15	25	50
Масса частиц больше d, %	97,81	94,08	86,19	70,74	49,61	30,98	17,82	6,66
Масса частиц меньше d, %	2,19	5,92	13,81	29,26	50,39	69,02	82,18	93,34

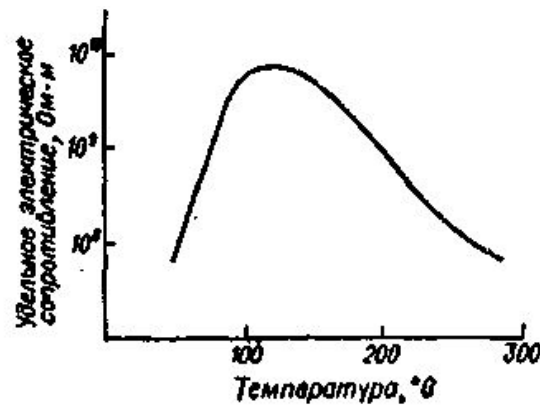
• Основные свойства пылей.

Слипaeмoсть пыли;
 Адгезионные свойства;
 Абразивность частиц;
 Смачиваемость частиц;
 Гигроскопичность частиц;
 Электрическая проводимость слоя пыли;
 Электрическая заряженность частиц;

Группа слипаемости	Разрывная прочность слоя пыли, Р, Па	Некоторые пыли данной группы
I	Неслипающиеся, $P < 60$	Доломитовая, глиноземная, шлаковая
II	Слабослипающиеся, P $= 60—300$	Коксовая, доменная, апатитовая
III	Среднеслипающиеся, p $= 300—600$	Цементная, торфяная, металлическая, мучная, пыль с максимальным размером частиц 25 мкм
IV	Сильнослипающиеся, $P > 600$	Цементная, гипсовая, волокнистые пыли (асбестовая, хлопковая, шерстяная); все пыли с частицами не более 10 мкм



Гигроскопичность табачной пыли



Зависимость электрического сопротивления
слоя пыли от температуры.

• Основные свойства пылей.

Способность частиц пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом;

Взрыво- и пожароопасные пыли делят на четыре класса. Критерием является значение НКПРП и температуры самовоспламенения.

Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП) по пылевоздушным смесям, г/м^3 , — минимальное содержание пыли в воздухе, достаточное для возникновения взрыва (при наличии других условий)

I класс — наиболее взрывоопасные пыли с НКПРП до 15 г/м^3 ;

II класс — взрывоопасные пыли с НКПРП $16—65 \text{ г/м}^3$;

III класс — наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в куче, в токе воздуха до 250°C ;

IV класс — пожароопасные пыли, обладающие температурой самовоспламенения при тех же условиях выше 250°C .

I класс		II класс	
Сера	2,3	Пыль льняной костры	16,7
Нафталин	2,5	Горох.	25,2
Канифоль	5,0	Жом свекловичный	27,7
Сухие сливки с сахаром	6,3	Казеин технический	32,8
Шрот подсолнечный	7,6	Крахмал картофельный	40,3
Эбонитовая пыль	7,6	Чайная пыль	32,8
Молоко сухое	7,6	Сланцевая пыль	58,0
Сахар свекловичный	8,9		
Камфара	10,1		
Пыль мельничная серая	10,1		
Мясокостная мука	10,1		
Уротропин	15,0		
Шеллак..	15,0		

Наименование	Класс опасности	Температура самовоспламенения осажденной пыли (геля) в куче	НКПРП, г/м^3
Табачная пыль	III	205	68,0—101,0
Элеваторная пыль		250	277,0
Угольные пыли (высокозольные)	IV	260	114—400
Древесные опилки		275	выше 65,5

Температура самовоспламенения некоторых пылей III и IV классов.

НКПРП некоторых пылей и пылевидных материалов I и II классов, г/м^3

Эффективность улавливания

Эффективность очистки η

$$\eta = \frac{G'_{\text{ч}} - G''_{\text{ч}}}{G'_{\text{ч}}}$$

где $G'_{\text{ч}}$, $G''_{\text{ч}}$ – массовый расход частиц пыли, содержащейся в газах, соответственно поступающих и выходящих из аппарата, кг/с.

Фракционная эффективность: $\eta_{\text{фр}} = [\Phi_{\text{вх}} - \Phi_{\text{вых}} (1 - \eta)] / \Phi_{\text{вх}}$,

где $\Phi_{\text{вх}}$, $\Phi_{\text{вых}}$ – содержание фракции пыли в воздухе соответственно на входе и выходе пылеуловителя, %.

Полная эффективность аппаратов

$$\eta = \frac{\eta_{\text{ф1}} \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\text{ф2}} \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\text{фn}} \Phi_n}{100}.$$

Суммарную степень очистки газов η , достигаемую в нескольких последовательно установленных аппаратах

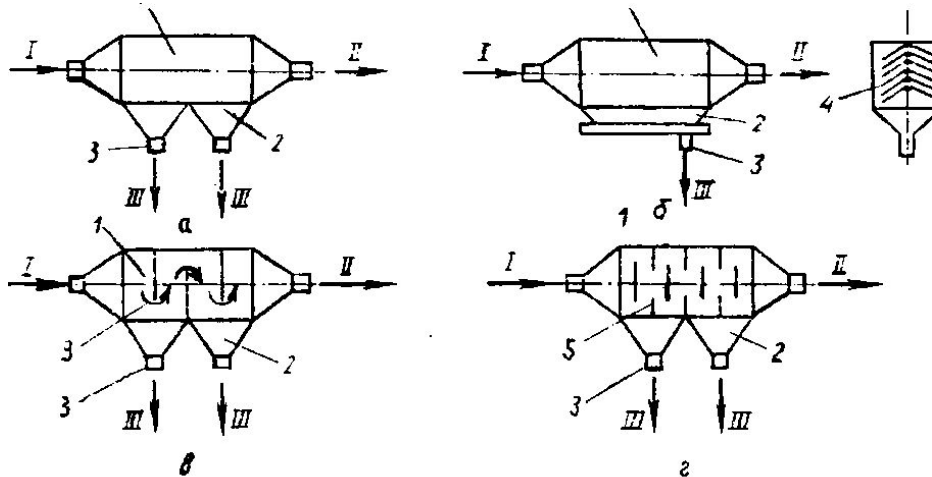
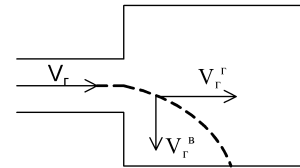
$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) (1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n),$$

**Зависимость эффективности улавливания от фракционного
состава твердых частиц и аэрозолей в газовом потоке
для различных типов оборудования (А. В. Зайцев, 1999 г.)**

Тип оборудования	Общая эф- фективность, %	Эффективность улавливания, %				
		<5 мкм	5–10 мкм	10–20 мкм	20–40 мкм	>40 мкм
Пылеосадительная камера	58,6	7,5	22	43	80	90
Обычный циклон	65,3	12	33	57	82	91
Циклон с удлинен- ным конусом	84,2	40	79	92	95	97
Электрофильтр	97,0	72	94,5	97	99,5	100
Полый скруббер, орошаемый водой	98,5	90	96	98	100	100
Скруббер Вентури	99,5	99	99,5	100	100	100
Рукавный фильтр	99,7	99,5	100	100	100	100

Очистка газов в сухих пылеуловителях (пылеосадительные камеры)

$$l = h \cdot v_e^2 / v_e^6$$



Пылеосадительные камеры:

а - полая: б - с горизонтальными полками;

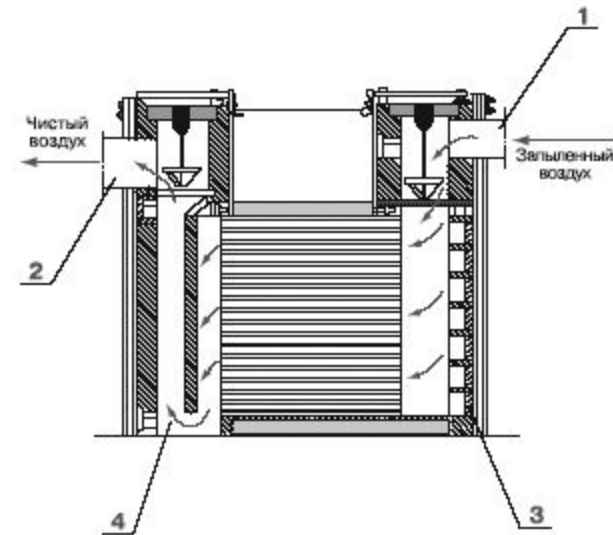
в, г - с вертикальными перегородками:

/ - запыленный газ; // - очищенный газ; /// - пыль;

1 - корпус; 2 - бункер; 3 - штуцер для удаления;

4 - полки; 5 - перегородки.

При работе с химически агрессивными газами внутренняя поверхность камеры обрабатывают специальным покрытием.



Многополочная пылеосадительная камера:

1 - входной патрубок; 2 - выходной патрубок; 3 - корпус; 4 - бункер взвешенных частиц

Общая высота пылеосадительной камеры:

$$H = n(h + h_1)$$

где h – расстояние между полками;

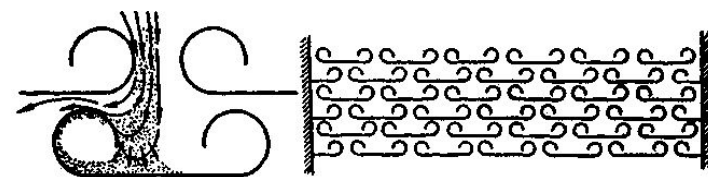
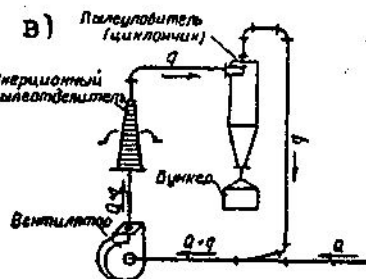
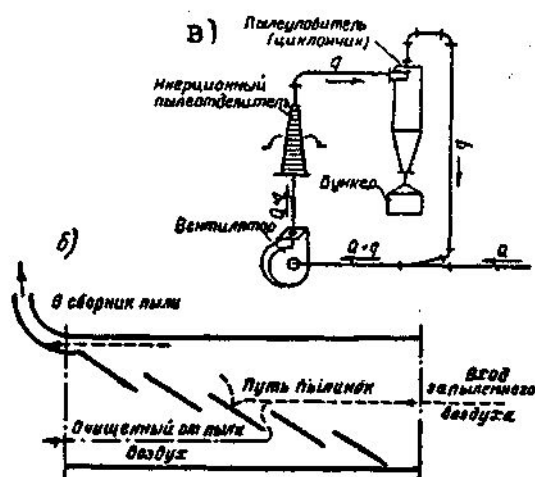
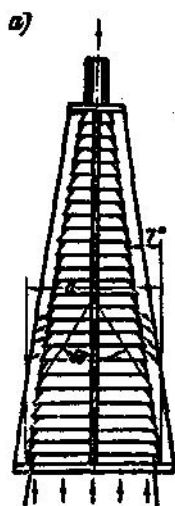
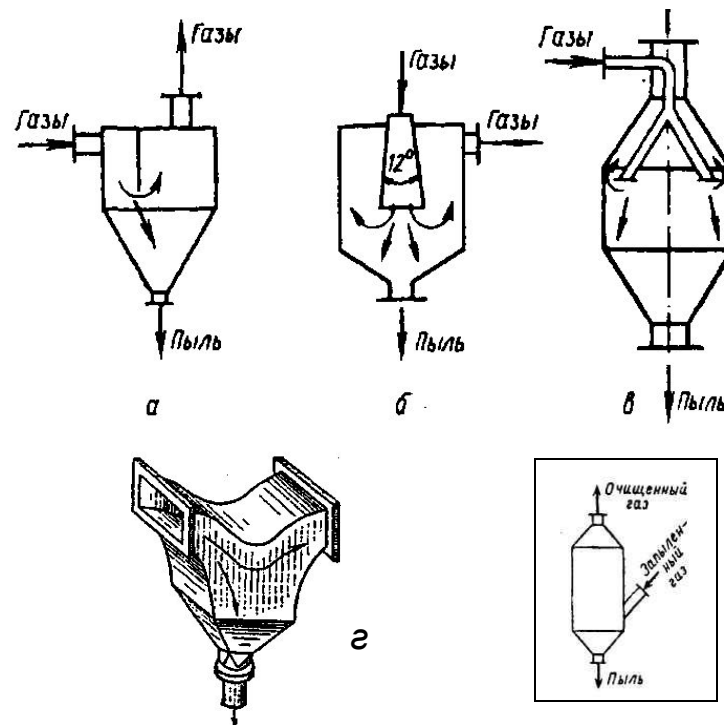
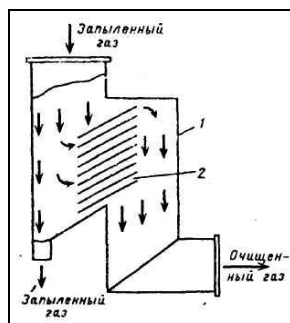
h_1 – толщина одной полки; n – число полок

Очистка газов в сухих пылеуловителях (инерционные пылеуловители)

Инерционные пылеуловители:

а – камера с перегородкой; б – камера с расширяющимся с заглубленным бункером; в – камера с плавным поворотом
д – камера с боковым отводом газа.

