

М.Н. Мифтахов

Процессы и аппараты защиты биосферы. Защита атмосферы

Учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению
20.04.01 «Техносферная безопасность»



Набережные Челны
2018

УДК 504

Процессы и аппараты защиты биосферы. Защита атмосферы:
Учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению
подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность». Составитель:
М.Н. Мифтахов. Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2018, 99 с.

Рецензенты: доктор химических наук, профессор А.В. Билалов,
доктор ветеринарных наук, профессор Г.М. Ахмадиев

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Набережночелнинского института (филиала) К(П)ФУ

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Загрязнения и проблемы защиты окружающей среды.....	6
2. Основные источники, виды и нормирование загрязнения атмосферы	8
2.1. Основные источники загрязнения атмосферы	8
2.2. Нормирование загрязнений в атмосферном воздухе.....	9
3. Основные физико-химические свойства пылей и эффективность пылеочистки.....	12
3.1. Плотность и дисперсный состав пылей и аэрозолей	12
3.2. Адгезионные свойства частиц.....	13
3.3. Абразивность частиц	14
3.4. Смачиваемость частиц.....	14
3.5. Гигроскопичность частиц.....	14
3.6. Электрическая проводимость слоя пыли	15
3.7. Электрическая заряженность частиц.....	15
3.8. Способность пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом.....	15
3.9. Эффективность пылеулавливания	16
4. Основные методы очистки газопылевых выбросов.....	16
4.1. Классификация пылеулавливающего оборудования.....	16
4.2. Аппараты сухой пылеочистки.....	19
4.2.1. Гравитационные пылеуловители	19
4.2.2. Инерционные пылеуловители	21
4.2.3. Центробежные пылеуловители	21
4.3. Очистка газопылевых выбросов фильтрами	25
4.3.1. Тканевые фильтры	26
4.3.2. Волокнистые фильтры	28
4.3.3. Зернистые фильтры.....	29
4.4. Очистка газов электрофильтрами	31

5. Аппараты мокрой очистки газов	33
5.1. Полые газопромыватели	34
5.2. Насадочные газопромыватели	36
5.3. Барботажные и пенные аппараты	37
5.4. Газопромыватели ударно-инерционного действия	38
5.5. Ротоклон	40
5.6. Газопромыватели центробежного действия.....	41
5.7. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)	42
5.8. Туманоуловители	44
6. Методы абсорбции и хемосорбции в газоочистке.....	46
6.1. Метод абсорбции	47
6.2. Метод хемосорбции.....	49
7. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	52
7.1. Гравиметрическое определение пыли в воздухе рабочей зоны.....	52
7.2. Определение плотностей промышленных пылей.....	58
7.3. Определение токсичности выхлопных газов автомобилей прибором «АВТОТЕСТ СО-СН-Д-Т»	62
7.4. Определение содержания сероводорода в рабочей зоне.....	80
7.5. Экспресс-определение концентрации вредных газов и паров в воздухе производственных помещений	82
7.6. Расчет циклона	87
Список литературы	98

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды, обусловленное деятельностью человека до определенного периода времени достаточно хорошо сглаживалось естественными процессами, происходящими в биосфере. Однако в результате интенсивной деятельности человека биосфера стала постоянно изменяться (деградировать): ухудшается качество атмосферы, водоемов и почв, уничтожается фауна и флора. В результате научно-технической революции происходит значительное загрязнение биосферы, которая постепенно превращается в техносферу. Выбросы в атмосферу промышленных предприятий, энергетических установок и транспорта, достигли такого уровня, что в крупных промышленных центрах постепенно наступает экологическое бедствие. Поэтому данная проблема - проблема защиты окружающей среды в настоящее время является одной из самых актуальных для обеспечения удовлетворительной жизнедеятельности человечества.

1. Загрязнения и проблемы защиты окружающей среды

За многомиллионные годы своего существования биосфера постоянно эволюционировала, на нее оказывали влияние как природные факторы, так и постепенное, все более глубокое влияние хозяйственной деятельности человека. Такое воздействие, вызванное хозяйственной деятельностью, обуславливает выделение в биосферу, во все ее сопредельные среды, вредных промышленных выбросов.

На рис.1. показана общая схема загрязнения окружающей среды при эксплуатации любого промышленного предприятия.



Рис. 1. Общая схема загрязнения окружающей среды

В целях защиты биосферы работа промышленности должна быть направлена на минимизацию образования выбросов в биосферу или на повсеместную утилизацию их с получением новых продуктов. В этой связи наиболее предпочтительным направлением является постепенный переход на малоотходные и безотходные технологии. Эти технологии позволят не только решить проблему защиты биосферы, но также могут обеспечить высокие экономические показатели производства.

«Безотходная технология»- это внедренные в производство оптимальные технические мероприятия, которые в себя включают:

1) модернизацию существующих технологических процессов и разработку нового экологичного оборудования с меньшим уровнем выбросов сбросов и образования твердых отходов;

2) превращение токсичных отходов в менее токсичные;

3) обезвреживание отходов;

4) утилизация отходов;

5) применение новых, наилучших доступных технологий.

Новые методы защиты окружающей среды, в свою очередь, включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов с последующей утилизацией или захоронением отходов: эффективная очистка сточных вод и газовых выбросов;

- рассеивание вредных выбросов в атмосфере;
- снижение влияния промышленных предприятий электро- и теплоэнергетики.

Немаловажную роль в загрязнении биосферы выпадает на долю природоохранных мероприятий:

- вынесение предприятий из крупных городов за черту города и (или) сооружение новых предприятий в малонаселенных районах;
- расположение предприятий с учетом местного ландшафта и розы ветров;
- установление санитарно-защитных зон (СЗЗ);
- рациональная планировка и застройка новых районов городов, обеспечивающая высокую экологичность для человека и зеленых насаждений.

Достаточный опыт эксплуатации различного назначения предприятий позволил выработать следующую схему решения проблем защиты окружающей среды:

1) для действующих предприятий:

- полная инвентаризация источников выбросов и его качественный экологический анализ;
- по результатам анализа реальных выбросов с нормативами делается вывод о соответствии выбросов санитарным и экологическим нормативам;
- при превышении допустимых нормативов разрабатываются и реализуются новые в сфере экологической безопасности;

2) для проектируемых предприятий, производств:

- проводится изучение и всесторонний анализ проектируемых технологических процессов и источников выбросов;
- в разрабатываемой проектной документации особо акцентируется экологическая составляющая проекта;
- по результатам предпроектных изучений вносятся соответствующие коррективы;
- после пуска производства в эксплуатацию осуществляется работа по проверке его экологической безопасности.

2. Основные источники, виды и нормирование загрязнения атмосферы

2.1. Основные источники загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферы происходит от двух видов источников: естественных и антропогенных. Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха показана на рис. 2.

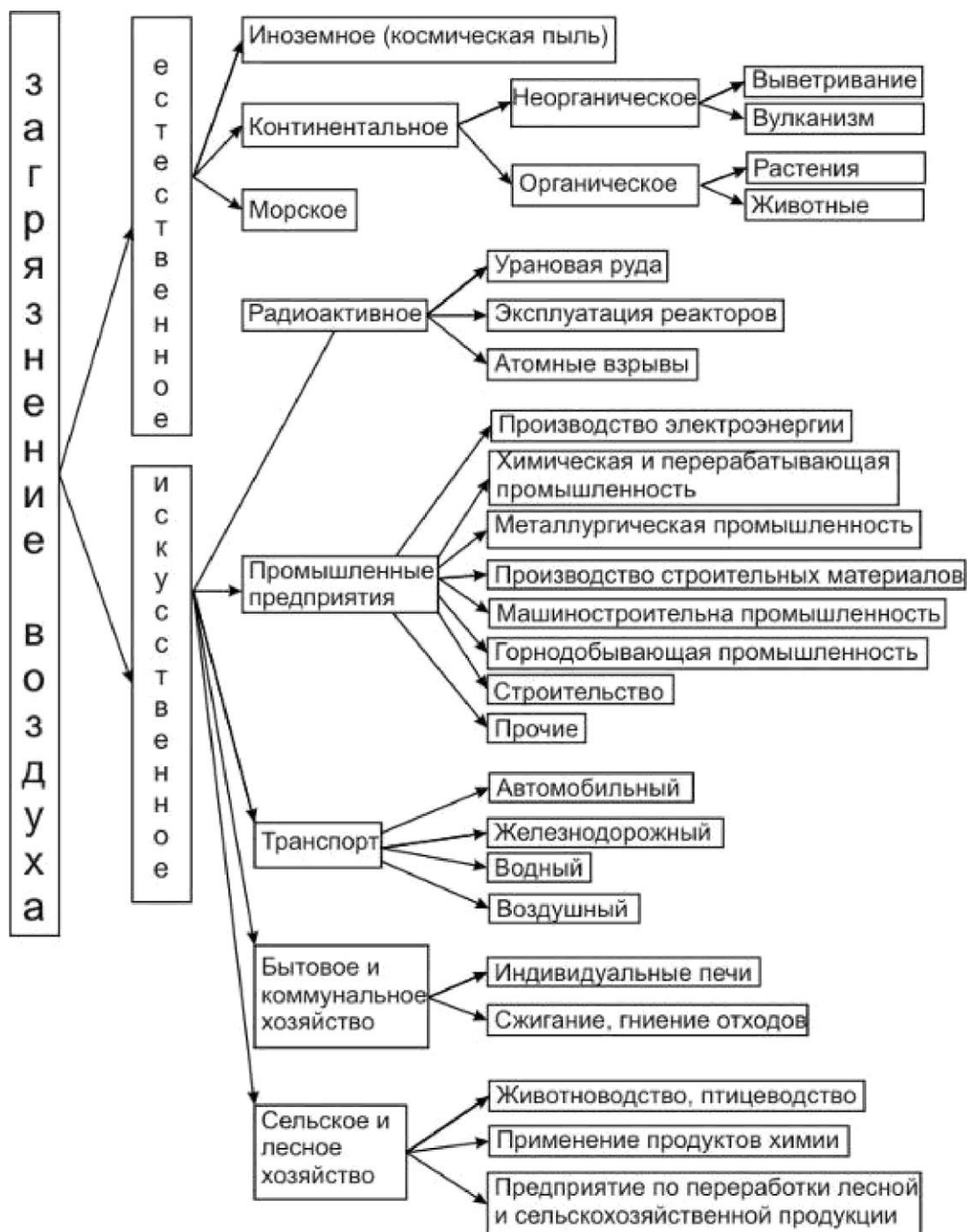


Рис. 2. Классификация источников загрязнения воздуха

Естественные загрязнения - это: пыль растительного, вулканического и космического происхождения; почвенная пыль; туманы, дымы и газы от природных источников; различные испарения и т. п. Такой уровень загрязнения атмосферы от естественных источников классифицируется как природный фон загрязнения, который незначительно изменяется течением непродолжительного времени.

К антропогенным загрязнениям относятся все виды загрязнений, обусловленных деятельностью человека. Наиболее распространенными источниками загрязнения атмосферы являются промышленные предприятия (машиностроительные, электро- и теплоэнергетические установки, автотранспорт, ракетные и самолетные двигатели, сельское хозяйство, добывающие отрасли и др.). Наибольшее количество атмосферных загрязнений обусловлено наличием в атмосфере оксида углерода CO, двуоксида углерода CO₂ и серы SO₂, оксидов азота NO_x, летучих углеводородов, пыли; паров органических растворителей и т. п.

Вредные загрязняющие вещества, выделяемые в атмосферу, условно классифицируются на группы:

твердые частицы (пыль, зола) и аэрозоли (дымы, туманы);

кислые компоненты H₂S, SO₂, SO₃, CO₂, оксиды азота;

галогены и их соединения;

аммиак и другие азотные соединения;

ртуть, другие металлы и их соединения; летучие растворители.

Кроме того, в атомной и некоторых других отраслях промышленности возможны (в случае чрезвычайных ситуаций) выбросы радиоактивных веществ.

2.2. Нормирование загрязнений в атмосферном воздухе

Загрязнения, поступающие в атмосферу, оказывают различное токсическое воздействие на организм человека, что обусловило необходимость разработки и установление для токсичных веществ санитарно-гигиенических нормативов - предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Санитарно-гигиенические нормативы устанавливаются в интересах охраны здоровья человека и сохранения генетического фонда некоторых популяций растительного и животного мира. Также эти нормативы используются в производственной и жилищно-бытовой сфере жизни человека.

Для каждого вредного вещества в воздухе устанавливают два

нормативных значения: предельно допустимую концентрацию в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з.}) и предельно допустимую концентрацию в атмосферном воздухе ближайшего населенного пункта (ПДК_{а.в.})

ПДК_{р.з.} - это концентрация вредных химических веществ (в воздухе на уровне двух метров от пола), которая при работе не более 41 часа в неделю в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний у работающих и их детей.

ПДК_{а.в.} - это предельная концентрация вредных химических веществ, которая на протяжении всей жизни человека не должна оказывать на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия на окружающую среду в целом.

Обычно ПДК_{р.з.} > ПДК_{а.в.} На территории предприятия содержание примесей принимают равным 0,3ПДК_{р.з.} Для воздуха населенных пунктов установлены два вида ПДК:

- максимально разовая ПДК (ПДК_{м.р.}) - с целью предупреждения негативных рефлекторных реакций (ощущение запаха, световой чувствительности глаз и т.п.) при кратковременном воздействии примесей;

- среднесуточная ПДК (ПДК_{с.с.}) - для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и других видов воздействия примеси на организм человека; в этом случае концентрация вредных веществ определяется в пробах, отобранных в течение 20-30 минут.

В воздухе населенных пунктов с населением более 200 тыс. человек и в курортных зонах концентрация вредных веществ с учетом рассеивания не должна превышать 80 % от ПДК_{м.р.}

На практике имеет место следующее неравенство:

$$\text{ПДК}_{р.з.} > \text{ПДК}_{м.р.} > \text{ПДК}_{с.с.}$$

Действующие на территории России ПДК (в мг/м³) в воздухе ряда токсичных веществ характеризуются следующими величинами:

Таблица 1

Вещество	HF	Cl ₂	NH ₃	CS ₂	H ₂ S	so ₂	NO _x
ПДК _{р. з}	0,5	1	20	10	10	10	5
ПДК _{м. р}	0,02	0,1	0,2	0,03	0,008	0,03	0,085
ПДК _{с. с.}	0,005	0,03	0,2	0,005	0,008	0,005	0,085
Вещество	CO	HC1	Hg	SiF ₄	HCN	o ₃	С (сажа)
ПДК _{р. з}	20	5	0,01	—	0,3	0,1	3,5
ПДК _{м.р}	3	0,015	—	0,02	—	—	0,15
ПДК _{с. с}	1	0,015	0,0003	0,005	0,01	—	0,05

Таблица 2

Вредное вещество	Рабочая зона	Атмосферный воздух	
	ПДК Р.З.	ПДКМ.Р.	ПДКС.С.
CO	20 мг/м ³	5	3
NO ₂	2	0.085	0.04

Соответствующими нормативными документами для предприятий устанавливается, что наибольшая концентрация C любого вредного вещества в приземном слое воздуха за пределами санитарно-защитной зоны СЗЗ предприятия не должна превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации:

$$C \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}}$$

При одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленным действием, их безразмерная суммарная концентрация должна удовлетворять известному условию:

$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n \leq 1,$$

где C_1, C_2, \dots, C_n - концентрация вредных веществ в атмосфере в одной и той же точке местности, мг/м³; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ -

максимальные разовые предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере, мг/м³

Некоторые загрязняющие вещества обладают так называемым эффектом суммации. Эффектом суммации обладают такие вещества как SO₂ и NO₂, SO₂ и H₂S, сильные минеральные кислоты (серная, соляная, азотная), озон, формальдегид и другие (более 30 наименований веществ в различной их комбинации друг с другом).

Для вредных веществ, ПДК которых не утверждены Министерством здравоохранения, определены (обычно на 3 года) *ориентировочные безопасные уровни воздействия* (ОБУВ). Таких веществ в настоящее время более 1310 наименований.

3. Основные физико-химические свойства пылей и эффективность пылеочистки

3.1. Плотность и дисперсный состав пылей и аэрозолей

Физико-химические свойства пыли играют большую роль при определении эффективности систем газоочистки и могут значительно влиять на основные параметры газовых потоков.

Важнейшей характеристикой золы и пылей является их плотность, измеряемая в кг/м³ или г/см³. Обычно принято рассматривать истинную, насыпную и кажущуюся плотности.

Истинная плотность частицы – это отношение массы гладкой монолитной частицы к занимаемому ею объему.

Кажущаяся плотность частиц - это отношение массы частиц к занимаемому ими объему, включая поры, пустоты, неровности и т.п.

Насыпная плотность пыли, в отличие от истинной, учитывает наличие воздушных пространств между частицами свеженасыпанной пыли. Насыпной плотностью обычно пользуются для определения объема, который занимает пыль в бункерах в первое время до начала ее слеживания. Насыпная плотность слежавшейся пыли обычно в 1,1-1,6 раза больше, чем у свеженасыпанной.

На величину насыпной и кажущейся плотностей пыли существенное влияние оказывают различные физико-химические процессы (вибрация, коагуляция, спекание, смачивание, гигроскопичность и т.д.).

Для правильного выбора системы пылеулавливания необходимы, прежде всего, сведения о дисперсном составе пылей.