Жалюзийные аппараты
(1 – корпус; 2 – решетка)

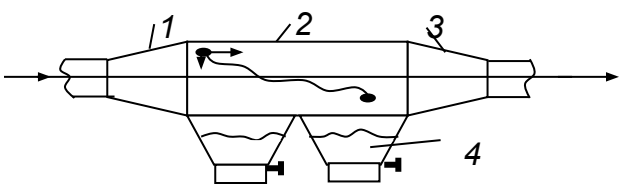


Экранный инерционный пылеуловитель.
($\eta = 80—91\%$ при запыленности газа $20—70 \text{ г/м}^3$ и содержании фракций более 10 мкм 62% составляла, $\Delta p = 25—100 \text{ Па}$).

Инерционный пылеотделитель ИП ($\eta = 90-95\%$ для пескоструйной пыли): а — общий вид; б — принцип действия; в — схема установки инерционного пылеотделителя ИП с циклоном

• Расчет пылеосадительной камеры (ПОК).

Скорость газа в данных камерах от 1.5 до 2 м/с.
Камеры пригодны для улавливания частиц не менее 40-50 мкм. Степень очистки не превышает 40 - 50 %.



Алгоритм расчета

- 1. Рассчитать скорость осаждения частиц $U_{\text{ч}}$, которая определяется по диаграммам или рассчитывается по формуле Стокса. Для частицы, имеющей форму шара $U_{\text{ч}}$ равна - $U_{\text{ч}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} q}{18 \mu_r} = \tau_{\text{р}} q$
- 2. Основываясь на найденном значении $U_{\text{ч}}$ выбрать скорость газа в ПОК – $U_{\text{пок}}$.
- 3. Зная расход загрязненного воздуха найти V_r -объемный расход загрязненного газа, м³/с.
- 4. Зная V_r и диаметр подводящей трубы $d_{\text{тр}}$ найти $U_{\text{э}}$. Далее зная $U_{\text{пок}}$ найти площадь ПОК $S_{\text{пок}} = B \cdot H$ с помощью уравнения непрерывности $U_{\text{э}} \cdot S_{\text{тр}} = U_{\text{пок}} \cdot S_{\text{пок}}$ и выбрать B и H .
- 5. На основе известной высоты камеры H и $U_{\text{ч}}$ рассчитать время осаждения частицы в камере $\tau_{\text{ос}}$.
- 6. Выбрать время пролета частицы (продолжительность прохождения газами камеры) τ исходя из условия:

$\tau > \tau_{\text{р}}$
 $\tau = \frac{L \cdot B \cdot H}{V_r}$

- 7. Рассчитать длину камеры L используя выражение
- 8. Рассчитать эффективность очистки ПОК.

Эффективность камеры определяется по отношению h/H , если $h > H$, то все частицы обладающие скоростью осаждения $V_{\text{ч}}$ будут улавливаться в камере:

$\eta = h/H = (V_{\text{ч}} * L * B) / V_{\text{э}} = (V_{\text{ч}} * L) / (V_{\text{э}} / B),$

где h - путь, который пройдет частица под действием силы тяжести : $h = U_{\text{ч}} * \tau$.

Если рассчитанная эффективность ПОК больше 50%, то принять $\eta = 50\%$.

- 9. Начертить эскиз камеры, рассчитать объем бункера для сбора пыли и периодичность его очистки.

ЦИКЛОНЫ (Осаждение под действием центробежной силы)

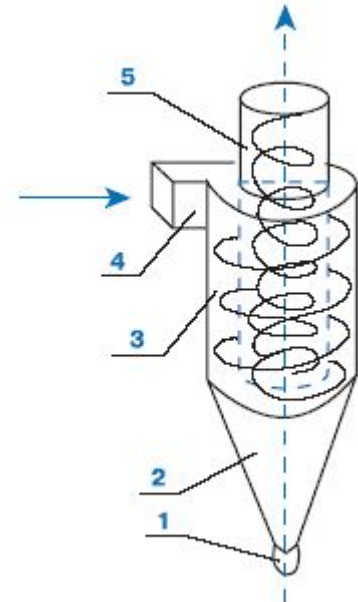
Скорость осаждения v_c под действием центробежной силы F_w , создающей скорость вращения потока вокруг неподвижной оси v_w больше, чем скорость V_c при гравитационном осаждении, в $(v_w/r \cdot g)$ раз (v_w (м/с));

r — радиус вращения потока, м.

Запыленный воздух вводится тангенциально во входной патрубок (4) циклона, представляющую собой закручивающий аппарат. Сформировавшийся здесь вращающийся поток опускается по кольцевому пространству, образованному цилиндрической частью циклона (3) и выхлопной трубой (5), в его конусную часть (2), а затем, продолжая вращаться, выходит из циклона через выхлопную трубу (1) — пылевыпускное устройство.

Скорость

$$v_c \approx \frac{d_p^2 \rho_p}{18 \mu_g} \cdot \frac{v_w^2}{r} = \tau_p \frac{v_w^2}{r}, \quad (3.10.)$$



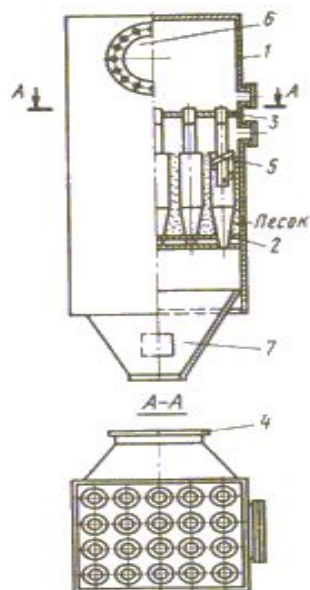
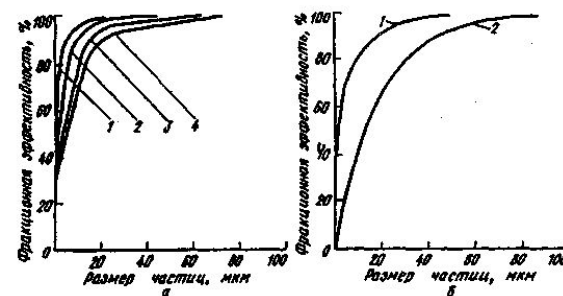
Достоинства: 1) отсутствие движущихся частей в аппарате; 2) надежность работы при температурах газов вплоть до 500°C (для работы при более высоких температурах циклоны изготавливают из специальных материалов); 3) возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями; 4) улавливание пыли в сухом виде; 5) почти постоянное гидравлическое сопротивление аппарата; 6) успешная работа при высоких давлениях газов; 7) простота изготовления; 8) сохранение высокой фракционной эффективности очистки при увеличении запыленности газов.

Недостатки: 1) высокое гидравлическое сопротивление: 1250—1500 Па; 2) плохое улавливание частиц размером <5 мкм; 3) невозможность использования для очистки газов от липких загрязнений.

Эффективность циклонов:

а — отечественные данные: 1 — циклон СК-ЦН-34;
2 — циклон ЦН-11; 3 — циклон ЦН-15; 4 — циклон ЦН-24;
б — зарубежные данные: 1 — высокоэффективные циклоны;
2 — высокопроизводительные циклоны.

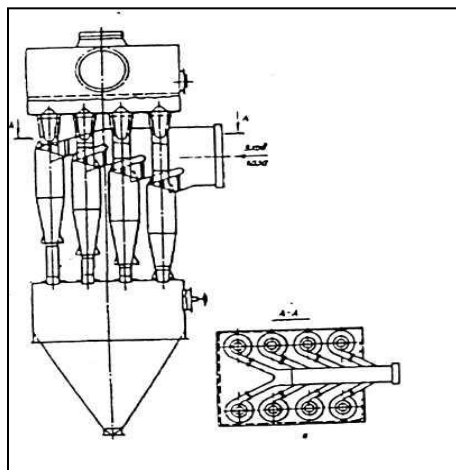
Поток запыленного воздуха входит в корпус циклона
обычно со скоростью 14—20 м/с.



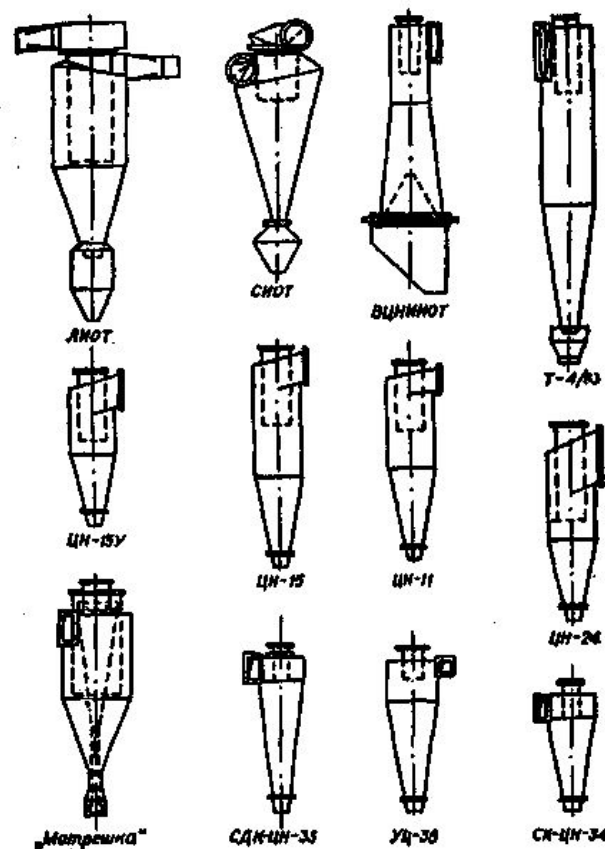
Батарейный циклон

- 1- корпус; 2,3 -решетки;
- 4-патрубок для ввода запыленного газа;
- 5- элементы ;
- 6 – патрубок для вывода очищенного газа;
- 7 –конусное днище

Групповая установка
циклонов ЦН.

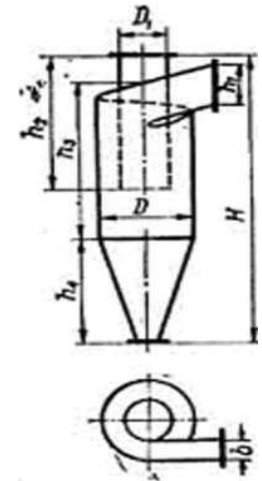


Типы циклонов



Оценочный расчет параметров циклонов НИИОГАЗ

Параметр циклона*	Тип циклона		
	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11
Диаметр выходной трубы, D_1	0,6	0,6	0,6
Ширина входного патрубка, b	0,26	0,26	0,26
Высота входного патрубка, h_1	1,11	0,66	0,48
Высота выходной трубы, h_2	2,11	1,74	1,56
Высота цилиндрической части, h_3	2,11	2,26	2,08
Высота конической части, h_4	1,75	2,0	2,0
Общая высота циклона, H	4,26	4,56	4,38
Коэффициент сопротивления, ξ	60	160	250



$$D = (V / 0,785 \cdot \omega_{\text{ц}})^{0,5},$$

Где D – диаметр циклона, м; $\omega_{\text{ц}}$ – условная скорость газа, м/с ; V – объемный расход загрязненного воздуха, м³/с.

$$\Delta p = \xi \cdot \omega_{\text{ц}}^2 \cdot \rho / 2,$$

Где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления циклона; $\Delta p / \rho = 740 \text{ м}^2/\text{с}^2$ (можно принять).

$\rho_{\text{г}} = \rho_0 \cdot T_0 / T_{\text{г}}$, где ρ_0 , $\rho_{\text{г}}$ – плотность воздуха при $T_0 = 0^\circ\text{C}$ ($\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$) и при T , соответственно

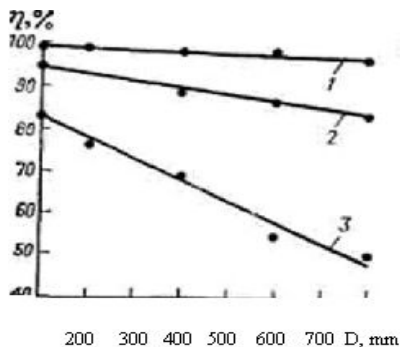


Рис. 2. Зависимость степени улавливания η от диаметра циклона D при различных диаметрах частиц пыли d , для пыли с $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$ при $\Delta p / \rho = 740 \text{ м}^2/\text{с}^2$. Кривая 1 – $d=15 \text{ мкм}$; кривая 2 – $d=10 \text{ мкм}$; кривая 3 – $d=5 \text{ мкм}$

Для расчета циклонов необходимы следующие данные:

- расход газа (воздуха), подлежащего очистки при рабочих условиях, V , м³/с;
- плотность газа при рабочих условиях ρ_r , кг/м³;
- динамическая вязкость газа при рабочей температуре μ_r , Па·с;
- дисперсный состав пыли, который задается двумя параметрами: d_m^m и $\lg \sigma_\gamma$: d_m^m – такой размер пыли, при котором количество частиц крупнее d_m^m равно количеству частиц мельче d_m^m ; $\lg \sigma_\gamma$ – среднее квадратическое отклонение в функции распределения частиц по размерам;
- запыленность газа $C_{вх}$, г/м³;
- плотность частиц пыли ρ_γ , кг/м³;
- требуемая эффективность очистки газа ϵ , %.

Расчет циклонов выполняется в такой последовательности:

1. Задаются типом циклона. По таблице определяют оптимальную скорость газа в аппаратуре $u_{\text{опт}}$.
2. Определяют необходимую площадь сечения циклона, м²: $S = V / u_{\text{опт}}$.
3. Определяют диаметр циклона, м, задаваясь количеством циклонов N : $D = (S / 0,785 \cdot N)^{0,5}$. Диаметр циклона округляют до табличных величин.
4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне. Скорость газа в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15%. $v = V / 0,785 \cdot n \cdot D^2$.
5. Принимают по таблицам коэффициент гидравлического сопротивления для данного циклона. Для циклонов НИИОГаз вносят табличные поправки.
6. Определяют потери давления в циклоне, Па, по формуле. Если потери ΔP приемлемы, переходят к определению эффективности очистки газа в циклоне.

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_r v^2}{2}$$

7. Приняв из таблиц значения d_{50}^m и $\lg \sigma_\gamma$ для табличных условий, определяют значения d_{50} при рабочих условиях (диаметре циклона, скорости потока, плотности пыли, динамической вязкости газа) по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^m \sqrt{(D / D_r)(\rho_{\gamma r} / \rho_\gamma)(\mu / \mu_r)(v_r / v)}$$

8. Определяют параметр x по формуле

$$x = \frac{\lg(d_m / d_{50})}{\lg^2 \sigma_\gamma + \lg^2 \sigma_\gamma}$$

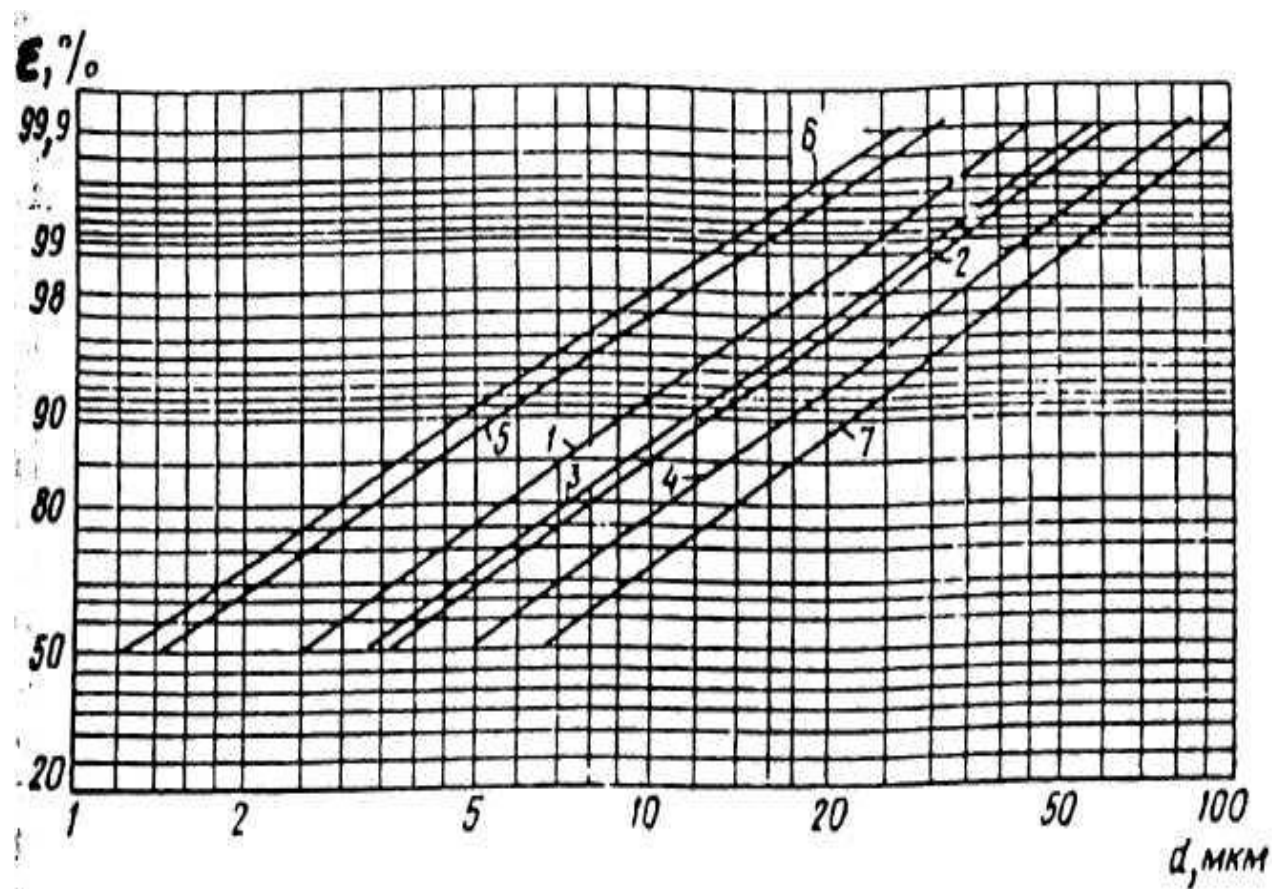
9. По таблицам определяют значение $\Phi(x)$, которое представляет собой эффективность очистки газа, выраженную в долях единицы. Полученное значение сравнивают с требуемым. Если оно меньше требуемого, принимают другой

циклон и рассчитывают его.

Сравнительная характеристика циклонов

Тип циклона	Коэффициент гидравлического сопротивления		Относительные величины				Металлоемкость при расходе воздуха 1000 м ³ /ч·м ²
	$\xi_{пл}$	ξ_{ex}	степень выноса пыли	поверхность циклона	диаметр циклона	высота циклона	
ЛИОТ	80	4,2	1,23	1,05	1,17	0,8	2,07
СИОТ	-	6,0	1,05	0,92	1,62	0,7	1,82
ВЦНИИОТ	-	6,7	0,93	1,05	1,25	0,91	2,22
ЦН-11	250	6,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,96
ЦН-15	160	7,6	1,05	0,85	0,90	0,93	1,67
ЦН-15у	170	8,2	1,26	0,66	0,92	0,70	1,29
ЦН-24	80	10,9	1,35	0,55	0,75	0,72	1,09
«Матрешка»	865	7,1	1,62	1,86	1,43	0,92	3,67
УЦ-38	1730	11,9	0,78	1,73	1,60	1,25	3,88
4 БЦШ	200	3,7	0,82	1,26	1,10	0,53	2,47
Т 4/630	345	10,1	0,96	1,85	1,14	1,57	3,64

Сравнительная характеристика циклонов



Фракционная эффективность циклонов ЦН НИИОГаз: 1 — ЦН — 11; 2 — ЦН — 15; 3 — ЦН — 15у; 4 — ЦН — 24; 5 — СДК — ЦН — 33; 6 — СК — ЦН — 34.

Ротационный дымосос-пылеуловитель

Запыленный газ поступает по спирали во всасывающий карман дымососа (5) и приобретает вращательное движение. Дополнительная подкрутка вращающегося газа производится крыльчаткой (6), которая расположена на одном валу с колесом дымососа (2). Крыльчатка выполняет две функции - обеспечивает рециркуляцию газа через выносной циклон и создает подкрутку основного потока газа. В результате повышается степень очистки. Уловленная пыль на периферии спиральной камеры через поперечную щель, соединенную с патрубком, поступает в циклон (8) для окончательного улавливания и сбора в бункере (12). После циклона очищенный газ направляется обратно в дымосос, т.е. осуществляется рециркуляция части газа - 12-20%. Очищенный газ из центральной зоны всасывающего кармана через направляющий аппарат поступает в рабочее колесо дымососа, после которого выбрасывается через дымовую трубу в атмосферу.

Очистка запыленных газов в ротационных пылеуловителях происходит в центробежном поле, создаваемом вращающимся рабочим колесом ротора.