Дисперсный состав пылей определяют экспериментально. Для

этого чаще всего используют специальные приборы, называемые *импакторами*. Работа импактора основана на избирательной сепарации частиц по размерам при пропускании газа через ряд последовательно установленных сопел уменьшающегося сечения, под которыми находятся плоские осадительные пластины (подложки). Проба газа прокачивается через прибор с постоянным расходом. На подложках импактора происходит инерционное осаждение частиц, причем средний размер их на каждой последующей подложке (ступени импактора) получается меньше, чем на предыдущей. В результате рассева получают различные фракции пылей. Под фракцией понимают массовые доли частиц, содержащихся в определенном интервале размеров частиц. В таблице 3 приведены некоторые виды пылей и их крупность.

Таблица 3

Технологический процесс	Вид пыли	d_m , мкм
Заточка инструмента	Металл, абразив	38
Размол в шаровой мельнице	Цемент	20
Сушка угля в барабане	Каменный уголь	15
Экспериментальные исследования	Кварцевая пыль	3,7

По дисперсности пыли классифицированы на 5 групп:

- I - очень крупнодисперсная пыль, $d_m > 140$ мкм;
- II - крупнодисперсная пыль, $d_m = 40 \text{ ч } 140$ мкм;
- III - среднедисперсная пыль, $d_m = 10 \text{ ч } 40$ мкм;
- IV - мелкодисперсная пыль, $d_m = 1 \text{ ч } 10$ мкм;
- V - очень мелкодисперсная пыль, $d_m < 1$ мкм.

3.2. Адгезионные свойства частиц

Адгезионные свойства частиц характеризуют их «прилипаемость», что в итоге обуславливает их склонность к слипаемости. Однако, хорошая слипаемость частиц может в конечном итоге привести к выходу из строя пылеулавливающих аппаратов вследствие их забивания слипшейся пылью. Замечено, что, чем меньше размер частиц пыли, тем легче они прилипают к поверхности аппарата. Например, пыли, у мелкодисперсные фракции преобладают, ведут себя как слипающиеся, хотя те же пыли с большей крупностью

могут быть хорошо сыпучими.

По слипаемости пыли делятся на 4 группы:

1. Неслипающаяся (сухая шлаковая, кварцевая; сухая глина);
2. Слабослипающаяся (коксовая; магнезитовая сухая; апатитовая сухая; доменная; колошниковая летучая зола, содержащая много несгоревших продуктов; сланцевая зола);
3. Среднеслипающаяся (торфяная, влажная магнезитовая; сухой цемент; торфяная зола; сажа, сухое молоко; мука, опилки);
4. Сильнослипающаяся (цементная; выделенная из влажного воздуха; гипсовая и алебастровая соли натрия; волокнистая (асбест, хлопок, шерсть)).

3.3. Абразивность частиц

Абразивность пыли является важной характеристикой пыли, которая характеризует степень износа металла в системах пылеулавливания. Износ зависит от твердости, формы, размера и плотности частиц. При расчетах аппаратуры пылеулавливания важно учитывать абразивные свойства пыли.

3.4. Смачиваемость частиц

Способность частиц пыли смачиваться также влияет на работу аппаратов мокрого пылеулавливания. Гладкие частицы пыли смачиваются лучше, чем частицы с неровной шероховатой поверхностью, затрудняющей смачивание.

По смачиваемости все частицы пылей подразделяются на три основные группы:

- 1) *гидрофильные материалы* - хорошо смачиваемые (кальций, кварц, большинство силикатов, галогениды щелочных металлов);
- 2) *гидрофобные материалы* - плохо смачиваемые (графит, уголь, сера);
- 3) *абсолютно гидрофобные* – практически не смачиваемые (парафин, тефлон, битумы).

3.5. Гигроскопичность частиц

Гигроскопичность пыли характеризует способность пыли впитывать влагу. Она во многом зависит от природы пыли, ее дисперсности, формы и поверхности частиц. Гигроскопичность пыли повышает степень их улавливания при мокрых методах очистки.

3.6. Электрическая проводимость слоя пыли

Электрическая проводимость слоя пыли характеризуется удельным электрическим сопротивлением слоя пыли $\rho_{сл}$, которое зависит от свойств отдельных частиц пыли, а также от структуры слоя и показателей газопылевого потока.

В зависимости от удельного электрического сопротивления пыли делятся на три группы:

1) *низкоомные пыли* $\rho_{сл} < 10^4$ Ом-см. Такие пыли при осаждении на электроде мгновенно разряжаются и поэтому может произойти вторичный унос);

2) *пыли с* $\rho_{сл} = 10^4 - 10^{10}$ Ом-см. Такие пыли хорошо улавливаются в электрофильтре, так как разряд частиц происходит не сразу, а в течение времени, необходимого для накопления слоя;

3) *пыли с* $\rho_{сл} = 10^{10} - 10^{13}$ Ом-см. Эти пыли образуют электроде пористый изолирующий слой, поэтому они трудно улавливаются.

3.7. Электрическая заряженность частиц

Практически все пыли обладают положительным или отрицательным зарядом. Знак заряда частиц зависит от способа их образования, химического состава, а также от свойств веществ, с которыми они соприкасаются. Заряженность частиц оказывает влияние на эффективность улавливания в газоочистных установках, особенно необходимо учитывать их влияние на взрывоопасность частиц.

3.8. Способность пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом.

Горючая пыль (как правило, органического происхождения) вследствие развитой поверхности контакта частиц (порядка $1\text{ м}^2/\text{г}$) с кислородом воздуха способна к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом. Интенсивность взрыва пыли зависит от многих факторов: от химических и термических свойств пыли, от дисперсности и формы частиц, их концентрации в воздухе, от влажности и состава газов, размеров и температуры источника воспламенения и др.. Способностью к воспламенению обладают некоторые пыли органических веществ, образующиеся при переработке органических химических веществ, а также пыли металлов: магния, алюминия и цинка.

Установлены для ряда пылей минимальные и максимальные

взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли: 20-500 г/м³ и 700-800 г/м³ соответственно. Причем, чем больше содержание кислорода в газовой смеси, тем вероятнее взрыв и больше его сила. При содержании кислорода менее 16 % пылевое облако не взрывается.

3.9. Эффективность пылеулавливания

Степень очистки (эффективность очистки) выражается отношением массы уловленного материала к массе материала, поступившего в газоочистительный аппарат с газовым потоком за определенный период времени. Эффективность очистки η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{G_{ч'} - G_{ч''}}{G_{ч'}} = \frac{V_{г'}c' - V_{г''}c''}{V_{г'}c'} = 1 - \frac{V_{г''}c''}{V_{г'}c'} = \frac{G_{ч'''}}{V_{г'}c'}$$

где $G_{ч'}$, $G_{ч''}$ — массовый расход частиц пыли, содержащейся в газах, соответственно поступающих и выходящих из аппаратов, кг/с; $V_{г'}$, $V_{г''}$ — объемный расход газов (при 0°C и 101,3 кПа), соответственно поступающих и выходящих из аппаратов, м³/с; c' , c'' — концентрация частиц в газах, соответственно поступающих в аппарат и выходящих из аппарата, кг/м³; $G_{ч'''}$ — количество уловленной пыли, кг/с.

Суммарную степень очистки газов η , если последовательно работают несколько пылеуловителей, рассчитывают по формуле:

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

где η_1 , η_2 , ..., η_n — степень очистки газов от пыли соответственно в первом, втором и n-м аппарате.

4. Основные методы очистки газопылевых выбросов

4.1. Классификация пылеулавливающего оборудования

На рис. 3 приведена классификация основных методов и аппаратов, применяемых для обезвреживания газовых выбросов и очистки различных газопылевых сред от вредных примесей.

Данная классификация методов очистки с выбором соответствующего оборудования основана на принципиальных особенностях процесса отделения частиц пыли от газовой фазы:

- сухие методы и оборудование - пылесадительные камеры, циклоны, жалюзийные пылеуловители, фильтры, электрофильтры и др.;

- мокрые методы и оборудование для улавливания пыли - форсуночные и насадочные скрубберы, скрубберы Вентури и др.

С другой стороны пылеуловители делятся на пять классов, их характеристики кратко приведены в таблице 4.

Таблица 4

Класс пылеуловителя	Размеры улавливаемых пылевых частиц, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителя
I	более 0,3	V	0,8
II	более 2	IV	0,8-0,999
III	более 4	IV	0,45-0,92
IV	более 8	III	0,92-0,999
V	более 20	III	0,8-0,99
		II	0,99-0,999
		II	0,95-0,999
		I	0,999
		I	0,99

Примечание: границы эффективности пылеуловителей указаны с учетом дисперсности пыли. Первое значение эффективности относится к меньшему значению dm ; второе - к большему.

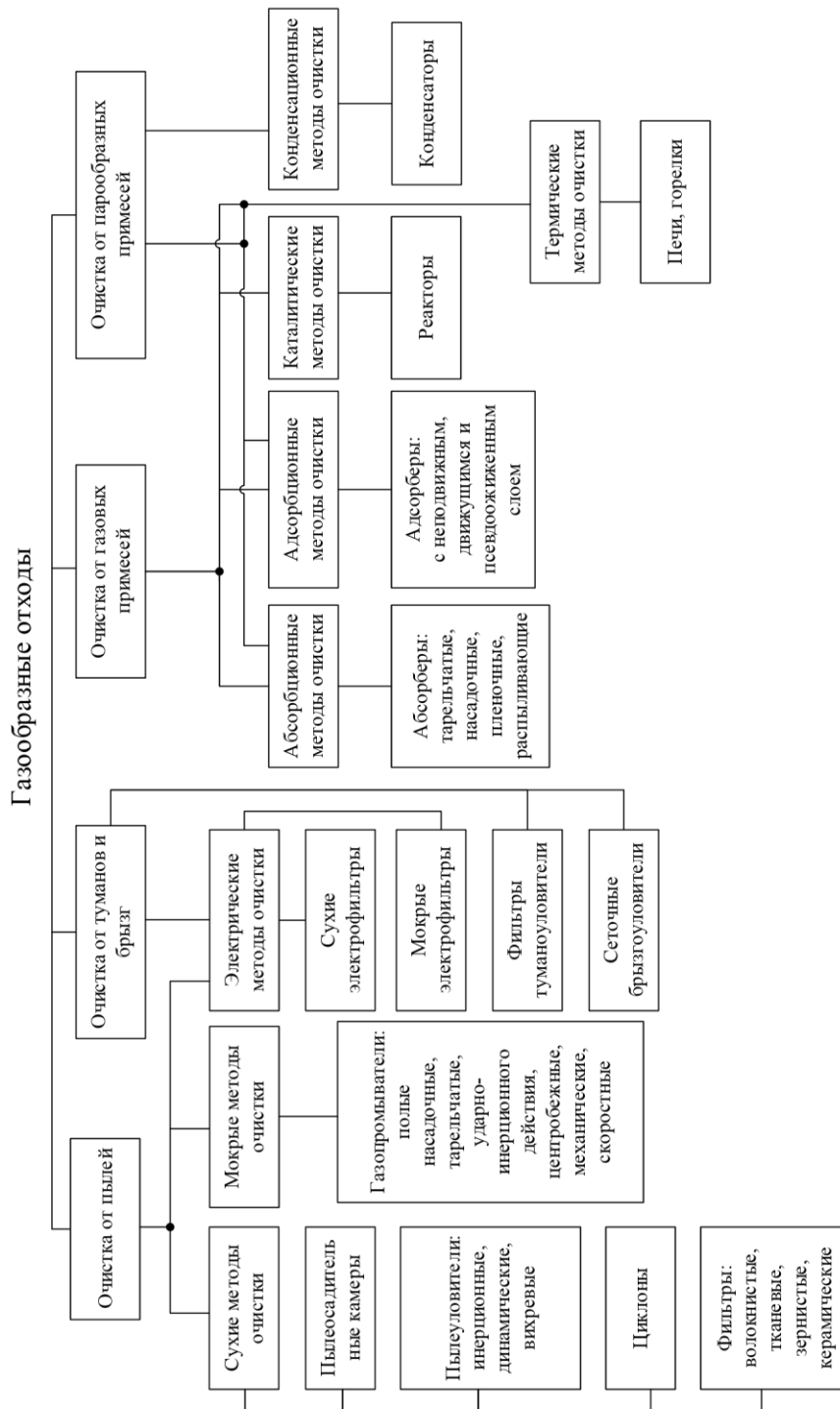


Рис. 3. Классификация методов и аппаратов для обезвреживания газовых выбросов

4.2. Аппараты сухой пылеочистки

К сухим механическим пылеуловителям относятся аппараты, в которых использованы различные механизмы осаждения: гравитационный (пылеосадительные камеры), инерционный (камеры, осаждение пыли в которых происходит в результате изменения направления движения газового потока или установления на его пути перегородки) и центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны). Эти аппараты отличаются довольно просты в изготовлении и надежны при эксплуатации, что обусловило их широкое распространение. В основном эти аппараты играют роль установок предварительной очистки выбросов.

4.2.1. Гравитационные пылеуловители

К такого типа аппаратам относятся пылеосадительные, осадительные камеры, жалюзийные аппараты и др. В пылеосадительных камерах (рис. 4, 5) пыль осаждается за счет сил гравитации при горизонтальном движении потока газа. Данные камеры предназначены в основном для улавливания крупнодисперсных частиц (размером более 50 мкм). Для увеличения эффективности очистки обычно уменьшают линейную скорость газопылевого потока или увеличивают длину камеры. Достаточно хорошую эффективность очистки у осадительных камер Говарда (рис. 5), в которых поток газа разбивается на несколько параллельных секций очистки воздуха, но в силу своей громоздкости они не нашли широкого применения.

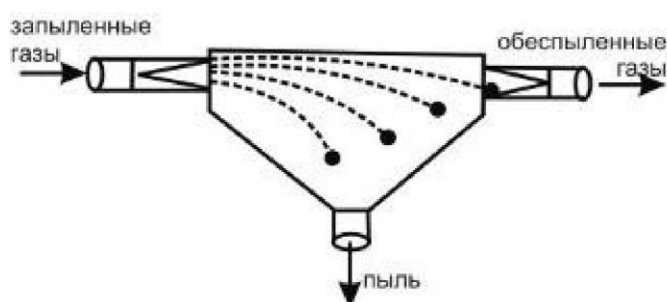


Рис. 4. Пылеосадительная камера

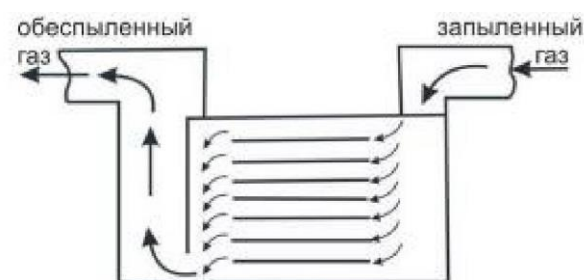


Рис. 5. Осадительная камера Говарда

В общем виде скорость осаждения шарообразных частиц под действием силы тяжести может быть определена по формуле:

$$V_a = V \sqrt{4da(\rho_a - \rho_g)g / 3\rho_g \xi_a}$$

где v_a - скорость осаждения частиц, м/с; d_a - диаметр частиц, м; ρ_a - плотность частиц, кг/м³; ρ_r - плотность газа, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с²; ξ - коэффициент сопротивления частиц.

При применимости закона Стокса (когда отсутствуют эффекты инерции, связанные с вытеснением воздуха движущейся сферической частицей, т.е. число Рейнольдса $Re_p = d_a(v_a - v_r)\rho_r/\mu_r$ меньше 0,05) минимальный размер частиц $d_{\text{мин}}$ (м), которые будут полностью осаждаться в многополочной камере, может быть определен по формуле:

$$d_{\text{мин}} = \sqrt{18V_r\mu_r / [(\rho_a - \rho_r)gBL]}$$

где V_r — объемный расход газов, м³/с; μ_r — динамический коэффициент вязкости, Па.с; B и L — ширина и длина камеры, м.

Жалюзийные аппараты применяют обычно для улавливания более крупной пыли (более 20 мкм). Они имеют жалюзийную решетку, состоящую из рядов пластин или колец. Очищаемый газ, проходя через решетку, делает резкие повороты. Пылевые частицы вследствие инерции стремятся сохранить первоначальное направление, что приводит к отделению крупных частиц из газового потока, которые, сталкиваясь с наклонными решетками, отражаются и отскакивают в сторону от щелей между лопастями жалюзи (рис. 6). Пыль в основном содержится в потоке, который отсасывают и направляют в циклон для очистки, а очищенный газовый сливают с основной частью потока, прошедшего через решетку. Гидравлическое сопротивление решетки невелико и обычно составляет 100-500 Па.

Основным недостатком этих аппаратов является износ пластин при высокой концентрации пыли.