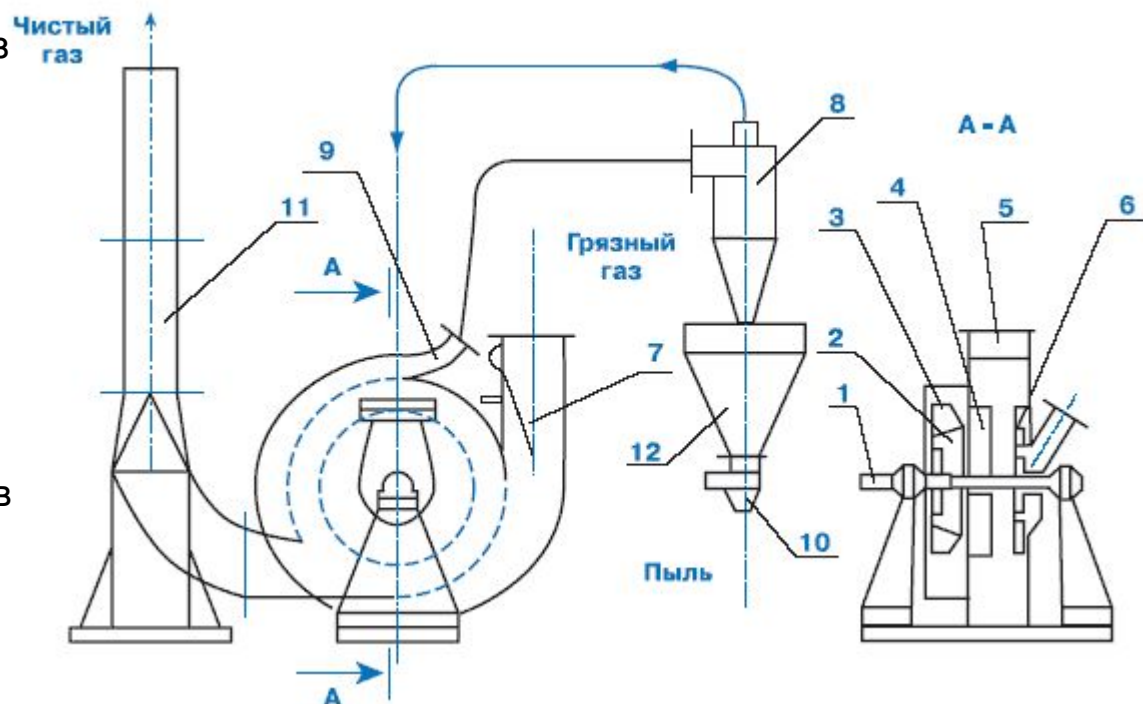


Схема дымососа-пылеуловителя.

1 – приводной вал, 2 – колесо, 3 – улитка чистого газа, 4 – патрубок, 5 – входная улитка, 6 – дополнительная крыльчатка, 7 – регулирующая заслонка, 8 – циклон, 9 – патрубок, 10 – пылевой затвор, 11 – дымовая труба, 12 – бункер.

Очистка газов в фильтрах

Характеристики воздушных фильтров

Таблица 4.4.

Тип	Вид	Класс фильтра по эффективности	Критерий качества	Номинальная воздушная нагрузка на входное сечение, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$	Сопротивление при номинальной воздушной нагрузке, Па		Пылеемкость при достижении указанного конечного сопротивления, $\text{г}/\text{м}^2$	Средняя начальная запыленность очищаемого воздуха, $\text{мг}/\text{м}^3$		Способ регенерации фильтров
					начальное	конечное, при указанной пылеемкости		допустимая	предельная	
Сухие пористые										
Волокнистые сухие	Ячейковые ФЯЛ-1, ФЯЛ-2	I	2	7000	100	300	900	0,05	0,15	Смена фильтрующего материала
	Ячейковые ЛАИК	I	По каталогам объединения «Союзмединструмент»					0,01	0,05	Смена фильтра
	Карманные ФЯКП	II	42	7000	40	300	1400	1	2	Очистка и смена фильтрующего материала
	Панельные ФР (ФР3, ФР4, ФР5)	III	79	10000	60	300	2300	0,10	0,50	Смена фильтрующего материала
Сетчатые	Рулонные ФРС (ФРПМ)	III		10000	30	300		4	3	Очистка запыленного материала (пневматически)
	Ячейковые ФЯВБ	III	78	7000	60	150	2400	1	3	Очистка фильтрующего материала промывкой в воде
Губчатые сухие	Ячейковые ФЯПБ	III	77	7000	70	150	350	0,3	0,5	То же, или пневматически
Смоченные пористые										
Волокнистые, замасленные	Рулонные ФРУ*	III	0	10000	60	300	670	0,5	1	Смена фильтрующего материала
	Ячейковые ФЯУБ	III	56	7000	40	150	570	0,3	0,5	То же
	Ячейковые ФЯУК	III	56	7000	40	150	570	0,3	0,5	Смена вкладыша
Масляные	Самоочищающиеся Кд (КдМ, Кт, КтЦ, ФС)	III	0	7000	100	10	15**	0,3	0,5	Непрерывная промывка в масле фильтрующих элементов
	Ячейковые ФЯРБ	III	68	7000	6	15	2400	1	3	Промывка фильтра в содовом растворе с последующим замасливанием
	Ячейковые ФЯВ	III	68	7000	60	150	2600	1	3	То же
Электрические										
Двухэлектродные промывные	Агрегатные ФЭК*** и ФЭ-2М	II	34	10000	20	20	1500	2	10	Промывка водой
* Выпуск фильтров прекращен. ** В процентах от массы масла, запитого в ванну фильтра. *** Выпускаются без противоуносного фильтра.										

* Выпуск фильтров прекращен. ** В процентах от массы масла, запитого в ванну фильтра. *** Выпускаются без противоуносного фильтра.

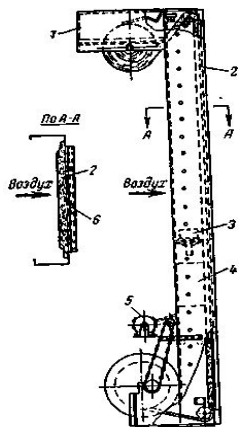
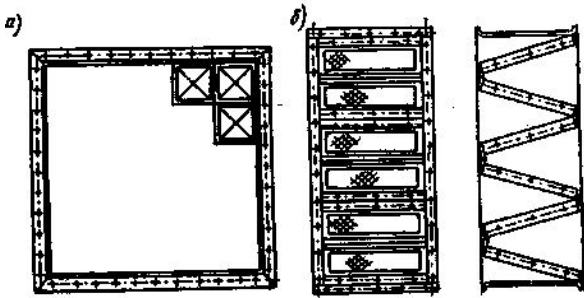
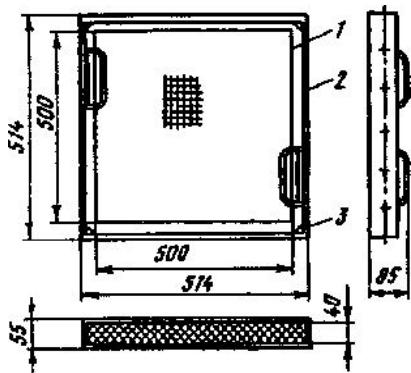
Основными характеристиками фильтров являются эффективность, η , в процентах или долях единицы; начальное сопротивление, ΔP , в Па; пылеемкость, G , в $\text{кг}/\text{м}^2$.

Ячейковый масляный фильтр Фя:

- 1 — ячейка;
- 2 — установочная рамка;
- 3 — защелка.

Панели для установки фильтров типа Фя: а — плоская; б — V-образная/

ФяР — металлические сетки;
ФяВ — винипластовые;
ФяП — пенополиуретановые;
ФяУ — стекловолоконные

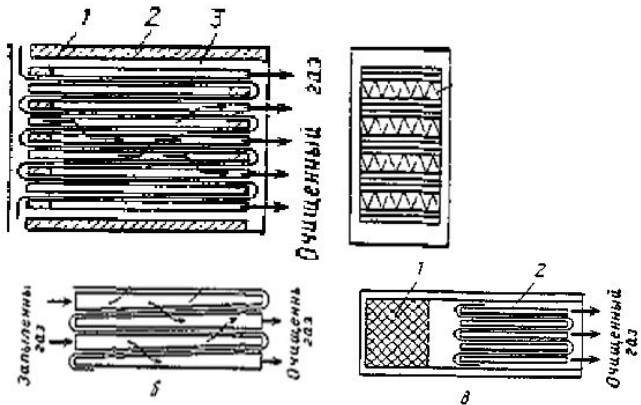


Тип фильтра	Заполнитель	Начальное / конечное сопротивление, Па	Пылеемкость, г/м ²	Масса, кг
ФяР	Гофрированные металлические сетки	40/300	1500	7,9
ФяВ	Гофрированные винипластовые сетки	50/300	2000	4,0
ФяУ	Упругое стекловолокно	40/300	400	3,0
ФяП	Модифицированный пенополиуретан	60/300	200	3,3

Рулонный автоматический фильтр ФРУ: 1 — камера для чистого рулона; 2 — мат; 3 — предохранитель, предотвращающий выход мата из пазов; 4 — блок управления; 5 — двигатель с редуктором; 6 — опорная сетка обеспечивает надежную эксплуатацию фильтров, снаряженных материалами ФП. .

Фильтры Петрянова (ФП), в зависимости от того, из какого полимера они изготовлены, стойки к различным химическим веществам, к высоким температурам — до 250—270°С.

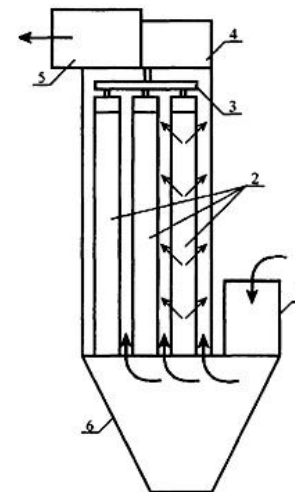
Волокна ФП имеют вид ленты, ширина которой в 3—5 раз больше толщины. Материалы ФПП обычно обозначают по размеру волокон, а именно по ширине: например, ФПП-15, ФПП-25, ФПП-70 — означает фильтр Петрянова из перхлорвиниловых волокон шириной волокон соответственно 1,5; 2,5; 7,0 мкм.



Рукавные фильтры.

В рукавных фильтрах очистка воздуха от пыли производится путем его фильтрации через ткань, сшитую в виде отдельных рукавов и встроенную в герметичный корпус фильтра. Очищаемый воздух отсасывается из фильтра и выбрасывается в атмосферу (см.схему). Рукава периодически очищаются от осаждающейся на них пыли путем встряхивания с помощью специального механизма и обратной продувки.

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



При невысоких концентрациях пыли в очищаемых газах рукавные фильтры являются единственной ступенью очистки, а при высоких концентрациях перед ними устанавливают циклоны. При работе в нормальном режиме сопротивление нагнетательных фильтров составляет до 2 кПа, всасывающих - до 6 кПа.

Методы регенерации тканевых фильтров:

а) с *импульсной продувкой* каждого каркасного рукава (ФРКИ и др.). Регенерация осуществляется под действием импульсов сжатого воздуха и без отключения секций;

б) с *комбинированным устройством регенерации* - механическим встряхиванием и обратной посекционной продувкой (ФРУ и др.)

в) с *обратной посекционной продувкой* (ФР и др.)

г) с *регенерацией механическим встряхиванием* (ФР-6П и др.). Регенерация рукавов осуществляется вручную или с помощью электромеханического устройства.

Расчет рукавных фильтров

Расчет рукавных фильтров производят в следующем порядке.

- Определяют необходимую площадь фильтрации, m^2 , по формуле:

$$S = Q / q + S_c$$

где Q - расход очищаемого воздуха, $m^3/ч$; q - удельная воздушная нагрузка, $m^3/ m^2.ч$; S_c - площадь ткани регенерируемой секции, m^2 .

- Находят требуемое число рукавных фильтров по формуле:

$$n = S / S_1$$

где S_1 - суммарная площадь ткани рукавов в одном фильтре, m^2 .

- Гидравлическое сопротивление фильтров определяют по формуле:

$$P_{\phi} = BQ_{\phi}^n,$$

где B - коэффициент, равный 0,13-0,15 (большее значение принимается для более дисперсной пыли); Q_{ϕ} - расход воздуха на 1 m^2 ткани рукавов, $m^3/ч$; n - принимается равным 1,2-1,3 (меньшее значение принимается для более дисперсной пыли).