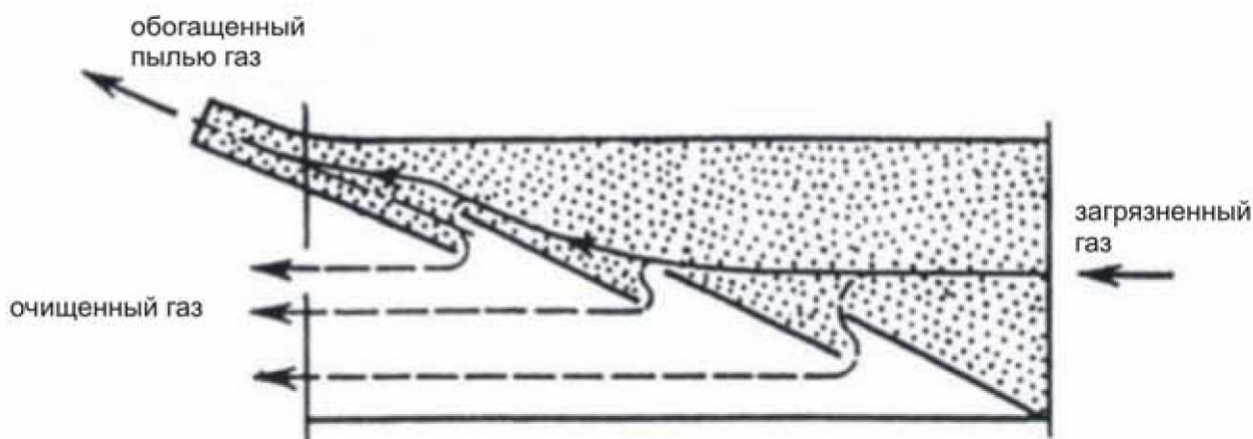


Рис. 6. Жалюзийный пылеотделитель

4.2.2. Инерционные пылеуловители

В инерционных пылеуловителях реализуются силы инерции, вследствие чего частицы пыли при резком изменении направления потока газа не могут также изменить свое направление и выпадают из потока, как правило, в бункер в нижней части аппарата. Наиболее простые из этого типа аппаратов являются так называемые *пылевые мешки* (рис. 7).

Другой тип пылеуловителей - пылеуловители с плавным поворотом газового потока имеют меньшее гидравлическое сопротивление, чем другие аппараты. Линейная скорость газа в сечении таких аппаратов принимают 1,0 м/с. и эффективность очистки может достигнуть 65-80 %. Такие пылеуловители применяют обычно на металлургических предприятиях. Гидравлическое сопротивление их составляет примерно 150-390 Па.

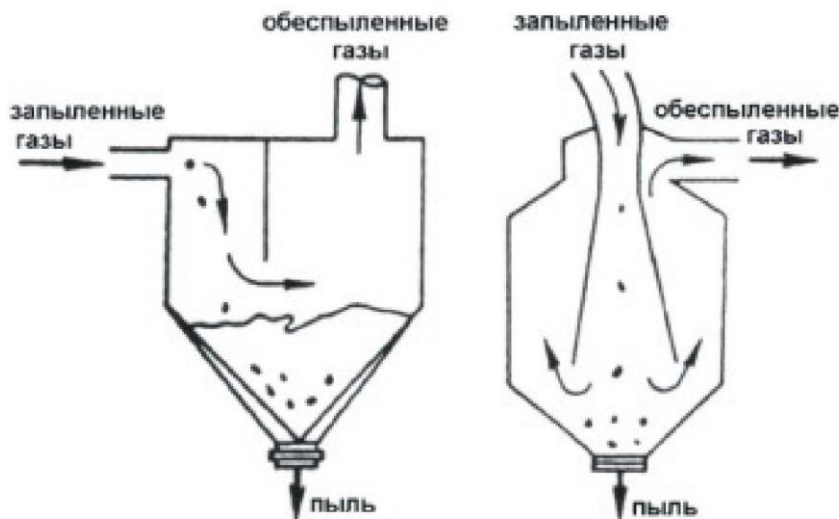


Рис. 7. Инерционные пылеуловители

4.2.3. Центробежные пылеуловители

Из центробежных пылеуловителей наибольшее распространение получили циклоны. Циклоны имеют следующие *достоинства*: 1) отсутствие движущихся частей в аппарате; 2) надежность работы при температурах газов вплоть до 400 °С; 3) возможность улавливания абразивных материалов при условии защиты внутренних поверхностей циклонов футеровкой; 4) улавливание пыли в сухом виде; 5) практически постоянное гидравлическое сопротивление аппарата; 6) успешная работа при высоких давлениях газов; 7) простота изготовления;

Недостатки: 1) высокое гидравлическое сопротивление - 1250-1500 Па; 2) плохое улавливание мелкодисперсной пыли (менее 5 мкм); 3) невозможность использования для очистки газов от липких загрязнений.

Принцип работы циклона показан на рис. 8. Пылегазовый поток тангенциально поступает в цилиндрическую часть циклона, и, вращаясь внутри циклона, двигается сперва сверху вниз, а затем движется вверх и отводится через выхлопную трубу. Частицы пыли отбрасываются центробежной силой к стенке. Обычно в циклонах центробежное ускорение в сотни и более раз больше ускорения силы тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли отбрасываются к стенке циклона.

Циклоны обычно подразделяются на две группы: высокоэффективные и высокопроизводительные. Первые эффективны, но требуют больших энергозатрат на осуществление процесса очистки; циклоны второго типа имеют небольшое гидравлическое сопротивление, обладают большей производительностью, однако малоэффективны при улавливании мелких частиц пыли.

В промышленности широко используют циклоны НИИОГАЗа (рис. 9) - цилиндрические (с удлиненной цилиндрической частью) и конические (с удлиненной конической частью). Цилиндрические циклоны относятся к высокопроизводительным аппаратам, а конические - к высокоэффективным. Диаметр цилиндрических циклонов не более 2000 мм, а конических - не более 3000 мм.

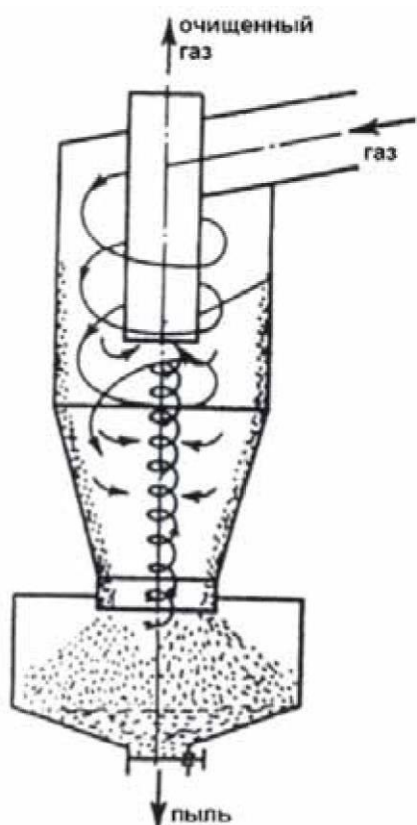


Рис. 8. Циклон

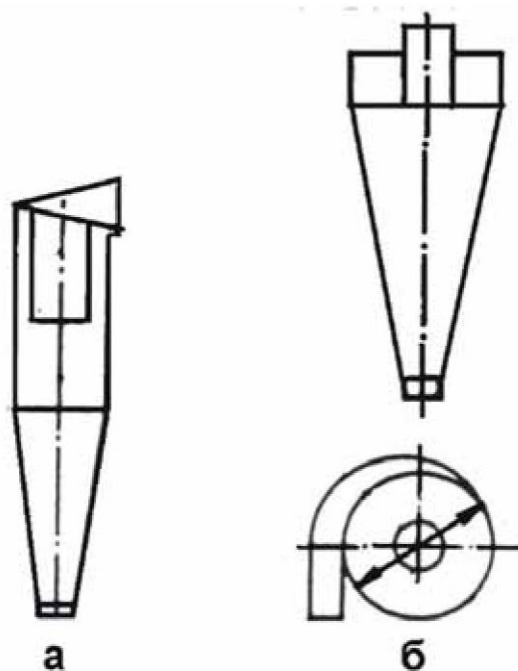


Рис. 9. Цилиндрический (а) и конический (б) циклоны

При достаточно больших расходах очищаемых газов применяют групповые циклоны. Применение групповых циклонов позволяет не увеличивать диаметр циклона с сохранением требуемой эффективности очистки. В этих аппаратах запыленный газ, входящий через общий коллектор, равномерно распределяется между циклонными элементами.

В некоторых случаях большое число малых циклонов (мультициклонов) объединяют в группу (батареи циклонов). Они используются для очистки больших расходов газов. Однако эффективность очистки газопылевых выбросов в батарейных циклонах ниже одиночных.

В ротационных пылеуловителях, также за счет центробежных сил, одновременно с перемещением воздуха происходит очищение его от фракции пыли крупнее 5 мкм. Эти аппараты обладают большой компактностью, так как вентилятор и пылеуловитель обычно совмещены в одном агрегате.

Схемы пылеуловителей ротационного типа представлены на рис. 10 и 11. При работе вентиляторного колеса частицы пыли за счет центробежных сил отбрасываются к наружной стенке спиралеобразного кожуха и движутся по ней в направлении выхлопного отверстия (рис. 10). Газ, обогащенный пылью, через

пылеприемное отверстие выводится в пылевой бункер, а очищенный газ поступает в выхлопную трубу.

В противопоточном центробежном ротационном пылеуловителе (рис. 11) ротор и колесо вентилятора насажены на общий вал. При работе пылеуловителя запыленный воздух поступает внутрь кожуха, где закручивается вокруг ротора. В результате вращения пылевого потока возникают центробежные силы, под действием которых взвешенные в воздухе частицы пыли стремятся выделяться из него в радиальном направлении. Очищенный воздух через перфорацию ротора всасывается в вентилятор и затем выводится наружу.

Эффективность очистки этих аппаратов зависит от выбранного соотношения центробежной и аэродинамической сил и является достаточно высокой. Чем больше число оборотов ротора, тем больше центробежная сила.

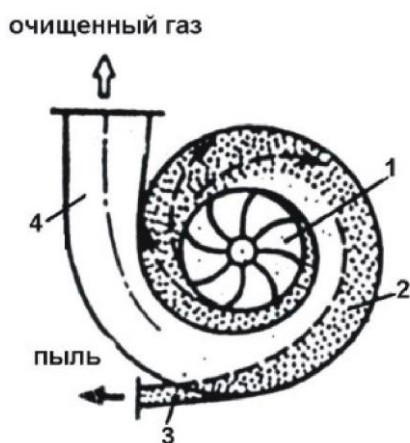


Рис. 10. Пылеуловитель ротационного типа:
1 - вентиляторное колесо; 2 - кожух;
пылеприемное отверстие; 4 -
выхлопная труба

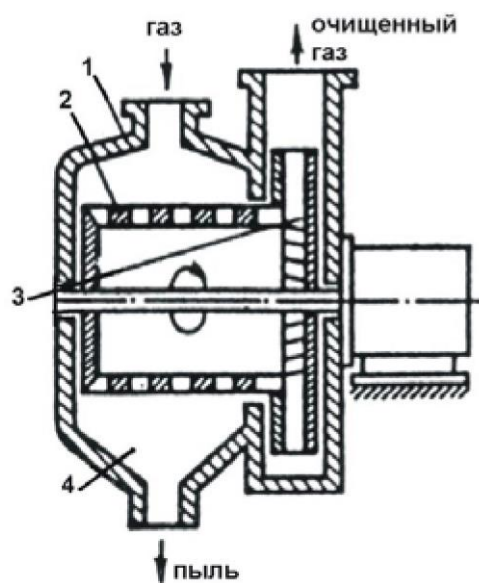


Рис. 11. Противоточный ротационный пылеуловитель:
1 - кожух; 2 - ротор; 3 - колесо вентилятора; 4 - бункер

4.3. Очистка газопылевых выбросов фильтрами

Фильтрация – это процесс разделения газов от твердых или жидких частиц с помощью пористых сред (перегородок). При фильтрации (рис. 12) взвешенные в газовом потоке частицы осаждаются на поверхности или в объеме пористых сред (перегородок) за счет совокупного действия броуновской диффузии, эффекта касания (зацепления), инерционных, электростатических и гравитационных сил.



Рис. 12. Схема процесса фильтрования

Существует большое разнообразие фильтрующих перегородок, они отличаются по своей структуре, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов. Фильтровальные перегородки бывают:

- гибкие пористые перегородки – представляют собой тканевые материалы из природных, синтетических или минеральных волокон; нетканые волокнистые материалы (войлоки, иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты); ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан);

- полужесткие пористые перегородки - слои волокон, стружка, вязанные сетки, закрепленные на опорных устройствах или зажатые между ними;

- жесткие пористые перегородки - зернистые материалы (пористая керамика и пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов, пористые стекла и др.); волокнистые материалы (сформированные слои из стеклянных и металлических волокон); металлические сетки и перфорированные листы.

В процессе очистки запыленного газа частицы пыли приближаются к волокнам или к поверхности зерен материала, сталкиваются с ними и осаждаются главным образом в результате действия сил диффузии, инерции и электростатического притяжения.

В фильтрах уловленные частицы пыли постепенно накапливаются и образуют пылевой слой на поверхности перегородки, образуя новый пылевой фильтрующий слой. Однако, при увеличении сопротивления, создаваемого слоем пыли, необходимо каким-либо внешним воздействием эту пыль удалять периодически.

В зависимости от требуемой степени очистки и области применения фильтры условно подразделяются на три класса:

- фильтры тонкой - предназначены для улавливания с очень высокой эффективностью (более 99 %), в основном субмикронных частиц из промышленных газов с низкой входной концентрацией (менее 1 мг/м^3) и низкой скоростью фильтрования. Данные фильтры используются для улавливания токсичных частиц, а также для ультратонкой очистки воздуха при проведении некоторых узко специфичных технологических процессов. Такие фильтры не регенерируются;

- воздушные фильтры – обычно используются в системах аспирации и кондиционирования воздуха; работают при концентрации пыли менее 50 мг/м^3 , при высокой скорости фильтрации. Фильтры могут регенерироваться;

- промышленные фильтры (тканевые, зернистые, грубоволокнистые) - применяются для очистки промышленных газов с концентрацией пыли до 60 г/м^3 . Фильтры такого типа регенерируются любым способом (встряхиванием, обратной продувкой сжатым воздухом).

4.3.1. Тканевые фильтры

Такие фильтры нашли более широкое распространение. Области их применения расширяются в связи с созданием новых высокотемпературных и устойчивых к воздействию агрессивных газов тканей. Наибольшее распространение получили рулонные (рис. 13) и рукавные (рис. 14) фильтры.

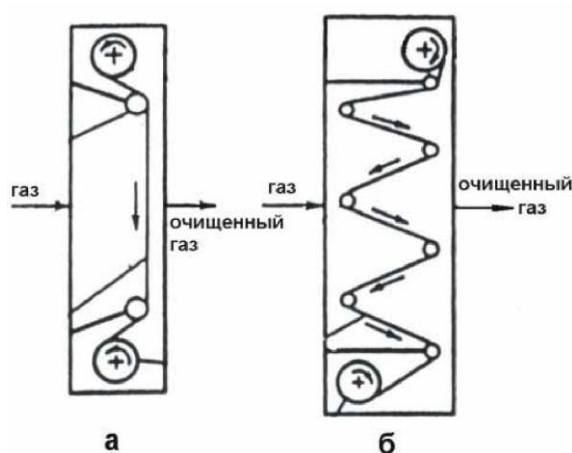


Рис. 13. Рулонные фильтры обычного типа (а) и компактные (б)

Фильтр представляет собой металлический корпус, разделенный

вертикальными перегородками на секции, в каждой из которых размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме, соединенной с встряхивающим механизмом. Внизу имеется бункер со шнеком для выгрузки пыли. Встряхивание рукавов в каждой из секций производится поочередно. Высокопроизводительные фильтры (с большой фильтрующей поверхностью) могут изготавливаться в двухрядном исполнении.

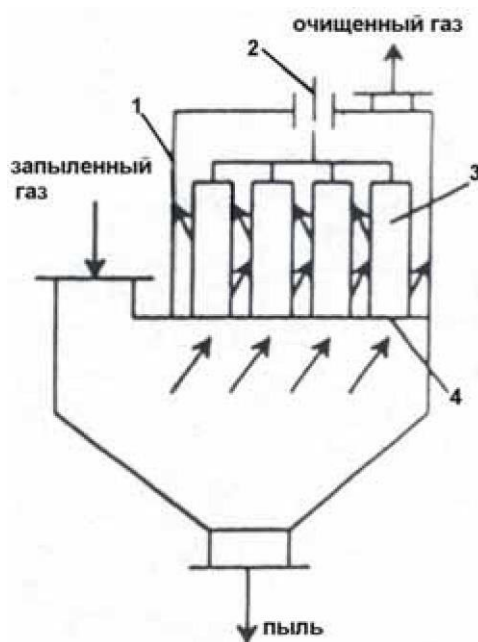


Рис. 14. Рукавный фильтр

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

В тканевых фильтрах применяют фильтрующие материалы двух типов: обычные ткани, изготавливаемые на ткацких станках, и войлоки (нетканые иглопробивные материалы), получаемые путем свойлачивания или механического перепутывания волокон иглопробивным методом. В типичных фильтровальных тканях размер сквозных пор между нитями достигает 100-200 мкм.

К тканям рукавных фильтров предъявляются следующие требования: 1) достаточно высокая пылеемкость при фильтрации и способность удерживать после регенерации достаточное количество пыли для обеспечения высокой эффективности очистки газов от тонкодисперсных твердых частиц; 2) сохранение оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии; 3) высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при многократных изгибах, стабильность размеров и свойств при повышенной температуре и агрессивном воздействии химических

примесей; 4) способность к легкому удалению накопленной пыли; 5) низкая стоимость.

Синтетические ткани постепенно вытесняют традиционные материалы из хлопка и шерсти благодаря более высокой прочности, стойкости к повышенным температурам и агрессивным воздействиям и более низкой стоимости.

4.3.2. Волокнистые фильтры

В таких фильтрах используются один или несколько фильтрующих элементов. Волокнистые фильтры относятся к аппаратам объемного действия, поскольку как они рассчитаны на улавливание и накапливание частиц в основном по всей глубине фильтровального слоя. Сплошной слой пыли образуется на поверхности наиболее плотных материалов. Толщина волокон обычно составляет 0,01–100 мкм. А толщина фильтрующих сред составляет от десятых долей миллиметра до 2 м. Такие фильтры используют при концентрации дисперсной твердой фазы 0,5–5 мг/м³ и только некоторые грубоволокнистые фильтры применяют при концентрации 5–50 мг/м³. При таких концентрациях основная доля частиц имеет размеры менее 5–10 мкм.

Промышленные волокнистые фильтры подразделяются на: 1) *сухие* – тонковолокнистые, электростатические, глубокие, фильтры предварительной очистки (предфильтры), 2) *мокрые* – сеточные, самоочищающиеся, с периодическим или непрерывным орошением.

Механизм фильтрации в волокнистых фильтрах состоит, как правило, из двух стадий. На первой стадии (так называемая стационарная фильтрация) уловленные частицы практически не изменяют структуры фильтра во времени, на второй стадии процесса (нестационарная фильтрация) в фильтре происходят непрерывные структурные изменения вследствие накопления уловленных частиц в значительных количествах. В соответствии с этим все время изменяются эффективность очистки и сопротивление фильтра. Теория фильтрования в таких фильтрах еще недостаточно разработана.

Волокнистые фильтры тонкой очистки (рис. 15). Такие фильтры обычно используются в точном приборостроении, промышленной микробиологии, в химико-фармацевтической и др. Фильтры позволяют очищать большие объемы газов от твердых частиц всех размеров, включая субмикронные. Их широко применяют для очистки радиоактивных аэрозолей. Например, для очистки до 99 % (для частиц

0,05-0,5 мкм) применяют материалы в виде тонких листов с ультратонкими волокнами (диаметр волокон менее 2 мкм). Скорость фильтрации составляет 0,01-0,15 м/с. Сопротивление чистых фильтров не превышает 200-300 Па, а работавших фильтров 700-1500 Па.

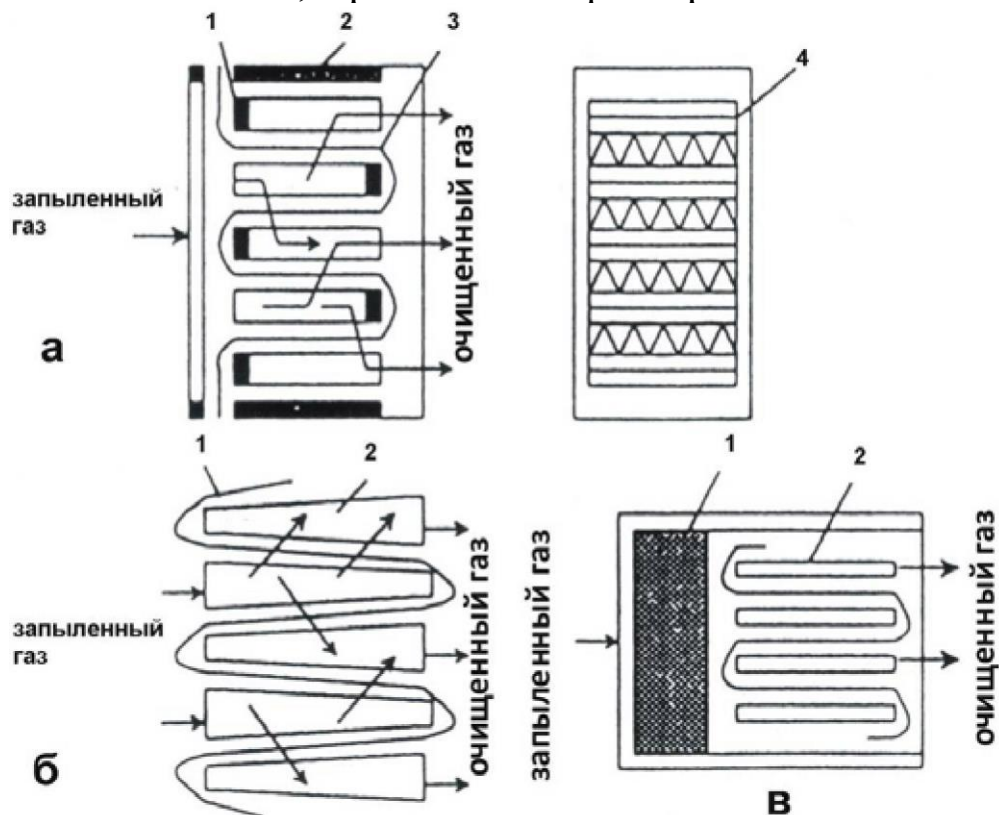


Рис. 15. Фильтры тонкой очистки:

- а - рамный: 1 - П-образная планка; 2 - боковая стенка; 3 - фильтрующий материал; 4 - разделитель;
- б - с сепараторами клиновидной формы типа Д-КЛ: 1 – фильтрующий материал; 2 - рамка-сепаратор клиновидной формы;
- в - комбинированный: 1 – секция с набивным слоем из волокон; 2 - секция тонкой очистки

4.3.3. Зернистые фильтры

Зернистые фильтры применяют для очистки газов в тех случаях, когда невозможно применение других фильтров. Достоинства зернистых фильтров по сравнению с другими в том, что проявляются такие его свойства, как доступность материала, работа при высоких температурах и в агрессивных условиях среды, выдерживать большие механические нагрузки и перепады давлений. Зернистые фильтры делятся на насадочные и жесткие.

В насадочных (насыпных) фильтрах улавливающие элементы (гранулы, куски и т.д.), которые не скреплены друг с другом. К ним

относятся: статические (неподвижные) слоевые фильтры; динамические (подвижные) слоевые фильтры с гравитационным перемещением сыпучей среды (рис. 16). В насыпных фильтрах в качестве насадки может использоваться песок, галька, шлак, дробленные горные породы, древесные опилки, кокс, крошка резины, пластмассы и др. Выбор материала зависит от требуемой термической и химической стойкости, механической прочности и доступности.

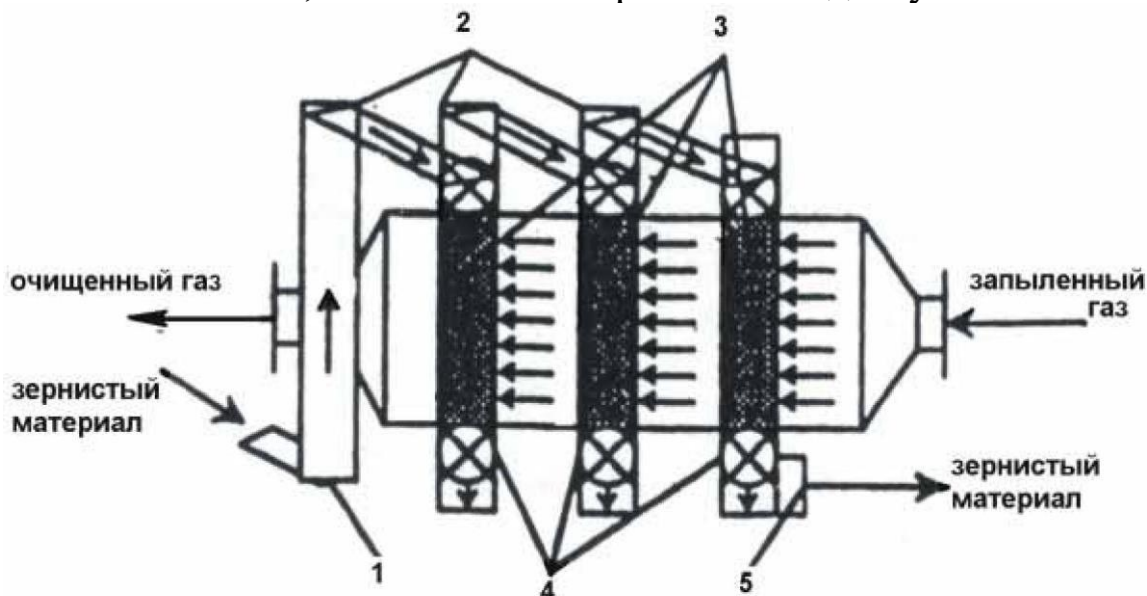


Рис. 16. Фильтр с движущимися слоями зернистого материала:

1 - короб для подачи свежего зернистого материала; 2 - питание; 3 - фильтрующие слои; 4 - затворы; 5 - короб для вывода зернистого материала

В процессе работы такого фильтра пыль накапливается в порах насадки и эффективность улавливания возрастает. При увеличении сопротивления до предела производят рыхление слоя. После нескольких циклов рыхления насадку промывают или заменяют.

В зернистых жестких фильтрах 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. Фильтры устойчивы к высокой температуре, коррозии и механическим нагрузкам и применяются для фильтрования сжатых газов. К недостаткам таких фильтров можно отнести такие его характеристики как: высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление и трудности регенерации. Регенерация таких фильтров обычно проводится следующими способами: 1) обратная продувка свежим воздухом под давлением; 2) пропусканием через фильтр жидких моющих растворов в обратном направлении; 3) обработкой горячим паром; 4) механическим воздействием (встряхивание или вибрация).

Класс эффективности фильтров определяется на основании показателей эффективности фильтров, полученных при опытных исследовательских испытаниях.

К I классу относятся фильтры, эффективность которых не ниже (99 0,1) %, II - (85 ± 3) %, III - (60 ± 5) %.

4.4. Очистка газов электрофильтрами

Очистка газопылевых выбросов электрофильтрами в настоящее время является наиболее эффективным способом. Процесс электроочистки (рис. 17-19) основан на первоначальной стадии очистки ионизации газа в области коронирующего разряда, передаче заряда ионов частицам аэрозолей и последующим осаждением их на осадительных электродах.

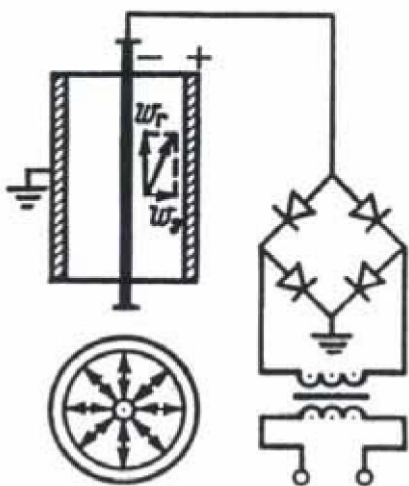


Рис. 17. Схема расположения электродов в



Рис. 18. Зависимость силы тока от напряжения между электродами

Газопылевые выбросы, поступающие в электрофильтр, всегда частично ионизированы за счет различных внешних воздействий (радиоактивных излучений, космических лучей, нагрева газа и др.), поэтому, попадая в пространство между электродами, они способны проводить ток. При достаточно высоком напряжении (порядка десятков кВ) между коронирующим и осадительным электродами вовлекается все большее число ионов и величина тока растет до значения тока насыщения. Такой процесс называется ударной ионизацией газа. При этом происходит передача заряда частицам пыли, которые, приобретая отрицательный заряд, перемещаются в основном в сторону осадительного электрода и на нем осаждаются.

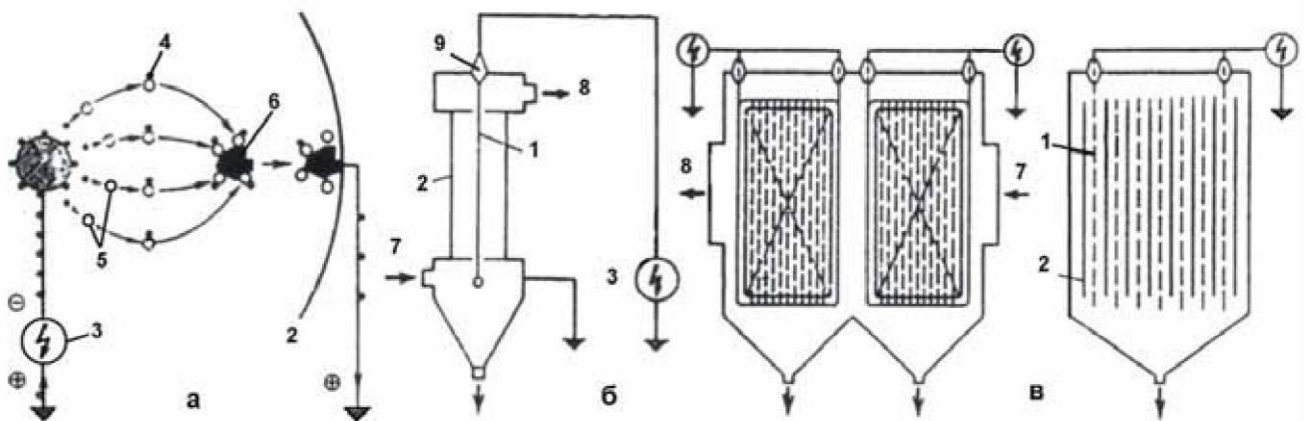


Рис. 19. Принципиальная схема работы электрофилтра:

а - процесс электрического осаждения частиц; **б** - электрофилтр с трубчатым электродом; **в** - электрофилтр с пластинчатым электродом; 1 - коронирующий электрод; 2 - осадительный электрод; 3 - агрегат электропитания; 4 - электрон; 5 - молекула газа; 6 - осаждаемая частица; 7 - очищаемый газ; 8 очищенный газ; 9 - изолятор

Аэрозольные частицы, поступающие в зону между коронирующим и осадительным электродами, адсорбируют на своей поверхности ионы, приобретая электрический заряд, и получают тем самым ускорение, направленное в сторону электрода с зарядом противоположного знака.

Основной движущей силой, вызывающей движение частицы к осадительному электроду, выступает сила взаимодействия между электрическим полем и зарядом частицы.

В итоге, отрицательно заряженные аэрозольные частицы движутся к осадительному положительно заряженному электроду под действием аэродинамических сил и электрических сил, а положительно заряженные частицы оседают на отрицательном коронирующем электроде. Ввиду того, что объем внешней зоны коронного разряда во много раз больше объема внутренней, большинство частиц пыли получает заряд отрицательного знака. Поэтому основная масса пыли осаждается на положительном осадительном электроде и лишь относительно небольшая - на отрицательном коронирующем электроде.

Важное значение на процесс осаждения пыли на электродах имеет электрическое сопротивление слоев пыли. По величине электрического сопротивления пыль делят на:

1) пыли с малым удельным электрическим сопротивлением (менее

10^4 Ом/см), которые при соприкосновении с электродом мгновенно теряют свой заряд и приобретают заряд, соответствующий знаку электрода, после чего между электродом и частицей возникает сила отталкивания, в результате чего пылевая частица возвращается обратно в основной поток газа;

2) пыли с удельным электрическим сопротивлением от 10^4 до 10^{10} Ом/см хорошо осаждаются на электродах и легко удаляются с него при встряхивании, в итоге для таких пылей характерна наибольшая их улавливаемость;

3) пыли с удельным электрическим сопротивлением более 10^{10} Ом.см труднее всего улавливаются в электрофильтрах, так как на электродах частицы разряжаются медленно за счет дополнительного экранирования осадительного электрода слоем пыли, что в значительной степени препятствует осаждению новых частиц.

Для увеличения эффективности очистки стараются достигнуть снижения удельного электрического сопротивления пыли (например, увеличением влажности запыленного газа).

Для эффективной работы электрофильтров нужно обеспечить чистоту осадительных и коронирующих электродов для обеспечения должного коронного разряда.

Электрофильтры можно также использовать для глубокой очистки газа от масляных туманов, сварочных и иных аэрозолей. При использовании электрофильтров для очистки воздуха от аэрозолей горючих веществ необходимо их предварительно охлаждать до значений ниже температуры вспышки улавливаемой жидкости.

5. Аппараты мокрой очистки газов

Аппараты мокрой очистки газов и газопылевых выбросов используются для одновременного решения нескольких проблем:

- пылеулавливание;
- абсорбция;
- охлаждение газов.

Степень очистки мокрых пылеуловителей может увеличиваться при предварительной конденсации паров жидкости, содержащихся в газах. В качестве орошающей жидкости в них обычно используется обычная техническая вода или вода с примесями для абсорбции (абсорбент). В целях экономии и рационального использования жидкости применяют обычно замкнутую оросительную систему.

Мокрые пылеуловители в сравнении с другими имеют ряд

достоинств и недостатков.

Достоинства: 1) относительно небольшая стоимость орошающей жидкости и более высокая эффективность улавливания взвешенных частиц; 2) возможность использования для очистки газопылевых выбросов от более мелких частиц (до 0,1 мкм); 3) использование данного метода очистки высокотемпературных и(или) влажных газов; 4) при опасности возгорания и возникновения взрывов; 5) возможность одновременного улавливания парообразных и газообразных компонентов.