Периоды работы фильтра между регенерацией, встряхиванием или продувкой ориентировочно определяют в зависимости от входной запыленности газов:

Входная запыленность, $г/м^3$	5	10	20
Периоды между регенерацией, мин	10-12	8-9	4-7

Технические показатели рукавных фильтров

Свойства чистых фильтровальных тканей характеризуются **воздухопроницаемостью** — расходом воздуха при определенном перепаде давления ΔP , обычно равном 49 Па. **Воздухопроницаемость** выражается $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$; численно она равна скорости фильтрации (в м/мин) при $\Delta P = 49$ Па. **Сопротивление** незапыленных тканей при нагрузках 0,3 — 2 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ обычно составляет $\Delta P=5\text{—}40$ Па.

Фильтр	Поверхность фильтрации, м^2		Число элементов, шт			Диаметр рукава, мм	Длина рукава, мм	Масса фильтра, кг	Мощность двигателя привода, кВт	
	общая	рабочая	секции	рукавов в секции	рукавов в фильтре				механизма встряхивания	шнека
ФВК-30	30	15	2	18	36	135	2060	1053	0,6	0,6
ФВК-60	60	45	4	18	72	135	2060	1682	0,6	0,6
ФВК-90	90	75	6	18	108	135	2060	2300	0,6	0,6
ФРМИ-6	126	105	6	10	60	135	2060	5776	1,7	1
ФРМИ-8	168	147	8	10	80	135	2060	7147	1,7	1
ФРМИ-9	210	189	10	10	100	135	2060	8633	1,7	1
ФВВ-45	45	30	3	18	54	135	2090	1735	0,6	-
ФВВ-60	60	45	4	18	72	135	2090	2135	0,6	-
ФВВ-90	90	75	6	18	108	135	2090	2935	0,6	-
ФТНС-4	12	12	1	4	4	385	2500	49500	-	-
ФТНС-8	24	24	2	4	8	385	2400	990	-	-
ФТНС-12	36	36	3	4	12	385	2500	1485	-	-

Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Поверхность фильтрации, м^2	30	60	90	180	360
Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Число рукавов	36	72	108	144	288
Высота рукава, м	2	2	2	3	2
Число электромагнитных клапанов	6	12	18	24	48
Число секций	1	2	3	4	8
Наибольший расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	10	20	30	60	120
Габаритные размеры, мм	1458x2060x x3620	2820x2060x x3620	4140x2060x x3620	5480x2060x x4620	5850x4370x x4880
Масса, кг	1300	2500	2500	5500	10500

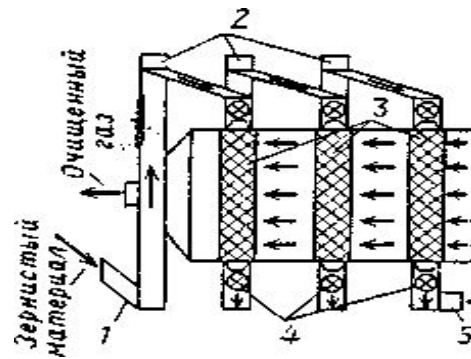
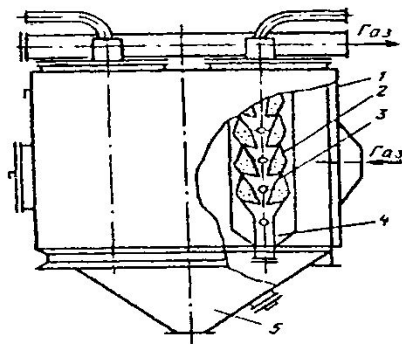
Зернистые фильтры

Достоинства: доступность материала, возможность работать при высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживать большие механические нагрузки и перепады давлений, а также резкие изменения температуры. Различают насадочные (насыпные) и жесткие зернистые фильтры.

В **насыпных** фильтрах в качестве насадки используется песок, галька, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, крошка резины, пластмассы, графит и др.

По мере накопления пыли в порах насадки эффективность улавливания возрастает. При увеличении сопротивления до предела производят рыхление слоя. После нескольких циклов рыхления насадку промывают или заменяют.

Фильтры имеют насадку с размером зерен 0,2—2 мм. Воздух направляется сверху вниз. При концентрации пыли на входе в фильтр 1—20 мг/м³ расход воздуха составляет 2,5—17,0 м³/(м²·мин); начальное сопротивление от 50 до 200 Па. Высота слоя на сетках находится в пределах от 0,1 до 0,15 м



Зернистые жесткие фильтры. В них зерна прочно связаны друг с другом в результате спекания, прессования или склеивания и образуют прочную неподвижную систему. К ним относятся: пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы. **Достоинства:** устойчивы к высокой температуре, коррозии и механическим нагрузкам и применяются для фильтрования сжатых газов. **Недостатки:** высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление и трудности регенерации, которую проводят четырьмя способами: 1) продуванием воздухом в обратном направлении; 2) пропусканием жидких растворов в обратном направлении; 3) пропусканием горячего пара; 4) простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Основными видами мокрых пылеуловителей являются:

- полые промыватели (полые скрубберы и др.);
- насадочные скрубберы;
- барботажные и пенные аппараты;
- аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны);
- аппараты центробежного действия;
- скоростные аппараты (СПУ Вентури).

Достоинства:

- 1) небольшая стоимость и более высокая эффективность улавливания взвешенных частиц;
- 2) возможность использования для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм;
- 3) возможность очистки газа при высокой температуре и повышенной влажности, а также при опасности возгораний и взрывов очищенных газов и уловленной пыли;
- 4) возможность наряду с пылями одновременно улавливать парообразные и газообразные компоненты.

Недостатки:

- 1) выделение уловленной пыли в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод, т. е. с удорожанием процесса;
- 2) возможность уноса капель жидкости и осаждения их с пылью в газоходах и дымососах;
- 3) необходимость защиты аппаратуры антикоррозионными материалами при очистке агрессивных газов.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Скрубберы — мокрые пылеуловители с корпусом в виде вертикальной колонны, полые или с насадкой. В полном скруббере скорость пылегазового потока находится обычно в пределах 0,8—1,2 м/с.

Для распыления воды применяют форсунки различных типов, например, эвольвентные ВТИ. Диаметр зоны орошения одной форсунки принимают в пределах 500 мм. Из этих условий определяют число форсунок, устанавливаемых в скруббере.

Эффективность очистки в скруббере зависит от дисперсности пыли, размера капель, скорости их падения, расхода жидкости, скорости пылегазового потока. В полном скруббере удельный расход жидкости находится в пределах 2—2,5 л/м³, гидравлическое сопротивление 220—250 Па.

Степень очистки 92-90%. Для частиц размером $d > 10 \text{ мкм}$.

Схема форсунок: а — эвольвентная форсунка; б — форсунка ВТИ

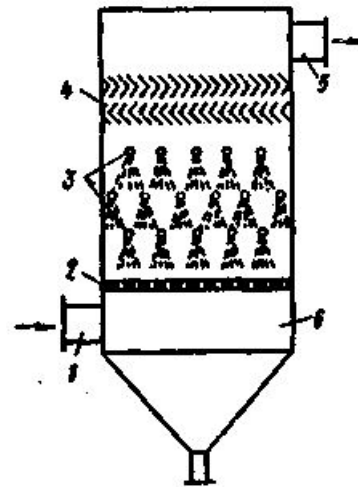
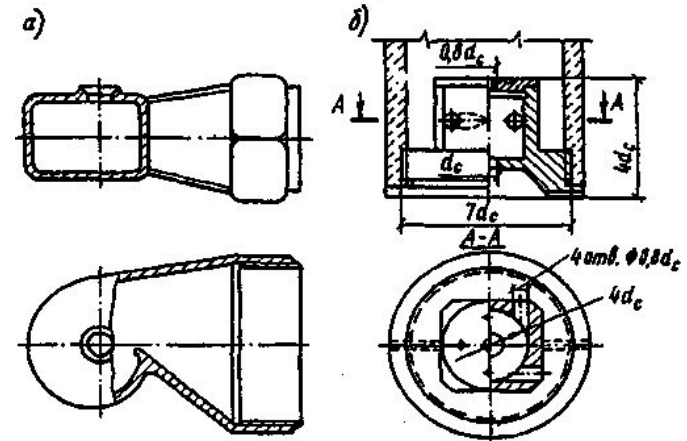


Схема полного скруббера:

- 1 — входной патрубок;
- 2 — газораспределительная решетка;
- 3 — форсунки;
- 4 — каплеуловитель;
- 5 — выходной патрубок;
- 6 — бункер



Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Если очистка газа сопровождается его охлаждением применяют насадочные скрубберы

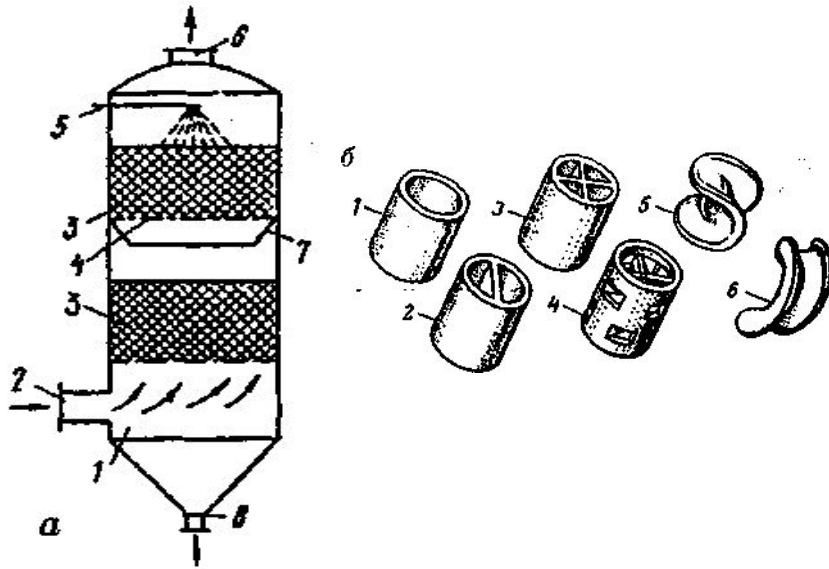


Схема насадочного скруббера:

а — насадочный скруббер: 1 — корпус скруббера; 2 — входной патрубок; 3 — насадка; 4 — решетка для насадки; 5 — трубопровод для подачи жидкости; 6 — выходной патрубок; 7 — направляющий конус для жидкости; 8 — вывода шлама

б — типы насадок: 1 — кольца Рашига; 2 — кольца с перегородкой; 3 — кольца с крестообразной перегородкой; 4 — кольца Пауля; 5 — седла; 6 — Инталокс.

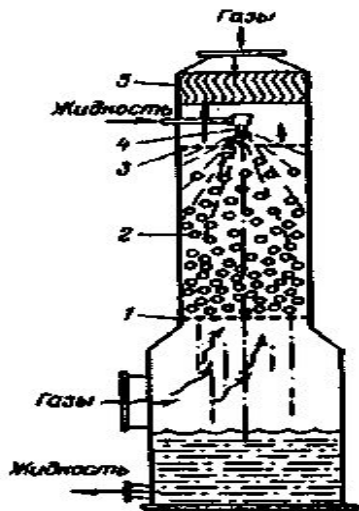


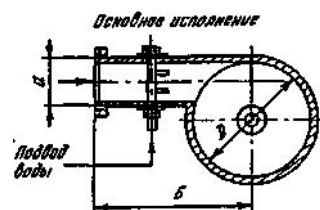
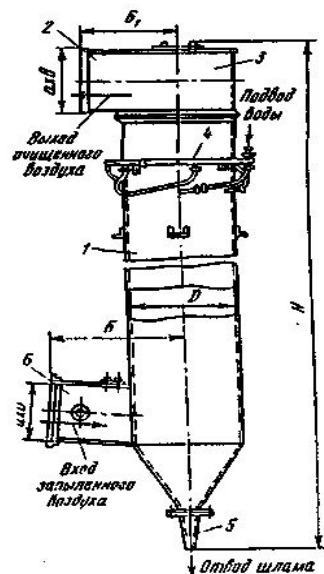
Схема скруббера с насадкой из полых шаров: 1 — опорная тарелка; 2 — шаровая насадка; 3 — отражательная тарелка; 4 — ороситель, 5 — брызгоуловитель.