Недостатки: 1) образование шлама, что обуславливает применение последующих этапов очистки образующихся сточных вод; 2) возможность брызгоуноса с последующим их осаждением в системах очистки; 3) необходимость использования антикоррозионных конструкционных материалов.

По принципу работы установки мокрой очистки (газопромыватели) подразделяются на:

- 1) полые газопромыватели;
- 2) насадочные газопромыватели;
- 3) барботажные и пенные аппараты;
- 4) мокрые аппараты ударно-инерционного типа;
- 5) мокрые аппараты центробежного действия;
- 6) механические скрубберы (динамические газопромыватели);
- 7) скоростные газопромыватели.

5.1. Полые газопромыватели

Принцип полых газопромывателей заключается в пропускании загрязненных газов через завесу распыленной жидкости. При этом происходит захват частицы пыли каплями жидкости и осаждение в виде шлама с одновременным удалением из газопромывателя очищенного газа.

Наиболее простым в конструктивном смысле полым газопромывателем является промывная камера, в которой специальным образом установленные форсунки создают на пути газа водяную завесу (рис. 20-21). Для снижения уноса воды (брызг) скорость в газоходе не должна превышать 3 м/с. Расход воды обычно составляет 0,1-0,3 г/м³.

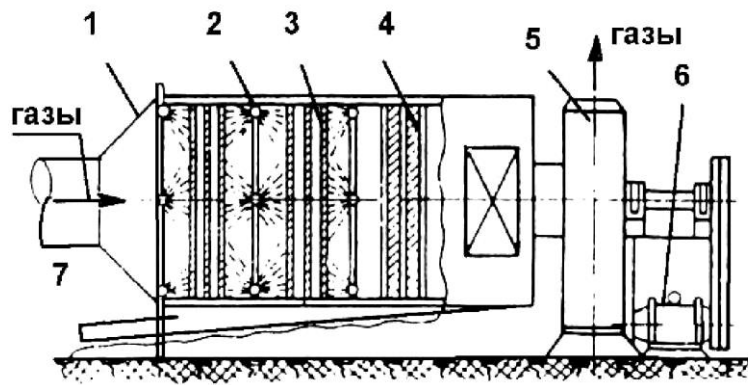


Рис. 20. Промывная камера:

1- камера; 2 - форсунки; 3 - перфорированные перегородки;
4 - брызгоуловитель; 5 - вентилятор; 6 - электродвигатель; 7 - шламовая труба

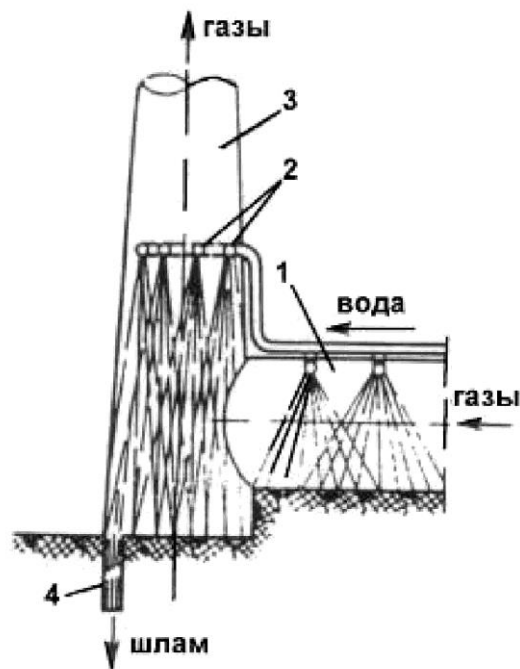


Рис. 21. Оросительное устройство:

1 - газоход; 2 - форсунки; 3 - дымовая труба; 4 - шламовая труба

При несколько больших скоростях газа применяют оросительные камеры (устройства). Внутри камеры в несколько рядов размещаются распылительные форсунки для создания водяных завес на пути газа. Для повышения эффективности промывки газа в камере дополнительно устанавливают отбойные пластины, перфорированные листы, сетки. Такие камеры обычно применяются для очистки от пыли и увлажнения воздуха в установках воздухоподготовки (кондиционирования).

Полые форсуночные скрубберы (рис. 22)- это цилиндрические или прямоугольные в плане колонны с форсунками. Они обычно работают в противопоточном режиме. Скорость потока газа обычно 0,6-1,2 м/с. Для увеличения эффективности форсунки устанавливают в несколько рядов. Высокая степень очистки в полых скрубберах достигается при улавливании частиц с $d_{\text{ч}} > 10$ мкм.

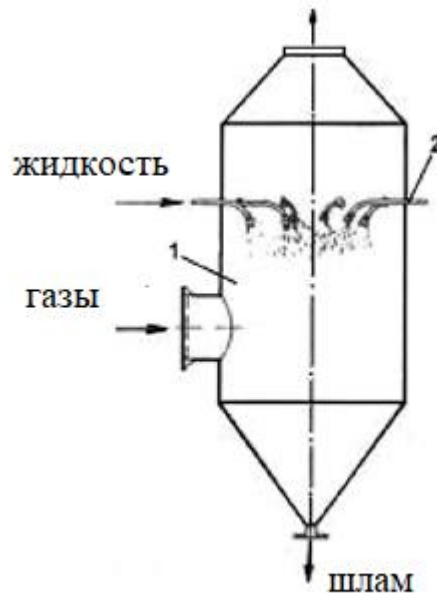


Рис 22. Полый скруббер:
1 - корпус; 2 - форсунки

5.2. Насадочные газопромыватели

Насадочные скрубберы - это цилиндрические в плане колонны, заполненные различной формы насадками (в виде колец, седел и других форм), которые укладывают упорядоченно или беспорядочно располагают на опорную решетку. Обычно применяются два типа аппаратов: газопромыватели в виде колонн с противотоком газа и жидкости и насадочные скрубберы с поперечным орошением (рис. 23). Последние применяются, когда пыль является хорошо смачиваемой, растворимой в воде или когда процесс улавливания пыли может сопровождаться охлаждением или абсорбцией. Расход жидкости в скруббере с поперечным орошением обычно составляет 0,13-0,4 л/м³, а эффективность улавливания частиц размером более 3 мкм превышает 85 %.

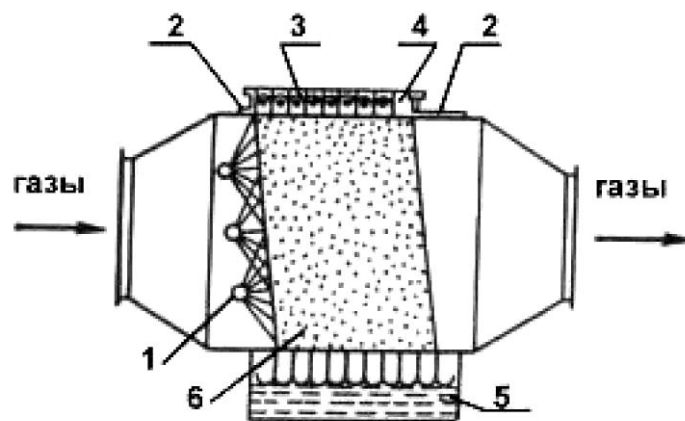


Рис. 23. Насадочные скрубберы с поперечным орошением:
 1 - форсунки; 2 - опорные решетки; 3 - оросительное устройство; 4 - неорошаемый слой насадки (брызгоуловитель); 5 - шламосборник; 6 - насадка

5.3. Барботажные и пенные аппараты

В барботажных аппаратах (барботерах) газ проходит через слой жидкости в виде пузырьков, на поверхности которых происходит осаждение частиц. При этом скорость подъема пузырьков газа должна быть не намного большей, чем скорость свободного всплытия ($\sim 0,35$ м/с). Высокая эффективность достигается при очистке от частиц $d_{\text{ч}} > 5$ мкм. Их недостатком является малая производительность.

В пенных аппаратах очистка реализуется с помощью слоя пены, образуемой на решетках или тарелках (показаны на рис. 24). В настоящее время предпочтение отдается аппаратам с провальными тарелками. Аппараты с провальными тарелками в зависимости от скорости газа могут работать в трех режимах: барботажном, пенном и волновом, при котором наблюдается рост сопротивления тарелки и увеличение уносимой с брызгами жидкости.

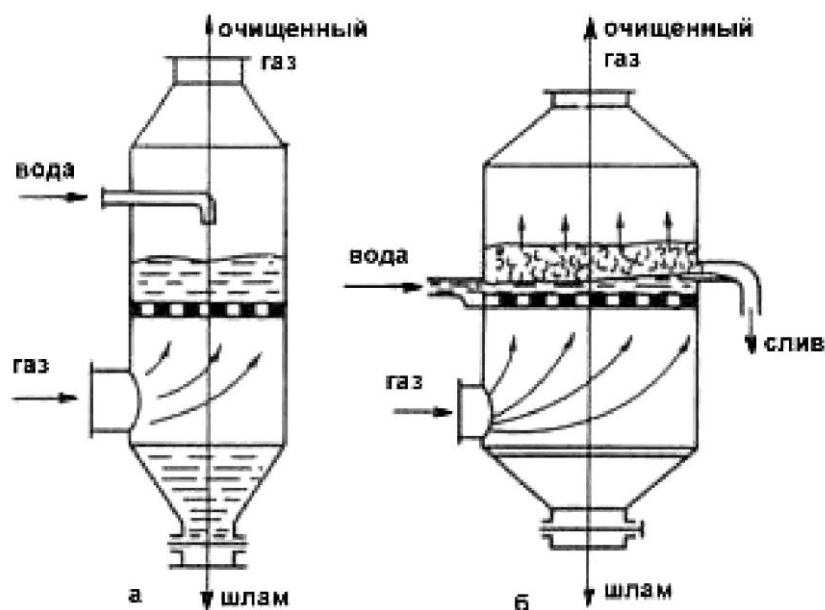


Рис. 24. Барботажно-пенный пылеуловитель с провальной (а) и переливной (б) решетками

Наиболее эффективным и интересным является пенный режим, при котором создаются наилучшие условия для захвата частиц пыли турбулизированными поверхностями (пленками) жидкости.

Различают следующие стадии процесса улавливания пыли в пенных аппаратах:

- инерционное осаждение частиц пыли (в подрешеточном пространстве);
- первую стадию улавливания частиц пыли в пенном слое (механизм удара в надрешеточном пространстве);
- вторую стадию улавливания частиц пыли в пенном слое (инерционно-турбулентное осаждение частиц на поверхности пены).

Эффективность улавливания пыли в подрешеточном пространстве значительна (более 50 %) при улавливании пыли размером частиц более 10 мкм. Основным и преобладающим в работе пенных аппаратов для пылеулавливания является «механизм удара». Эффективность этого механизма намного больше эффективности других механизмов.

5.4. Газопромыватели ударно-инерционного действия

В таких газопромывателях контакт газов с жидкостью осуществляется за счет ударного контакта газопылевого потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной смеси через отверстия различной конфигурации или непосредственным отводом газожидкостной смеси в сепаратор жидкой фазы. В результате такого взаимодействия образуются капли диаметром 300-

400 мкм.

Самым простым по конструкции является пылеуловитель ударно-инерционного действия (рис. 25). Газопылевой поток с большой скоростью входит сверху в колонну. При повороте на 180° происходит инерционное осаждение частиц пыли на каплях жидкости. В основе процесса осаждения лежит «механизм удара». Имеются и другие конструкции аппаратов этого типа (например, скруббер Дойля (рис. 26)).

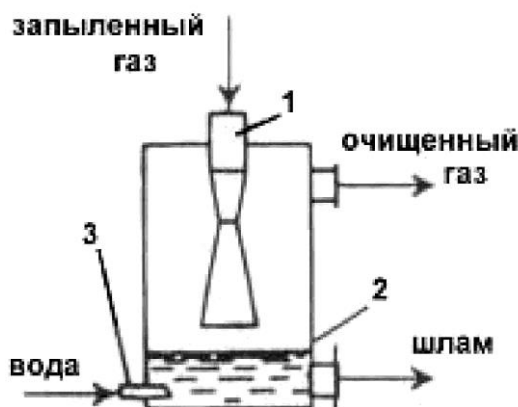


Рис. 25. Пылеуловитель ударно-инерционного действия:
1 - входной патрубок; 2 резервуар с жидкостью; 3 – сопло

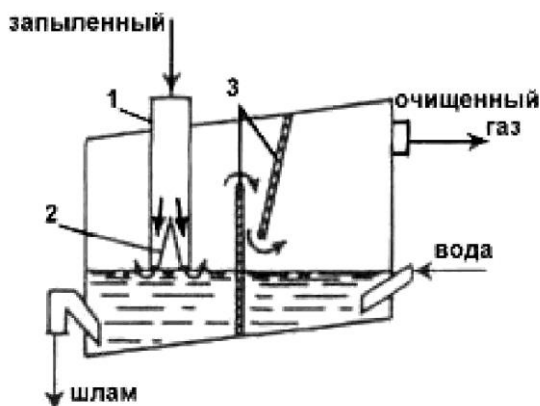


Рис. 26. Скруббер Дойля:
1 - труба; 2 - конус; 3 – перегородки

В нижней части трубы установлены конусы для увеличения скорости выхода газа. В щели она равна 35-55 м/с. Газ ударяется о поверхность жидкости, создавая завесу из капель. Дополнительно установлены перегородки, повышающие эффективность очистки. Гидравлическое сопротивление газопромывателя варьируется от 500 до 4000 Па, удельный расход жидкости составляет примерно 0,15 л/м³.

5.5. Ротоклон

В конструкциях ротоклона (рис. 27) предусмотрены несколько изогнутых щелевых каналов (импеллеров), нижняя часть которых затоплена жидкостью. Ударяясь о поверхность жидкости, газовый поток захватывает часть жидкости и заставляет ее двигаться вдоль нижней направляющей канала. После чего 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 обычно не превышает 14 м/с. Основным требованием для эффективной работы ротоклона является поддержание постоянного уровня жидкости в нем. Удаление шлама из отстойника осуществляется периодически (вручную) или непрерывно с помощью скребкового конвейера. Расход воды в ротоклонах значительно ниже, чем в других мокрых пылеуловителях. Вода в количестве, не превышающем $0,03 \text{ л/м}^3$, подается в основном для компенсации ее потерь за счет испарения и уноса со шламом.

Производительность промышленных ротоклонов колеблется от 5000 до 100000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

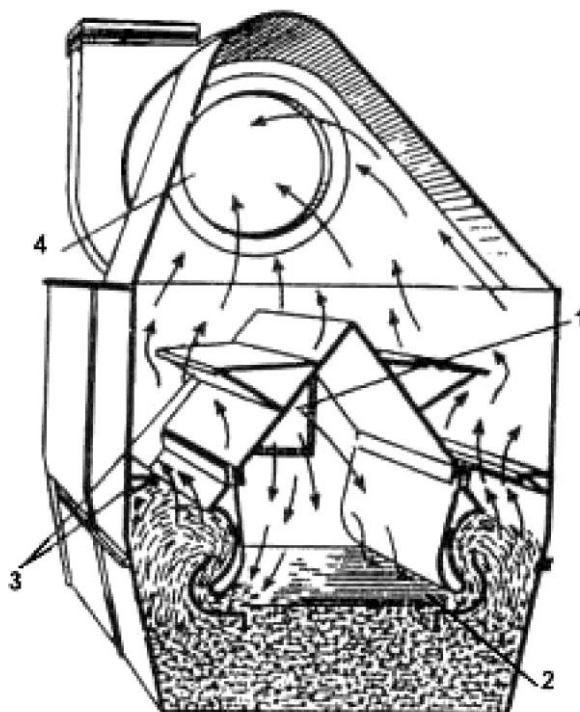


Рис. 27. Ротоклон:

- 1 - устройство для подвода газов; 2 - направляющие лопатки;
3 - каплеотбойник; 4 - устройство для вывода газов

5.6. Газопромыватели центробежного действия

Среди таких аппаратов наибольшее распространение получили центробежные скрубберы, которые можно разделить на два типа:

1) аппараты, в которых поступающий газовый поток закручивается при помощи центрального лопастного закручивающего устройства;

2) аппараты с боковым тангенциальным или улиточным подводом газа. Последние орошают через форсунки, установленные в центральной части аппарата, причем жидкость, стекающая по внутренней поверхности стенки аппарата, образует пленку.

Большая часть отечественных центробежных скрубберов имеют тангенциальный подвод газов и пленочное орошение (рис. 28). Такие аппараты используют для очистки любых видов нецементирующейся пыли.

При содержании пыли, превышающем 2 г/м^3 , до очистки в циклоне с водяной пленкой рекомендуется предварительная очистка газов в аппарате другого типа. Для улавливания смачиваемой пыли (за исключением волокнистой и цементирующейся) при начальной концентрации до 5 г/м^3 используют скоростные промыватели.

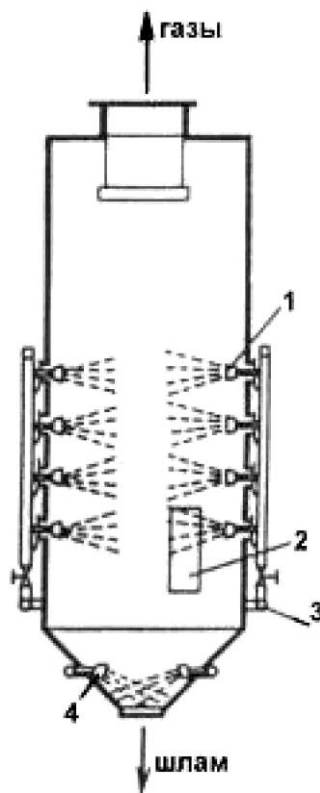


Рис. 28. Центробежный скруббер с боковым расположением форсунок:

- 1- форсунка; 2 - устройство для ввода газов; 3 - водяной коллектор;
- 4 - форсунка для орошения стенок бункера

5.7. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)

Скрубберы Вентури - наиболее эффективные из аппаратов мокрой очистки газов. В связи с непрерывно возрастающими требованиями к эффективности очистки газопылевых выбросов промышленных предприятий скрубберы Вентури постепенно становятся наиболее востребованным видом мокрых пылеуловителей. Скруббер Вентури представляет собой трубу Вентури, в которую подводится орошающая жидкость, и установленный за ней каплеуловитель. Скруббер Вентури может изготавливаться как с выносным (рис. 29, а), так и с встроенным каплеуловителем (рис. 29, б).

Принцип действия скруббера Вентури основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 50-150 м/с), орошающей его жидкости и осаждению частиц на образующихся каплях жидкости.

По форме поперечного сечения трубы Вентури рассматриваемые скрубберы подразделяются на круглые и щелевые. Для малых расходов газов применяются главным образом круглые, для больших – щелевые. так как при диаметре горловины большем 0,25-0,35 м, первые не позволяют обеспечить равномерное распределение плотности орошения в ее поперечном сечении.

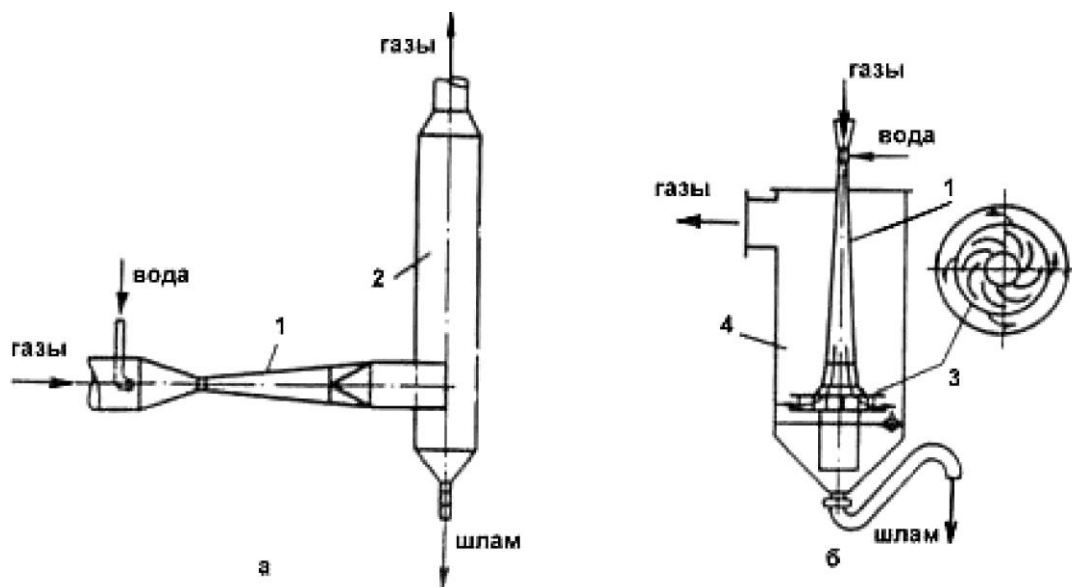


Рис. 29. Скрубберы Вентури: а - с выносным каплеуловителем; б - с встроенным каплеуловителем;

1 - труба Вентури; циклон каплеуловитель; 3 - розеточное устройство;
4 - каплеосадительная камера

При больших расходах газов применяют групповые компоновки нескольких труб Вентури с небольшим круглым сечением или так

называемые батарейные скрубберы Вентури (рис. 30), реже - скрубберы Вентури с предварительным дроблением орошающей жидкости и эжекторные скрубберы Вентури (рис. 31) со скоростью истечения жидкости в форсунке до 30 м/с.

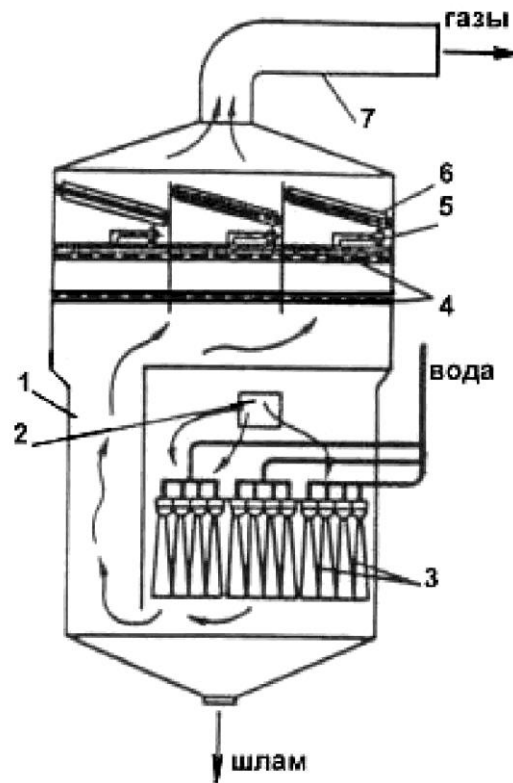


Рис. 30. Батарейный скруббер Вентури:

- 1 - корпус; 2 - ввод газов; 3 - трубы Вентури; 4 - провальные тарелки;
5 - оросительное устройство; 6 - каплеотбойник; 7 – отвод газов

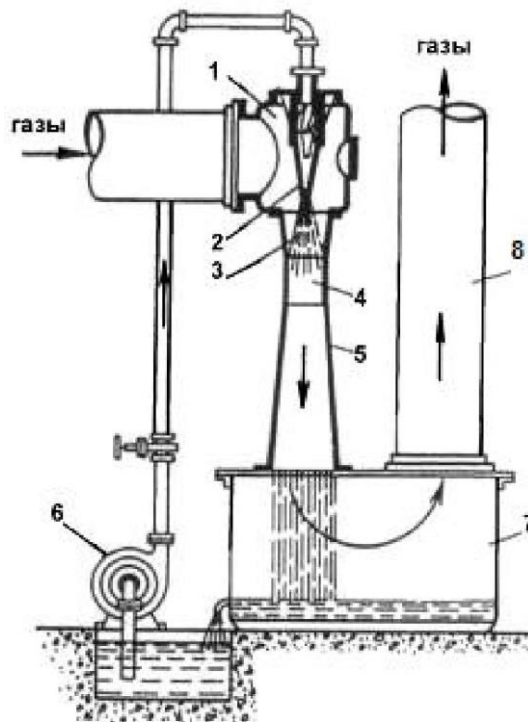


Рис. 31. Эжекторный скруббер:

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

5.8. Туманоуловители

При очистке воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей используют туманоуловители, представляющие собой волокнистые фильтры, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности волокон, их коалесценцией и последующим стеканием жидкости под действием сил тяжести.

По скорости газоздушного потока туманоуловители подразделяются на низкоскоростные ($v_T \leq 0,15$ м/с) и высокоскоростные ($v_T = 2-2,5$ м/с), где осаждение происходит главным образом под воздействием инерционных сил.

Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя (рис. 32). В пространство между двумя сеточными цилиндрами 3, помещается волокнистый фильтроэлемент 4, который крепится через фланец 2 к корпусу туманоуловителя 1. Жидкость, осевшая на фильтроэлементе, стекает на нижний фланец 5 и затем через трубку гидрозатвора 6 и стакана 7 сливается из фильтра. Волокнистые низкоскоростные туманоуловители обеспечивают очень высокую эффективность очистки (до 99%) газа от частиц размером менее 3 мкм и полностью улавливают частицы большего размера. Волокнистые

слои формируются набивкой стекловолокна диаметром от 7 до 30 мкм или полимерных волокон (лавсана, ПВХ, полипропилен) диаметром от 12 до 40 мкм. Толщина слоя составляет 5-15 см. Гидравлическое сопротивление сухих фильтроэлементов равно 200-1000 Па, а в режиме очистки без образования твердого осадка - 1200-2500 Па.

Высокоскоростные туманоуловители имеют меньшие габаритные размеры и обеспечивают эффективность очистки газа от тумана с частицами менее 3 мкм, равную 0,90-0,98 при $\Delta p=1500-2000$ Па. В качестве фильтрующей набивки в таких туманоуловителях используются войлоки из полипропиленовых волокон, которые успешно работают в агрессивных средах (разбавленных и концентрированных кислотах и щелочах).

Для мелкодисперсных туманов (диаметр капель 0,6-0,7 мкм), для достижения необходимой эффективности очистки увеличивают скорость фильтрации (до 5 м/с). Рост скорости фильтрации приводит к заметному брызгоуносу, поэтому на выходе устанавливаются брызгоуловители

Для улавливания жидких частиц размером более 5 мкм применяют брызгоуловители из пакетов сеток. Захват частиц жидкости в таких брызгоуловителях (рис. 33) происходит за счет эффекта касания и инерционных сил. Скорость фильтрации в брызгоуловителях не должна превышать 5 м/с.

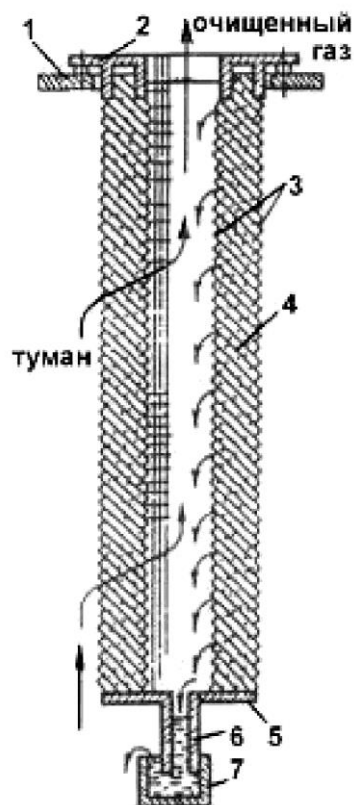


Рис. 32. Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя

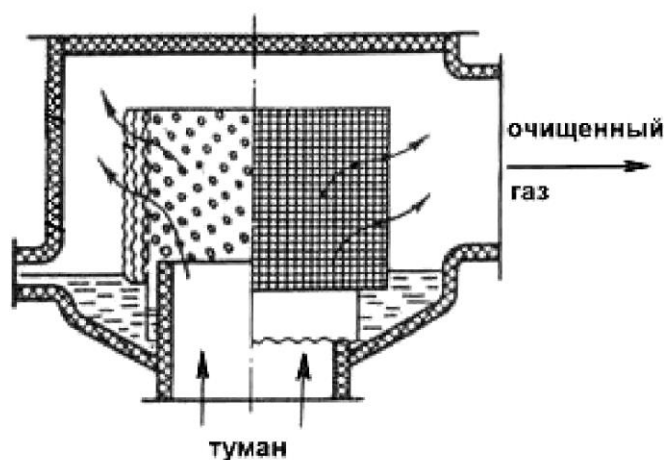


Рис. 33. Высокоскоростной фильтр

6. Методы абсорбции и хемосорбции в газоочистке

Процессы очистки промышленных выбросов предприятий от газо- и парообразных примесей имеют некоторые особые моменты: во-первых, газы, выбрасываемые в атмосферу, имеют довольно высокую температуру и содержат большое количество пыли, что вызывает затруднения, связанные с предварительной подготовкой отходящих газов; во-вторых, концентрация газообразных и парообразных при-

месей (особенно в аспирационных выбросах) часто имеет переменный состав с малыми концентрациями загрязняющих веществ.

Методы абсорбционной очистки выбросов промышленных предприятий подразделяются на две группы:

- промывка выбросов растворителями примеси (метод абсорбции);
- промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (метод хемосорбции);

6.1. Метод абсорбции

Метод абсорбции заключается в поглощении одного или нескольких газовых компонентов из газовой смеси поглотителем (называемым *абсорбентом*) с образованием раствора. Физическая сущность процесса абсорбции объясняется так называемой *пленочной теорией*, согласно которой при соприкосновении жидких и газообразных веществ на границе раздела фаз газ-жидкость образуется жидкостная и газовая пленки. Растворимый в жидкости компонент газовой смеси на первой стадии путем диффузии проходит сначала через газовую пленку, а затем, на второй стадии - сквозь жидкостную пленку и поступает во внутренние слои абсорбента. Для этого стараются проводить процесс абсорбции таким образом, чтобы концентрация растворяемого компонента в газовой смеси была выше его равновесной концентрации над жидкостью.

Выбор абсорбента зависит от растворимости в ней поглощаемого газа, температуры и парциального давления газа над жидкостью, при этом важно, чтобы растворимость извлекаемого вещества в газе была максимальной при определенных температуре и давлении. Газы принято считать хорошо растворимыми, если растворимость составляет порядка сотни граммов на 1 кг растворителя.

Для удаления из технологических выбросов таких газов, как аммиак, хлористый или фтористый водород, целесообразно применять в качестве поглотительной жидкости воду, так как растворимость их в воде составляет сотни граммов на 1 кг H_2O . Однако, при абсорбции из газов сернистого ангидрида или хлора расход воды (абсорбент) будет значительным, так как растворимость их составляет сотые доли грамма на 1 кг воды, поэтому в некоторых случаях вместо воды применяют водные растворы химических веществ (как серная кислота для улавливания водяных паров), вязкие масла (для улавливания

ароматических углеводородов) и др.

Абсорбционные процессы, как правило, состоят из двух основных стадий: абсорбции и десорбции. Процесс десорбции растворенного газа (или регенерация растворителя) проводится снижением общего давления (или парциального давления) примеси, или повышением температуры, или использованием обоих приемов одновременно.

В промышленности применяются пленочные, насадочные, трубчатые и другие абсорберы. Наибольшее распространение получили абсорберы (скрубберы), внешне схожие с газопромывателями, внутри которых заложена инертная насадка (рис. 34). В качестве насадки 1, обеспечивающей большую поверхность контакта газа с жидкостью, обычно используются кольца Рашига (рис. 35), седла Берля и др. Насадки изготавливаются как правило, из инертного материала (керамика, фарфор, уголь, пластмассы). Орошение колонн абсорбентом осуществляется при помощи одного или нескольких разбрызгивателей (форсунок).

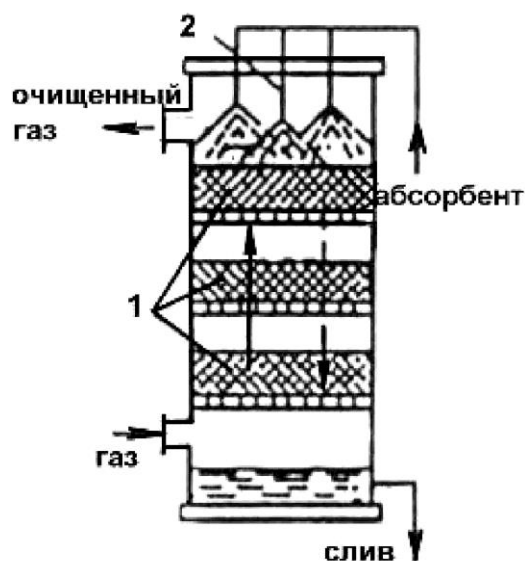


Рис. 34. Орошаемая противопоточная насадочная башня:

- 1 - химически инертная насадка
- 2 - разбрызгиватели

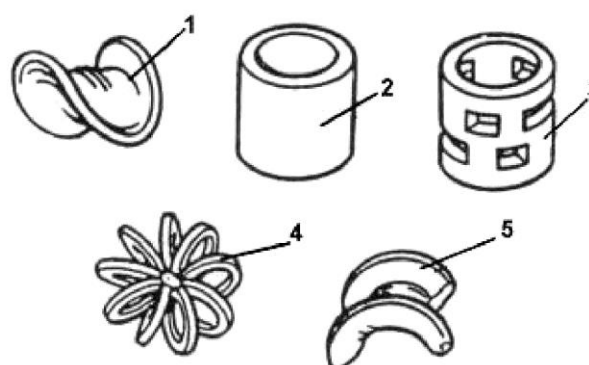


Рис. 35. Формы стандартных элементов насадки

- 1 - седло Берля; 2 - кольцо Рашига;
- 3 - кольцо Паля; 4 - розетка Теллера;
- 5 - седло «Инталокс»

Кроме вышеприведенных абсорберов большое распространение получили башни с колпачковыми тарелками. На рис. 36 изображена схема устройства тарельчатого абсорбера, в котором вместо насадки установлено несколько тарелок 1. Каждая тарелка снабжена колпачка-

ми 2 с зубчатыми краями, патрубками 3 и переливными трубками 4. Абсорбент в этих аппаратах стекает от тарелки к тарелке по переливным трубкам. Очищаемый газ движется снизу вверх в направлении, указанном стрелками, барботируя через слой жидкости. При прохождении газа между зубцами колпачков газ разбивается на множество струек и пузырьков, в результате чего образуется большая поверхность соприкосновения взаимодействующих веществ.