Шары (полиэтилен, полистирол, стекла) под действием газового потока постоянно колеблются.

Эффективность улавливания достигает 99 % для частиц более 2 мкм.

Недостаток скрубберов — забивание насадки плохо растворимой пылью.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях Центробежные скрубберы и циклоны с водяной пленкой ЦВП



Циклон-промыватель СИОТ

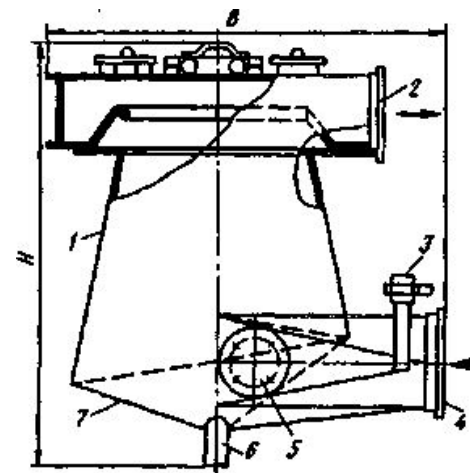
1 — корпус; 2 — патрубок для выхода воздуха; 3 — водопроводящая труба; 4 — патрубок для входа воздуха; 5 — смотровые люки; 6 — спускной патрубок; 7 — коническая часть циклона.

Запыленный поток поступает в нижнюю часть аппарата со скоростью 15—20 м/с. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата под действием воздушного потока. Циклоны-промыватели СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2,5—3 раза меньше, чем габаритные размеры скруббера, эффективность тех и других аппаратов примерно одинакова.

Циклон с водяной пленкой ЦВП:

1 — корпус; 2 — выходной патрубок; 3 — улитка; 4 — коллектор; 5 — конусный патрубок (гидрозатвор); 6 — входной патрубок.

Запыленный воздух подводится по касательной к корпусу со скоростью около 20 м/с. Поверхность стенок аппарата орошается водой с помощью сопел, расположенных равномерно в верхней части циклона. Сопла находятся также во входном патрубке и предназначены для смыва отложений пыли. Давление воды ед соплами 2—2,5 Па. Удельный расход воды — 0,1—0,3 л/м³. Общая эффективность ЦВП — до 90 %, фракционная эффективность улавливания частиц размером 5—10 мкм до 90—95 %.



Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Скоростные пылеуловители с трубой Вентури

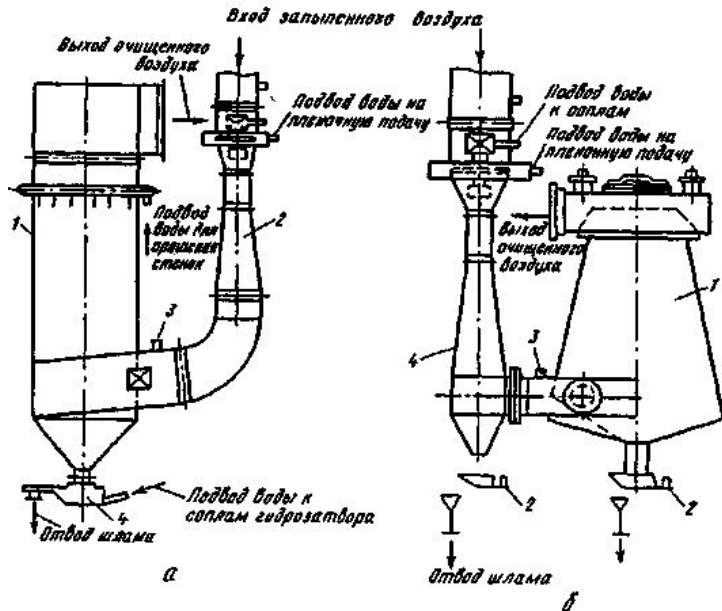


Схема компоновок трубы Вентури:

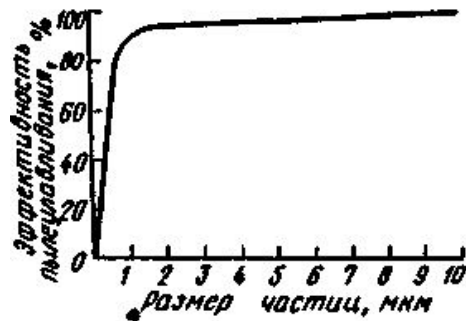
а — с циклоном типа ЦВП: 1 — циклон ЦВП; 2 — труба-коагулятор; 3 — лючок для замеров; 4 — гидрозатвор;

б — с промывателем СИОТ: 1 — промыватель СИОТ; 2 — гидрозатвор; 3 — лючок для замеров; 4 — труба-коагулятор.

Скорость в горловине трубы обычно 60—120 м/с, а в некоторых установках до 20—30 м/с, что вызывает большую потерю давления — обычно около 2000 — 3000 Па, а иногда до 6000 Па.

СПУ Вентури применяют для улавливания пылей в весьма широком диапазоне — 0,05—100 г/м³.

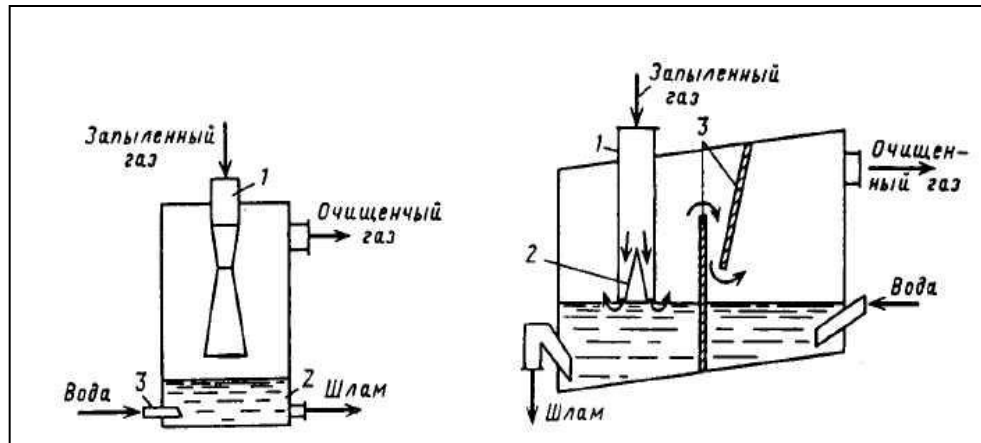
Расход воды, распыляемой в СПУ, колеблется в широких пределах и составляет от 1 до 80 л на 100 м³ очищаемого воздуха. Для распыления воды перед форсунками необходим напор 200—300 кПа. Преимуществом СПУ Вентури является простота устройства и малые габаритные размеры установки. Трубу Вентури отливают из чугуна или сваривают из листовой стали.



Эффективность очистки в пылеулавливающей установке с трубой Вентури.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Пылеуловители ударно-инерционного действия

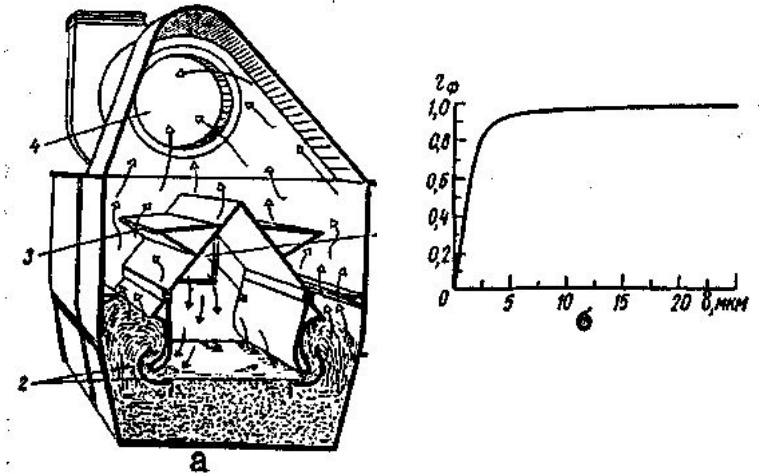


а)

б)

а) Пылеуловитель ударно-инерционного действия: 1 — входной патрубок; 2 — резервуар с жидкостью; 3 — сопло.

б) Скруббер Дойля (1 — труба; 2 — конус; 3 — перегородки). Скорость выхода газа в конусе равна 35—55 м/с. Образуется завеса из капель. Гидравлическое сопротивление газопромывателя от 500 до 4000 Па, удельный расход жидкости составляет 0,13 л/м³.



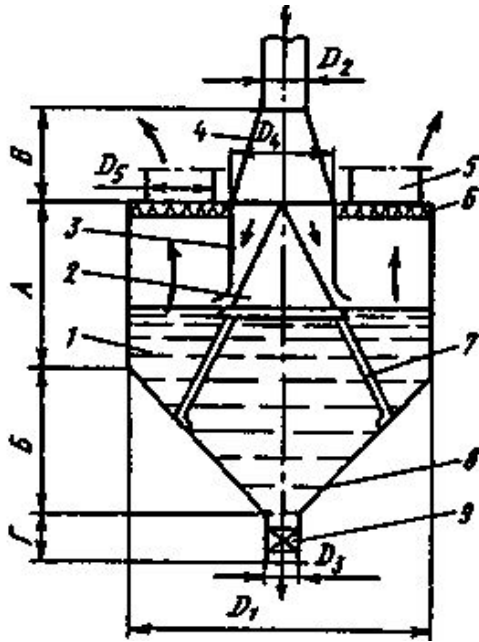
Ротоклон типа N:

а — схема ротоклона: 1 — устройство для подвода газов; 2 — направляющие лопатки; 3 — каплеотстойник; 4 — устройство для отвода газов; б — график фракционной эффективности.

Скорость воздуха на входе 15—16 м/с. Расход воды невелик, он не превышает 0,03 л/м³. Гидравлическое сопротивление аппарата составляет 1000—1500 Па. Эффективность очистки находилась в пределах 89,0—99,4 %.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Мокрые пылеуловители РИСИ (РГСУ)

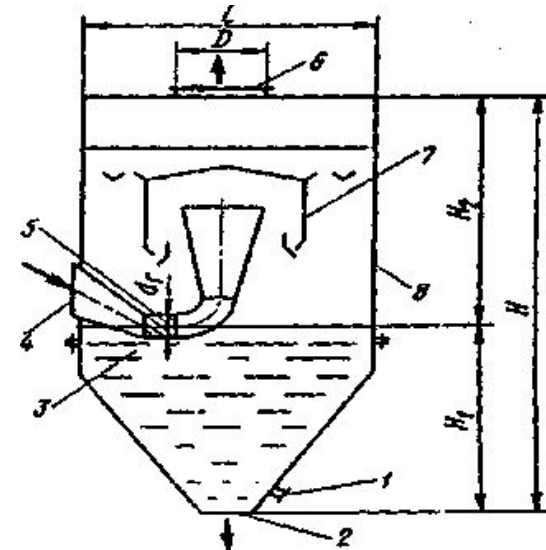


Мокрый пылеуловитель РИСИ: 1 — цилиндрическая камера; 2 — конус-рассекатель; 3 — отражатель; 4 — диффузор; 5 — патрубок для отвода воздуха; 6 — каплеуловитель; 7 — лапки для крепления; 8 — бункер конической формы; 9 — патрубок для стока шлама.

Мокрый пылеуловитель применяют на второй ступени очистки и устанавливают за вентилятором, т. е. на нагнетательной линии вентилятора.

Производительность 600—10000 м³/ч.