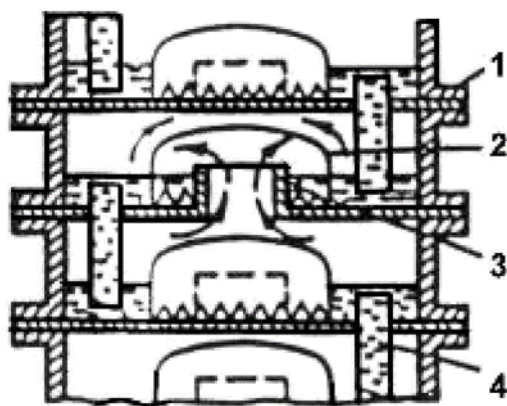


Рис. 36. Схема колпачково-тарельчатого абсорбера:

1 - тарелки; 2 - колпачки с зубчатыми краями; 3 - патрубки; 4 - переливные трубки

В качестве абсорберов могут использоваться и такие устройства, как мокрые скрубберы Вентури и центробежные скрубберы (рис. 28 и 29) и др.

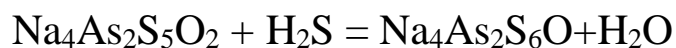
6.2. Метод хемосорбции.

Метод хемосорбции отличается от физической абсорбции тем, что при хемосорбции образуются малолетучие или малорастворимые химические соединения. Большинство реакций, протекающих в процессе хемосорбции, являются экзотермическими и обратимыми, поэтому при повышении температуры раствора образующееся химическое соединение разлагается с выделением исходных элементов.

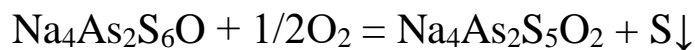
Поглотительная способность хемосорбента практически не зависит от давления, поэтому хемосорбция более выгодна при небольшой концентрации вредных примесей в отходящих газах.

Примером хемосорбции может служить очистка газовой смеси от сероводорода путем применения мышьяковощелочного, этаноламинового и других растворов. При мышьяковощелочном методе извлекаемый из отходящего газа сероводород связывается

оксисульфомышьяковой солью, находящейся в водном растворе по реакции:



Регенерация раствора производится окислением образовавшегося продукта кислородом, содержащимся в очищаемом воздухе:



В этом случае в качестве побочного продукта получается сера.

Основным видом оборудования для процессов хемосорбции служат насадочные башни, пенные и барботажные скрубберы, распылительные аппараты типа труб Вентури и аппараты с различными механическими распылителями. В промышленности распространены аппараты с подвижной насадкой, к достоинствам которых относятся высокая эффективность разделения при умеренном гидравлическом сопротивлении, а также большая пропускная способность по газу.

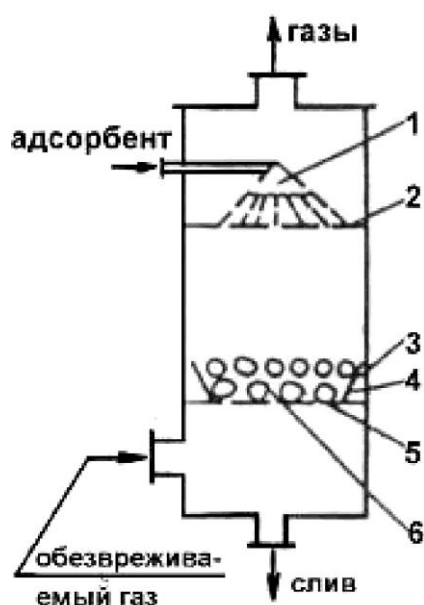


Рис. 37. Скруббер с подвижной насадкой

На рис. 37 показана принципиальная схема скруббера с подвижной насадкой. В верхней части аппарата установлен ороситель 1, а под ним размещены верхняя 2 и нижняя опорная 5 ограничительные решетки, между которыми находится подвижная насадка. К опорной решетке меньшим основанием прикреплен расширяющийся усеченный кольцевой элемент 4, делящий пространство опорной решетки на кольцевую 3 и центральную 6 зоны. В качестве насадочных тел используют полые, сплошные и перфорированные шары, а также коль-

ца, полукольца, кубики, скрещенные сплошные и перфорированные диски.

Очищаемый газ подается в аппарат под опорную решетку и делится на два потока: центральный и кольцевой. При прохождении кольцевой зоны поток газа сужается, увеличивает скорость движения, вступает в контакт с прижимаемыми к стенке элементами подвижной насадки и перемещает их от стенки в центральный поток. Насадка совершает пульсационное движение в центральном и прилегающем к стенке аппарата потоках, турбулизирует взаимодействующие фазы и обеспечивает высокую эффективность обработки газа жидкостью. В тех случаях, когда в результате процесса выпадает осадок, подвижная насадка удаляет его со стенок корпуса аппарата или опорной решетки.

Преимущество абсорбционных методов заключается в экономичности очистки большого количества газов и осуществлении непрерывных технологических процессов. Эффективность мокрой очистки газов, отходящих, например, от гальванических ванн с помощью скруббера при обезвреживании их 2-3 %-ным водным раствором едкой щелочи, составляет по хлороводороду 0,85-0,92 и по оксидам азота (NO_2) - 0,65. При использовании в качестве поглотительной жидкости воды эффективность очистки по HCl снижается до 0,75.

Главным недостатком всех вышеприведенных методов мокрой очистки является то, что в процессе пылегазоулавливания значительно снижается температура очищенных газов, что приводит к снижению достаточно эффективного рассеивания их в атмосфере. К тому же, аппараты этих методов очистки достаточно большие и для их нормальной работы требуются системы жидкостной обработки. Кроме того при работе жидкостных поглотительных установок всегда образуются большие объемы жидких шламов, которые необходимо впоследствии подвергать утилизации.

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

7.1. Гравиметрическое определение пыли в воздухе рабочей зоны

Цель работы: изучить методики гравиметрического определения пыли в воздухе рабочей зоны

Основные свойства промышленной пыли

Мелкие твердые частицы, находящиеся в газообразной среде во взвешенном состоянии, образуют пылевые аэрозоли: твердые частицы в ней составляют дисперсную фазу, а воздух — дисперсионную среду.

В зависимости от размеров частиц пыль подразделяют на следующие классы:

- очень крупнодисперсную пыль (диаметр частиц более 140 мкм);
- крупнодисперсную пыль (диаметр частиц — 40-140 мкм);
- среднедисперсную пыль (диаметр частиц — 10-40 мкм);
- мелкодисперсную пыль (диаметр частицы — 1-10 мкм);
- очень мелкодисперсную пыль (диаметр частиц — менее 1 мкм).

Наибольшее практическое значение имеют промышленные пыли, образованные в результате различных технологических процессов. Можно выделить такие основные источники образования промышленной пыли как: процессы перемещения (загрузка, разгрузка сыпучих и кусковых пород полезных ископаемых) различные технологические процессы, связанные с механической обработкой материала и т.д.

Частицы пыли имеют совершенно различные формы, это могут быть как волокна, иглы, так и в форме листиков и т.п.. Замечено, что частицы разной формы с одинаковой массой оседают с разной скоростью, причем частицы в более сферической форме оседают быстрее. Пыль в основном сохраняет свойства тех веществ, из которых она образуется, однако, пыль также приобретает свои, особые свойства, которые могут отличаться от свойств первоначального материала. Появляются новые свойства пылей: дисперсность, ее способность витать, удельная поверхность, поглощательная способность, электрические свойства, а в особых условиях — горючесть и взрываемость пыли. Большое количество пыли находится в витающем состоянии в воздухе производственных помещений, может многократно оседать на оборудование и вновь подниматься в воздух при движении воздушных масс. Скорость оседания частиц

пыли зависит многих факторов: массы, формы и размера (диаметра) частиц, свойств среды, и т.д. Развитая поверхность пыли придает ей особые свойства — пыль приобретает высокую поглотительную (сорбционную) способность, может приобретать электростатический заряд, а в некоторых случаях способна взрываться.

Реактивы, аппаратура, материалы

Цель работы: Изучить методику определения пыли гравиметрическим методом.

Осушитель для снаряжения эксикатора (плавленый хлористый кальций и др.).

Аналитические весы типа АДВ 200, (обеспечивающие точность $\pm 0,1$ мг).

Электроаспиратор М-822 с производительностью до 150-200 л/мин в комплекте с двумя ротаметрами на расход воздуха до 75-150 л/мин и погрешностью в пределах ± 5 % от измеряемой величины.

Аналитические аэрозольные фильтры АФА-ВП-10, АФА-ВП-20 или АФА-ХП-20.

Фильтр АФА представляет собой кружочек (диск) с опрессованными краями (собственно фильтрующий элемент), помещенный в бумажный чехол (защитные кольца). Каждый фильтр вместе с защитными кольцами упакован в пакетик из кальки, и по 10 штук собранных таким образом фильтров вложены в отдельные ячейки — кассеты из плотной бумаги. Кассеты обтянуты резиновым кольцом, в количестве 10 шт. вместе с инструкцией по применению фильтров упакованы в картонную коробку. На кассетах и коробках имеется маркировка, указывающая вид фильтров, дату их изготовления и удельные аэродинамические сопротивления фильтра.

В маркировке фильтров первая буква после букв АФА указывает на вид анализа («В» — весовой, «Х» — химический и др.). Следующая буква характеризует материал фильтра («П» — перхлорвинил, «А» — ацетилцеллюлоза). Цифры, написанные через черточку в конце маркировки, указывают на площадь рабочей поверхности фильтра в кв. см.

Таблица 5

Рабочая характеристика фильтров АФА, применяемых при гравиметрическом анализе

Характеристика	Марка фильтра		
	АФА-ВП-10	АФА-ВП-20	АФА-ХА-20
Масса, мг	55	110	135
Допустимая скорость аспирации, л/мин	50	100	100
Пылеемкость (максимальная навеска пыли), мг	50	100	100
Термостойкость (допустимая температура), °С	60	60	150

Аллонжи (аэрозольные патроны, фильтродержатели) типа ИРА-10 и ИРА-20 изготавливаются из алюминия или ударопрочного полистирола. Цифры и маркировка аллонжей указывают на размеры используемого фильтра. Например, аллонж ИРА-10 применяется в комплекте с фильтрами АФА-10. Эксикатор. Пинцет аналитический.

Часы или секундомер (для фиксирования продолжительности отбора проб с точностью отсчета $\pm 0,5$ с).

Отношение фильтров к разным средам

Среда	Разновидности фильтров		
	АФА-ВП	АФА-ВП	АФА-ХА
1	2	3	4
Влага	гидрофобны	гидрофобны	гидрофобны
Минеральные кислоты и щелочи	устойчивы	устойчивы	неустойчивы
Органические растворители	растворимы в ацетоне, дихлорэтане	растворимы в ледяной уксусной к-те,	нерастворимы в бензоле

Отбор пробы воздуха

Взвешивание фильтров АФА-ВП производится на аналитических весах с точностью $\pm 0,1$ мг. Массу фильтрующего элемента определяют в следующей последовательности. Фильтр с защитными кольцами и пакетиком из кальки извлекают из бумажной кассеты (при этом с последней снимают стягивающее резиновое кольцо), разворачивают пакетик, раскрывают половинки защитных колец и с помощью пинцета устанавливают фильтрующий элемент на середину чашки весов. При этом фильтр не должен выступать за края чашки весов. Несоблюдение этого правила ввиду наличия на фильтре статического электрического заряда может привести к грубым погрешностям при определении массы.

Фильтры АФА-ВП-20 перед взвешиванием рекомендуется сложить пинцетом вчетверо, а фильтры с площадью рабочей поверхности более 20 кв. см следует взвешивать, пользуясь «тарой» в виде коробочки, изготовленной из тонкой металлической фольги.

Взвешенные фильтры с помощью пинцета осторожно распрямляют, вкладывают в защитные кольца и помещают в пакетик из кальки. Номер каждого фильтра записывают на выступающей части защитных колец, а полученную массу с точностью до четвертого знака фиксируют в рабочем журнале.

Фильтры к месту отбора доставляют в бумажных кассетах, обтянутых резиновыми кольцами.

На производстве вблизи намеченного места отбора пробы устанавливают электроаспиратор и его всасывающие патрубки с помощью резиновых трубок соединяют с аллонжами, закрепленными в точке отбора проб на штативе на уровне дыхания. Затем предварительно взвешенный фильтр извлекают из бумажной кассеты, освобождают от пакетика из кальки и вместе с защитными кольцами устанавливают в гнездо пылевого аллонжа, припустив выступающую часть защитных колец в соответствующую прорезь. После этого фильтр посредством накидной гайки плотно закрепляют в аллонже (при этом бумажные кольца выполняют также роль уплотняющих колец).

Включают электроаспиратор и с помощью регулировочных вентилях устанавливают по ротаметру заданную объемную скорость воздуха.

Отбор пробы воздуха прекращают, выключают электроаспиратор, снимают фильтр с защитными кольцами с корпуса аллонжа. При всех манипуляциях необходимо держать аллонж фильтр кверху.

Разворачивают защитные кольца (чехол) и перегибают фильтрующий элемент пополам запыленной стороной внутрь и вновь зажимают его между створками защитных колец.

Фильтр с чехлом, вложенный в пакетик из кальки, помещают в свободную ячейку бумажной кассеты.

В рабочем журнале отмечают номера фильтров и фиксируют начало и конец отбора проб.

В одной точке одновременно отбирают обычно две пробы. Для возможности статистической обработки результатов или выявления динамики изменения запыленности воздуха производят отбор не менее трех последовательных проб с заранее установленными интервалами времени.

Объем аспирируемого воздуха зависит от предполагаемого содержания пыли и определяется, по существу, необходимостью накопления на фильтре такого количества пыли, которое достаточно для надежного взвешивания (1-2 мг) и не превышает пылеемкости применяемого фильтра.

Ориентировочные скорости аспирации и продолжительность отбора проб

Содержание пыли, мг/м ³	Скорость аспирации, л/мин	Продолжительность пробоотбора, мин.
Менее 0,5	100	30
0,5-2,0	100	20-30
2-10	50	10-20
10-50	20	10
Более 50	20	5

Примечание. При нагрузке по воздуху более 3-4 л/мин.см² фильтр рекомендуется устанавливать в аллонж на опорную сетку, которую можно изготовить путем вклеивания тонкой металлической или капроновой сетки между створками защитных колец.

Определение содержания пыли в воздухе

Фильтры с пробами, вложенными в бумажную кассету, доставляют в химическую лабораторию для повторного взвешивания или химического анализа дисперсной фазы аэрозоля.

Фильтры извлекают из кассеты и в течение 30-40 мин выдерживают в лаборатории (весовой комнате) для принятия температуры помещения и установления равновесия по влаге воздуха.

Определение привеса пыли производится на одних и тех же аналитических весах при строгом соблюдении первоначальных условий взвешивания (фильтр вынимают из пакетика и извлекают из защитных колец). Фильтры АФА-ВП-10 перед взвешиванием осторожно распрямляют и кладут на середину чашки весов чистой стороной книзу. Фильтры АФА-ВП-20 взвешивают сложенными вчетверо, как и при первоначальном определении массы.

Если отбор проб производится при высокой влажности (100 %-ной относительной влажности), то фильтры выдерживают в течение не менее 2 часов в эксикаторе над осушающим веществом.

Содержание пыли в мг/м³ воздуха X вычисляют по формуле:

$$X = 1000 W / V_{20}$$

где ΔW — привес фильтра, мг; V_{20} — объем аспирированного воздуха, приведенный к стандартным условиям, л.

По данным анализа делают вывод о запыленности воздуха. (ПДК м.р. пыли 0,5 мг/м³ ПДК с.с. пыли 0,15 мг/м³).

7.2. Определение плотностей промышленных пылей

Цель работы: изучить методики экспериментального определения плотностей промышленных пылей.

Оборудование и материалы: мерный цилиндр, аналитические весы, навеска пыли, пикнометр, вакуум-насос, термометр.

Методические указания

Плотность является одной из важных характеристик пыли, без которых невозможно произвести выбор и последующий расчет пылеочистного оборудования. Она нужна для определения скорости витания частиц, емкости бункеров пылеуловителей и т.д. По определению, плотность пыли - это масса единицы ее объема. Различают истинную и насыпную плотность пыли. Истинная плотность - это плотность твердого материала пыли (без учета пор, зазоров между частицами). Насыпная плотность - масса пыли в единице объема, ею заполненном. На практике величина истинной плотност всегда больше величины насыпной плотности. Параметры плотностей некоторых промышленных пылей представлены в табл.8.

Таблица 8

Плотности некоторых веществ

Материал	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³
Графитная пыль	1900...2300	1200
Асбестовая пыль	2100...2800	600
Доменная пыль	3100...2800	860

Плотность твердого тела легко определяется взвешиванием единицы его объема. Если точный объем тела определить затруднительно, его плотность определяют гидравлическим взвешиванием. Тело, плотность которого необходимо определить,

подвешивают на тонкой нити к одной из чашек точных весов и

$$V_{\tau} = \frac{M_1 - M_2}{\rho_{\text{в}}}$$

определяют его массу M_1 в воздухе и при полном погружении в емкость с водой M_2 . Разность масс $M_1 - M_2$ равняется массе вытесненной воды $M_1 - M_2 = V_m \rho_{\text{в}}$. Откуда объем твердого тела где $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды.