Степень очистки воздуха в мокром пылеуловителе составляет 99,9 %, гидравлическое сопротивление — 400 Па. Расход воды 1-5 л/час.



Пенно-капельный пылеуловитель РИСИ.

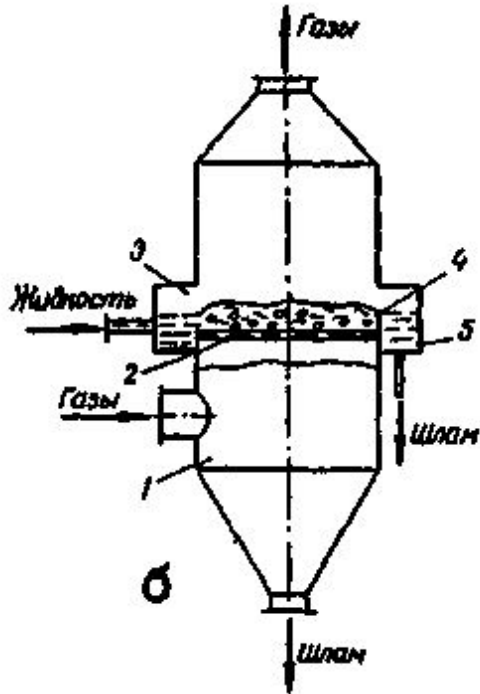
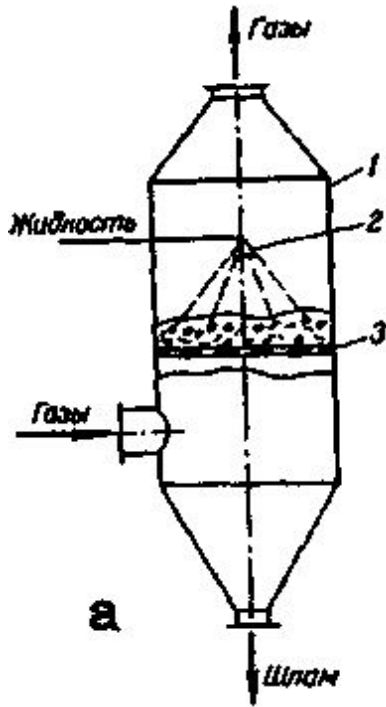
1 — патрубок для взбучивания шлама; 2 — отверстие для выпуска шлама; 3-горловина дюзы; 4 — отверстие для впуска запыленного воздуха; 5 — прорези в горловине; 6 — отверстие для выхода очищенного воздуха; 7 — система каплеотбойников; 8 — корпус каплеуловителя.

Производительность 2-11 тыс.м³/час.

Начальной концентрации пыли в воздухе 500 мг/м³ - время работы пылеуловителя без замены воды около 100 ч. Гидравлическое сопротивление аппарата 910—1720 Па.

Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Тарельчатые газопромыватели (барботажные, пенные).



Схемы пенных пылеуловителей;

а — пенный пылеуловитель с провальной тарелкой: 1 — корпус; 2 — оросительное устройство; 3 — тарелка;

б — пенный пылеуловитель с переливной тарелкой: 1 — корпус; 2 — тарелка; 3 — приемная коробка; 4 — порог; 5 — сливная коробка.

Диаметр отверстий 3—8 мм. Живое сечение 0,15—0,25 м²/м².

Слой водяной пены образуется при скорости воздуха около 1-1,5 м/с на поверхности решетки.

Слой пены целесообразно поддерживать до 100 мм.

Концентрация пыли в очищаемом газе более 10 г/м³.

Расход воды в пенном пылеуловителе с провальной тарелкой 0,8 — 1,8 л/м³, а в пенном пылеуловителе с переливной тарелкой 0,4—0,6 л/м³.

Очистка газов в электрофильтрах.

Если в электрическом поле между электродами создать определенное напряжение, то носители зарядов, т. е. ионы и электроны, получают значительное ускорение, и при их столкновении с молекулами происходит ионизация последних.

В результате происходит превращение нейтральной молекулы в положительный ион и свободные электроны. Этот процесс называется ударной ионизацией.

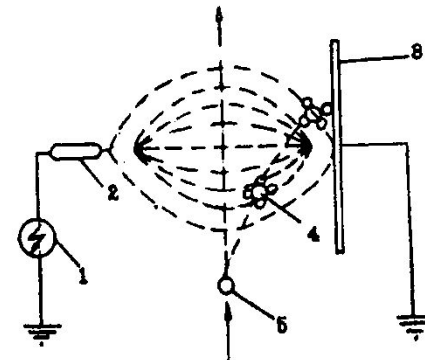
Часть межэлектродного пространства, прилегающая к **коронирующему** электроду, в которой происходит ударная ионизация, называется **коронирующей** областью. Остальная часть межэлектродного пространства, т. е. между коронирующим и **осадительным** электродами- называется внешней областью.

Вокруг коронирующего электрода наблюдается голубовато-фиолетовое свечение (корона) и тихое потрескивание. При коронном разряде происходит выделение озона и оксидов азота.

Схема электрического осаждения пыли:

1 - источник электропитания; 2 - коронирующий электрод; 3 - осадительный электрод; 4 - ион газа; 5 - частица пыли.

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r^2}$$



Коронный разряд возникает при определенной напряженности поля. Эта величина называется критической напряженностью и для отрицательной полярности электрода может быть определена по эмпирической формуле Пика.

$$E_{кр} = 3,04(\beta + 0,0311\sqrt{\beta/r})10^6$$

$$\beta = \frac{B \pm p_r(273 + 20)}{1,013 \cdot 10^5 (273 + t)},$$

Где β -отношение плотности газа в рабочих условиях к плотности газа в стандартных условиях ($t = 200$ С; $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па); B — барометрическое давление, Па; p_r — величина разрежения или абсолютного давления газов, Па; t — температура газов, °С; r — радиус коронирующего электрода.

Очистка газов в электрофильтрах.

Предельный заряд частиц диаметром более 1 мкм определяют по формуле

$$q_{пред} = ne = 0,19 \cdot 10^{-9} r^2 E$$

где n- число элементарных зарядов;

e- величина элементарного заряда, равная $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

r- радиус частицы, м;

E- напряженность электрического поля, В/м.

Скорость движения заряженных частиц пыли диаметром более 1 мкм в электрическом поле, м/с, можно

определить по формуле

$$v_x = \frac{10^{-11} E^2 r}{\mu_r}, \quad (3.21.)$$

где E — напряженность электрического поля, В/м;

r — радиус частицы, м;

μ_r — динамическая вязкость газа (воздуха), Па • с. Скорость движения заряженных частиц пыли диаметром менее 1 мкм в электростатическом поле, м/с, может быть определена по формуле

$$v_x = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu_r}, \quad (3.22.)$$

Степень эффективности очистки в электрофильтре может быть определена по формуле полученной теоретическим путем

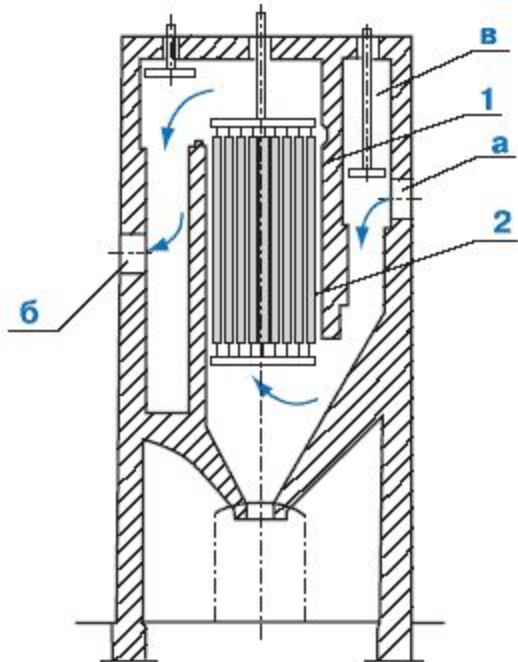
$$\eta = 1 - \exp(-v_x f), \quad (3.23.)$$

V_d - скорость движения (дрейфа) заряженных частиц к осадительному электроду, м/с;

f — удельная поверхность осаждения, т. е. поверхность осадительных электродов, приходящаяся на 1 м³/с очищаемого газа (воздуха), м².

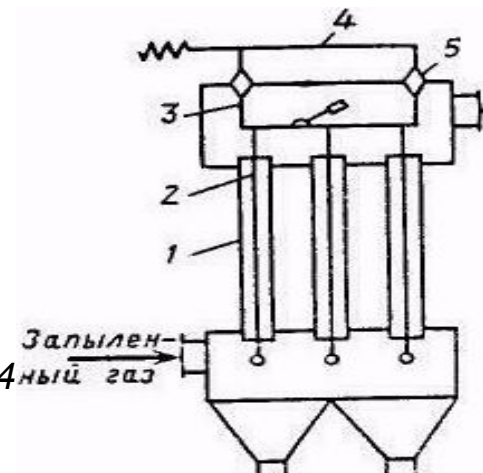
Очистка газов в электрофильтрах.

По конструктивным признакам электрофильтры различают по разным признакам:
по направлению хода газов – на вертикальные и горизонтальные;
по форме осадительных электродов – с пластинчатыми, С-образными, трубчатыми и шестигранными электродами;
по форме коронирующих электродов – с игольчатыми, круглого или штыкового сечения;
по числу последовательно расположенных электрических полей – на одно- и многопольные;
по расположению зон зарядки и осаждения на одно- и двухзонные;
по числу параллельно работающих секций – на одно- и многосекционные .
Наиболее распространены электрофильтры с пластинчатыми и трубчатыми электродами. В пластинчатых электрофильтрах между осадительными пластинчатыми электродами натянуты проволоочные коронирующие. В трубчатых электрофильтрах осадительные электроды представляют собой цилиндры (трубки), внутри которых по оси расположены коронирующие электроды.



*Пластинчатый
электрофильтр:
1 – коронирующие
электроды; 2 –
пластинчатые
осадительные
электроды; а –
входной газопровод; б
– выходной
газопровод; в – камера.*

*Трубчатый
электрофильтр:
1 –
осадительный
электрод; 2 –
коронирующий
электрод; 3 – рама;
4 – встряхивающее
устройство; 5 –
изолятор.*



Очистка газов в электрофилтрах.

Идеальные кривые зависимости степени улавливания аэрозолей в электрофилтре от размеров частиц.

Кривые на этом рисунке отвечают разным значениям произведения pEE_0 , где p — коэффициент, для непроводящих частиц $p = 1,5 \div 2$, для проводящих частиц $p=3$;

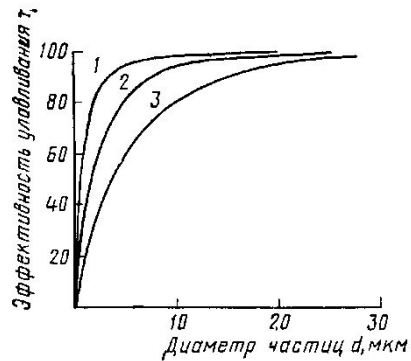
E — напряженность электрического поля;

E_0 — критическое значение напряженности поля.

1 — $pEE_0 = 160$;

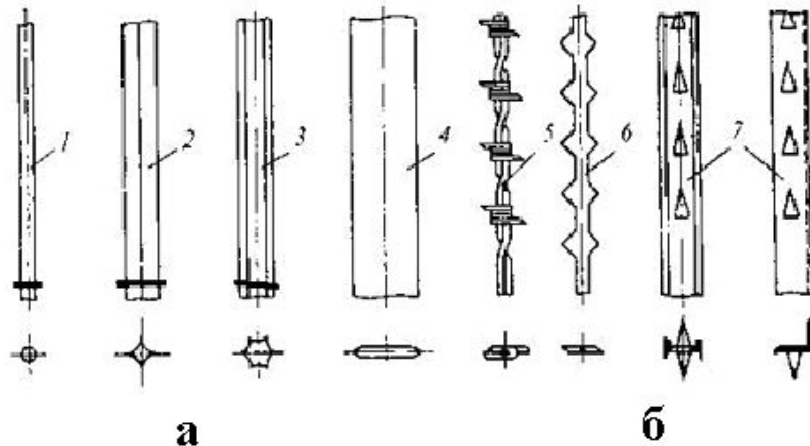
2 — $pEE_0 = 80$;

3 — $pEE_0 = 40$;



Конструкция коронирующих электродов

Коронирующие электроды могут быть гладкими или иметь фиксированные точки разряда. Гладкие электроды могут быть круглого, квадратного, звездообразного или ленточного сечений. Коронирующие электроды с фиксированными точками разряда снабжены иглами, на которых и возникает коронный разряд. Меняя шаг игл и их высоту, можно получить определенное значение тока короны. Чаще всего применяют электроды из ленты со штампованными зубцами или шипами.

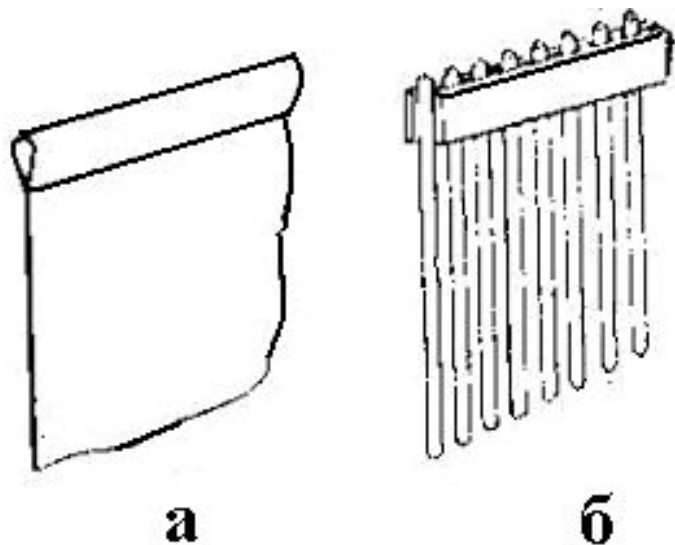


Различные типы коронирующих электродов
а — гладкие; б — с фиксированными точками разряда; 1 — круглого сечения; 2 — штыкового сечения; 3 — звездообразный; 4 — ленточный; 5 — колючая проволока; 6 — пилообразный; 7 — игольчатый.

Очистка газов в электрофильтрах.

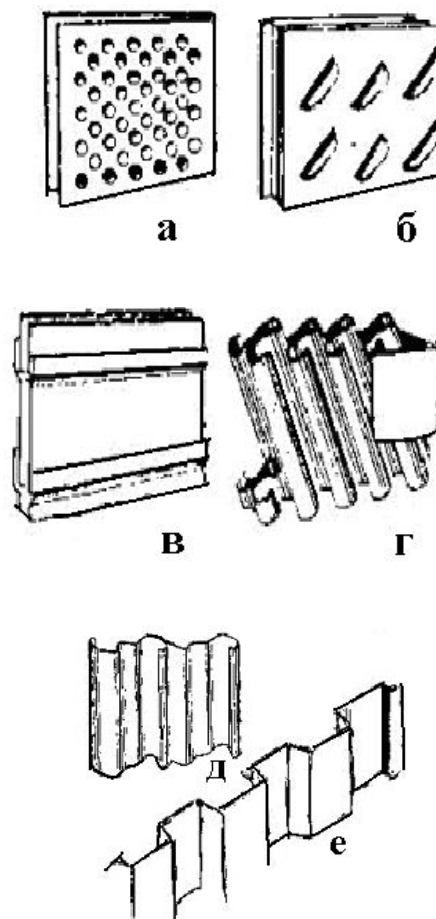
Конструкция осадительных электродов

Осадительные электроды трубчатых электрофильтров чаще всего выполняют из труб круглого сечения диаметром 200 – 3000 мм, длиной 3 – 5 м. Иногда применяют и трубы квадратного или шестиугольного сечений. Листовые пластинчатые осадительные электроды применяют только в мокрых электрофильтрах, так как в сухих при удалении пыли с электродов встряхиванием они дают значительный вторичный унос. Прутковые электроды применяют в условиях высоких температур, так как они меньше подвержены короблению. К электродам от выпрямителей подводится постоянный ток с напряжением положительной полярности 13 и 6,5 кВ, сила тока до 30 мА.



Плоские осадительные электроды
а – листовые; б – прутковые.

Различные типы осадительных электродов сложного профиля:
а – перфорированные;
б – карманные;
в – тюльпанообразные;
г – желобчатые;
д, е – открытого профиля.



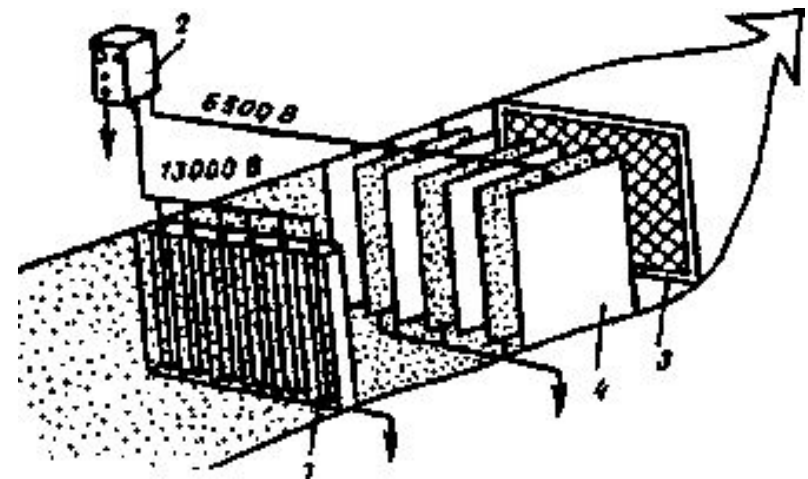
Наибольшее распространение получили электроды открытого профиля (д, е), характеризующиеся относительной простотой изготовления, достаточной жесткостью и заметно меньшим расходом металла.

Очистка газов в электрофильтрах.

Электрический воздушный фильтр — двухзонный. Вначале поток воздуха, подвергающегося очистке, проходит зону 1, которая представляет собой решетку из металлических пластин с натянутыми между ними коронирующими электродами из проволоки. К электродам подведен постоянный ток напряжением 13—15 кВ положительного знака от выпрямителя 2. Получив электрический заряд при прохождении ионизационной зоны, пылевые частицы в потоке воздуха направляются в осадительную зону 3. Она представляет собой пакет металлических пластин, расположенных параллельно друг другу на расстоянии 8—12 мм. К каждой второй пластине подведен ток напряжением 6,5—7,5 кВ положительного знака. Пыль осаждается на заземленных пластинах, к которым ток не подведен.

Вокруг коронирующего электрода происходит электрический разряд, сопровождающийся свечением («корона»). В результате электрических разрядов происходит выделение атомарного кислорода (одноатомные молекулы), образование озона O_3 , а также оксидов азота. При напряжении, применяемом в воздушных фильтрах, и при наличии в нем двух зон озон и оксиды азота выделяются в небольших количествах и опасности для людей не представляют.

Схема двухзонного электрического фильтра
1 — зона ионизации; 2 — источник питания; 3 —
противоуносной пористый фильтр; 4 —
осадительная зона; 5 — коронирующие электроды;
6 — первый каскад; 7 — второй каскад



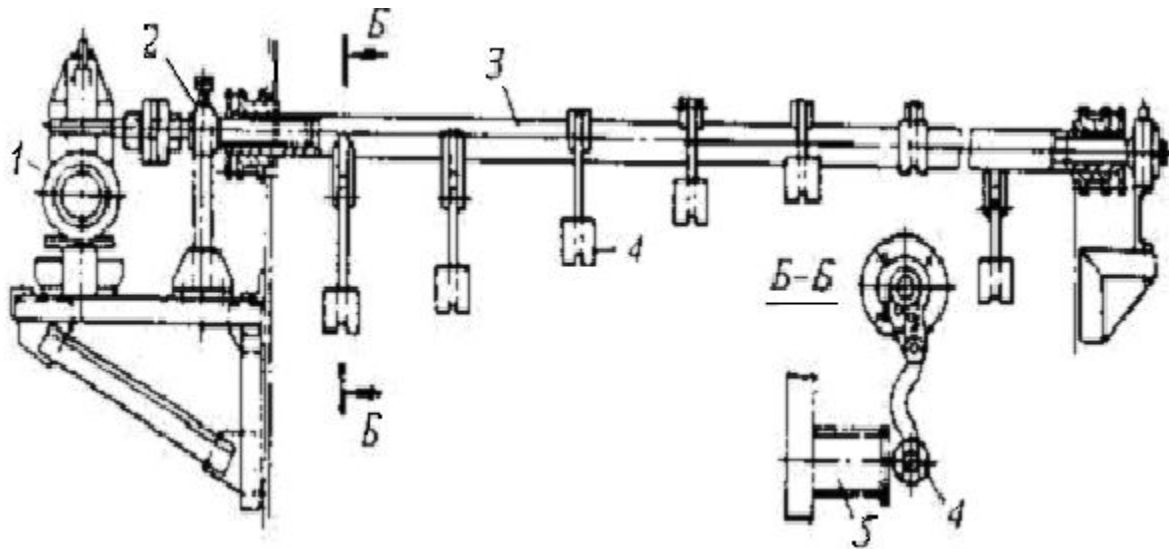
Очистка газов в электрофильтрах.

Пыль с электродов может удаляться сухим и мокрым способами.

Сухое удаление пыли с электродов осуществляется встряхивание, для чего используют различные системы.

Наибольшее распространение получили системы ударно-молоткового действия.

В нижней части осадительные электроды связаны между собой полосой встряхивания. При вращении вала 3, приводимого от специального электродвигателя, молоток 4 периодически ударяет по наковальне 5, передающей удар полосе встряхивания и связанным с ней электродам. Молотки насажены со смещением на 24° с тем, чтобы во избежание увеличения вторичного уноса не все электроды встряхивались одновременно.



Ударно-молотковый механизм встряхивания электродов
1 – электропривод; 2 – подшипник; 3 – вал; 4 – молоток; 5 – наковальня.

Очистка газов в электрофильтрах.

Мокрый способ удаления пыли

Уловленную пыль удаляют с помощью промывки водой. Расход воды $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^2 входного сечения фильтра, $0,08 \text{ м}^3$ на 1000 м^3 очищаемого воздуха, при давлении воды 300 кПа. Продолжительность промывки 3—5 мин. Промывка обычно производится раз в 1—2 мес., а при отсутствии противоуносного фильтра — 1 раз в неделю. Полная очистка ячеек фильтра производится 1—2 раза в год.

Применимость электрофильтров

Электрофильтры применяются там, где необходимо очищать очень большие объемы газа и отсутствует опасность взрыва. Эти установки используются для улавливания летучей золы на современных электростанциях, для улавливания пыли в цементной промышленности, а также в металлургии в мощных системах улавливания дыма, для пылеулавливания в системах кондиционирования воздуха и других смежных отраслях.

Электрофильтры очищают большие объемы газов от пыли с частицами размером от 0,01 до 100 мкм при температуре газов от 20 до 400—450 °С. Гидравлическое сопротивление их достигает 100 -150 Па.

Степень очистки от аэрозолей – выше 90, достигая 99,9% на многопольных электрофильтрах при $d > 1 \text{ мкм}$.

Недостаток этого метода:

- большие затраты средств на сооружение и содержание очистных установок;
- значительный расход энергии на создание электрического поля. Затраты электроэнергии составляют 0,1-0,5 кВт (0,36—1,8 МДж) на 1000 м^3 газа.