Тогда плотность тела

$$\rho_{\tau} = \frac{M_1}{V_{\tau}} = \frac{M_1 \rho_{\text{в}}}{M_1 - M_2}.$$

Определение истинной плотности пыли связано с некоторыми трудностями, основной из которых является учет промежутков между частицами пыли, а также пористость самих частиц. Истинную плотность порошкообразных материалов обычно определяют с помощью пикнометра. Суть метода заключается в определении объема жидкости, вытесненной порошком, масса которого известна. Частное от деления массы материала на вытесненный им объем есть истинная плотность. Однако необходимо соблюдать следующее условие: жидкость, используемая для определения истинной плотности $\rho_{\text{и}}$, не должна химически взаимодействовать с пылью. Если такой жидкости нет, то можно применить метод, основанный на законе Бойля-Мариотта, согласно которому при $T = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$. Если в герметичный сосуд при постоянной температуре поместить определенное количество пыли, то давление в нем увеличится. По изменению давления можно определить объем пыли и, зная ее массу, рассчитать истинную плотность. Расчетную схему в данном случае можно представить следующим образом:

Добавили пыль \rightarrow Определили $p_2 \rightarrow$

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} \rightarrow V_{\text{п}} = V_1 - V_2 \rightarrow \rho_{\text{и}} = \frac{m}{V_{\text{п}}}$$

На рис. 38 представлены схемы экспериментальных установок по определению насыпной и истинной плотности.

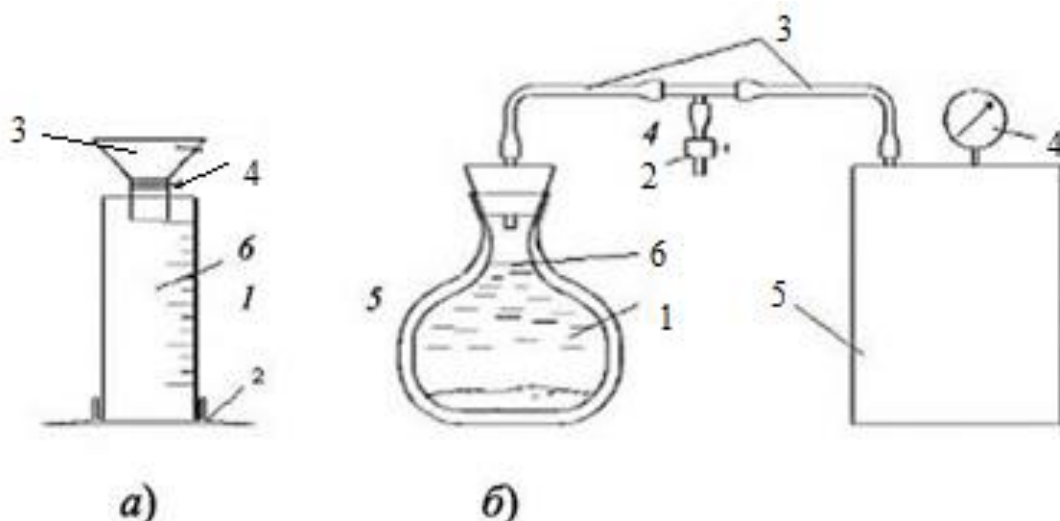


Рис.38. Схемы экспериментальных установок

a — насыпная плотность: 1 — мерный цилиндр; 2 — основание; 3 — бункер; 4 — задвижка;

б - истинная плотность: 1 - пикнометр; 2 - зажим; 3 - шланги; 4 — вакуумметр; 5 - вакуумный насос; 6 — калибровочная метка

Порядок определения насыпной плотности

- 1 Взвешивают мерный цилиндр (M_1) и определяют его массу.
- 2 Осторожно наполняют бункер пылью.
- 3 Открывают задвижку и заполняют мерный цилиндр пылью.
- 4 Пыль выше верхней крышки цилиндра удаляют плоским листком жесткой бумаги.
- 5 Взвешивают мерный цилиндр с пылью и определяют его массу (M_2).
- 6 Рассчитывают насыпную плотность, где V - объем мерного цилиндра.

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

- 7 Эксперимент повторяют по 6 раз для разных проб пыли.
- 8 Рассчитывают среднюю насыпную плотность.

Порядок определения истинной плотности

- 1 Подготавливают пикнометрическую жидкость, для чего вод, выдерживают в термостате при определенной температуре (табл. 9).
- 2 Взвешиванием определяют массу пустого пикнометра (M_1).
- 3 Засыпав в пикнометр пыль, определяют его массу с пылью (M_2).

4 В пикнометр с пылью наливают пикнометрическую жидкость так, чтобы пыль была полностью покрыта жидкостью, и взбалтывают содержимое пикнометра до полного смачивания пыли жидкостью.

5 Пикнометр соединяют с вакуум-насосом и включают его для удаления воздуха. Процесс ведут до прекращения «кипения».

6 Отключают пикнометр и доливают пикнометрическую жидкость до калибровочной метки. Затем взвешиванием определяют массу пикнометра с пылью и жидкостью (M_3).

7 При завершении манипуляций удаляют из пикнометра жидкость и пыль, промывают сосуд.

8 Заливают в пикнометр жидкость до калибровочной метки и взвешивают (M_4).

9 Рассчитывают уточненный объем пикнометра $V_{\text{пик}} = (M_4 - M_1)/\rho_{\text{ж}}$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность пикнометрической жидкости при температуре в условиях эксперимента.

10 Рассчитывают массу пыли в пикнометре $M_{\text{п}} = M_2 - M_1$.

11 Определяют массу пикнометрической жидкости $M_{\text{ж}} = M_3 - M_2$.

12 Определяют объем, занимаемый жидкостью $V_{\text{ж}} = M_{\text{ж}}/\rho_{\text{ж}}$.

13 Рассчитывают объем пыли, помещенной в пикнометр $V_{\text{п}} = V_{\text{пик}} - V_{\text{ж}}$.

14 Определяют истинную плотность $\rho_{\text{и}} = M_{\text{п}}/V_{\text{п}}$.

Таблица 9

Плотность воды в зависимости от температуры

t, °C	ρ , г/см ³	t, °C	ρ , г/см ³	t, °C	ρ , г/см ³	t, °C	ρ , г/см ³
0	0,99987	9	0,99981	18	0,99862	27	0,99654
1	0,99993	10	0,99973	19	0,99843	28	0,99626
2	0,99997	11	0,99963	20	0,99823	29	0,99597
3	0,99999	12	0,99952	21	0,99802	30	0,99567
4	1,00000	13	0,99940	22	0,99780	31	0,99537
5	0,99999	14	0,99927	23	0,99757	32	0,99505
6	0,99997	15	0,99913	24	0,999132	33	0,99505
7	0,99993	16	0,99897	25	0,99707	34	0,99472 0,99440
8	0,99988	17	0,99988	26	0,99681		
		170					

По результатам работы делают выводы.

7.3. Определение токсичности выхлопных газов автомобилей прибором «АВТОТЕСТ СО-СН-Д-Т»

1. Назначение прибора

1.1. Газоанализатор «АВТОТЕСТ СО-СН-Д-Т» (в дальнейшем-прибор) предназначен для определения содержания оксида углерода, углеводородов, частоты вращения коленчатого вала, а также дымности отработавших газов автомобилей с дизельными двигателями.

1.2. Прибор может применяться при проверке токсичности отработавших газов компетентными структурами при государственном техническом осмотре автомобилей, при инспекционном контроле, в автохозяйствах, на станциях технического обслуживания и в производстве автомобилей для контроля и регулировки двигателей на соответствие нормам по ГОСТ 17.2.2.03 и ГОСТ 21393.

1.3. Прибор предназначен для работы в следующих условиях эксплуатации:

- 1) температура окружающей среды от 0 до 40°C;
- 2) атмосферное давление от 86,6 до 106,7 кПа (от 650 до 800 mm Hg);
- 3) относительная влажность 95% при $t = 30^{\circ}\text{C}$ и более низких температурах без конденсации влаги;
- 4) прибор должен располагаться горизонтально.
- 5) питание прибора от сети постоянного тока напряжением $(12,6 \pm 2)$ В или сети переменного тока 220В, 50Гц.;
- 8) температура анализируемой смеси на штуцере "ВХОД" не более 50*С;
- 7) температура анализируемой смеси на входе в пробозаборник должно быть не более 200°C;
- 8) расход анализируемой газовойоздушной смеси не менее 60 л/ч.

1.4. Прибор выполнен на базе микропроцессора PIC 16F877 фирмы MICROCHIP и обеспечивает следующие режимы измерений и функциональные возможности:

- измерение концентрации оксида углерода (СО), углеводородов (СН) и частоты вращения коленчатого вала автомобиля с любым числом цилиндров, дымности автомобилей с дизельными двигателями;
- автоматическую коррекцию нуля;

1.5. Устройство пробоподготовки обеспечивает трехступенчатую очистку пробы газа от механических посторонних компонентов и влагоотделение:

- объемный термостойкий волоконный фильтр грубой очистки;
- каплеуловитель, фильтр тонкой очистки с возможностью отделения конденсата;
- целлюлозный фильтр сверхтонкой очистки G 702.

2. Технические характеристики

2.1. Измеряемые компоненты, диапазоны измерений, цена единицы наименьшего разряда, пределы допускаемой основной погрешности приведены в табл. 6.

2.2. Мощность, потребляемая в режиме измерения, не более 20 ВА.

2.3. Масса прибора не более 4,5 кг.

2.4. Габаритные размеры - 330x100x290 мм.

2.5. Время прогрева прибора не более 10 мин.

2.6. Прибор в упаковке для транспортирования выдерживает:

- воздействие температур от минус 50 до плюс 50°C;
- воздействие относительной влажности 95 % при температуре 30 С и более низких температурах, без конденсации влаги.

2.7. Прибор в упаковке для транспортирования выдерживает воздействие:

1) вибраций по группе N1 ГОСТ 12997-84:

2) удары при свободном падении с высоты 25 мм.

Таблица 10

Измеряемый компонент	Диапазон % (ppm)	Цена деления	Участок диапазона измерения	Основная погрешность	
				Абсолютная	Относительная от ВПИ
Углеводороды	0-5000 ppm	10ppm	0 - 1000 ppm	± 50ppm	-
			1000 --5000 ppm		±5%
Оксид углерода	0 - 10.0%	0,01%	0-5%	± 0,25%	-
			5-10%	-	±5%
Дымность	0 - 10,0 % м ⁻¹ (0-100 %)	0,01 0,1			± 2% ±2%
Частота оборотов (об/мин)	100-5000	10 об/мин	100-5000	±25 об/мин	-
	5000-10000	100 об/мин	5000-10000		±2,0%

ВПИ - верхний предел измерения.

3. Принцип действия и конструкция прибора

3.1. Принцип действия газоанализатора

Принцип действия прибора основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения источника молекулами углеводородов, двуокси углерода и окиси углерода в областях 3,4 и 4,7 мкм соответственно.

3.2. Проба анализируемого газа поступает в проточную зеркальную кювету, где определяемые компоненты, взаимодействуя с излучением, вызывают его поглощение в соответствующих спектральных диапазонах. Поток излучения характерных областей

спектра поочередно выделяется вращающимися интерференционными фильтрами) и преобразуется в электрические сигналы пропорциональные концентрации углеводородов и оксида углерода.

3.3. Проба анализируемого газа отбирается из выхлопной трубы автомобиля пробозаборным зондом. В рукоятке зонда размещается фильтр грубой очистки, где происходит предварительная очистка газа от частиц сажи и аэрозолей. Далее проба газа направляется к прибору по трубке доставки.

Дальнейшая обработка пробы газа происходит в каплеуловителе, совмещенном с фильтром тонкой очистки пробы. В каплеуловителе (рис.4.) из пробы отделяется конденсат, который собирается в нижней части фильтра. В фильтре сверхтонкой очистки типа GB 702 производится окончательная очистка пробы газа от мешающих компонентов, которая затем поступает в оптическую кювету узлов. Конструкция узлов системы пробоподготовки прибора и схема их соединения приведена на рис 3,4 и 5.

Результаты измерения и служебная информация для пользователя отображается на буквенно-цифровом жидкокристаллическом индикаторе.

3.4. Источником сигнала частоты вращения коленчатого вала двигателя автомобиля служит высоковольтный датчик индуктивного типа, устанавливаемый на один из высоковольтных проводов системы зажигания. Частота следования импульсов искрообразователя свечи одного из цилиндров двигателя измеряется и преобразуется микропроцессором в частоту вращения коленчатого вала независимо от числа цилиндров.

3.5. Принцип действия дымомера.

Принцип действия прибора при измерении дымности отработавших газов основан на измерении степени ослабления светового потока непрозрачными частицами определенного слоя отработавших газов и преобразовании аналитического сигнала в единицы коэффициента поглощения, приведенного к длине фотометрической базы, с учетом теплового расширения газов по измеряемой температуре согласно выражения:

$$K = \frac{273 + t}{373 - L} \cdot \ln T$$

где: K - коэффициент поглощения, $[m^{-1}]$

L - физическая фотометрическая база (длина поглощающего слоя газа);

T - оптическое пропускание поглощающего слоя газа;

t - температура газа, $^{\circ}C$.

3.5.1. Принцип работы дымомерного канала состоит в следующем. Отработавшие газы (ОГ) автомобиля, содержащие непрозрачные частицы, поступают через пробозаборное устройство в измерительный канал и вызывают ослабление светового потока, которое регистрируется фотоприемником. Сигналы датчика температуры ОГ и сигналы фотоприемника поступают на аналоговые входы микропроцессора, где выполняется обработка и преобразование сигналов. Результаты измерений и сопроводительная информация отображается на буквенно-цифровом дисплее.

3.6. Конструкция прибора.

3.6.1. Прибор состоит из системы пробоотбора и пробоподготовки, газоанализатора, пробозаборной системы дымомера, блока преобразования и индикации.

3.6.2. На лицевой панели прибора (рис.39) размещены: жидкокристаллический буквенно-цифровой индикатор 1 с подсветкой, отображающий величину концентрации углеводородов, оксида углерода в отработавших газах автомобиля и число оборотов вала двигателя: кнопка включения питания 2 "ВКЛ"; кнопка 3 "Работа/Пауза"; кнопка 4 коррекции нуля "Кор.0"; кнопка 5 "Печать" и кнопка 6 «Режим».

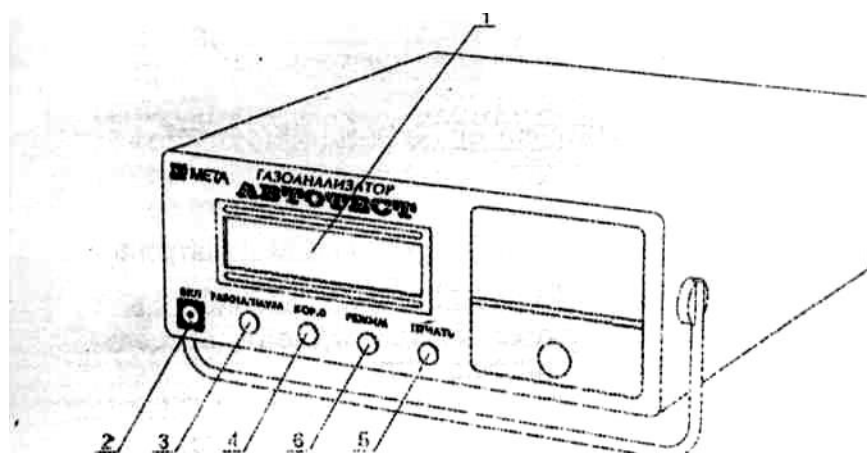


Рис.39. Внешний вид прибора (передняя панель)

1 – жидкокристаллический алфавитно-цифровой индикатор; 2- кнопка «Вкл»; 3 – кнопка «Работа-пауза»; 4 – кнопка «Кор.0»; 5 – кнопка «Печать»; 6 – кнопка «Режим».

3.6.3. На задней панели прибора (рис.40) размещены: штуцер 1 для подачи пробы газа в прибор "Вход", штуцер 2 для сброса пробы газа из прибора: "Сброс", держатель предохранителя 3; разъем питания 4; направляющие планки 5 для крепления каплеуловителя, разъем 6 для подключения кабеля тахометра, разъем 7 для подключения кабеля связи с персональным ЭВУ по RS232, разъем 8 для подключения датчика дымомера,

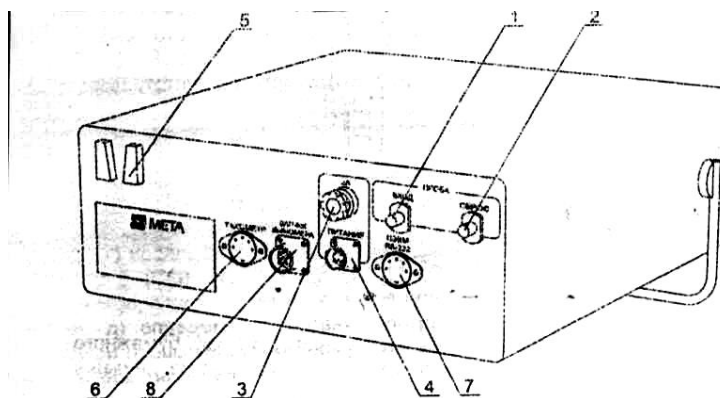


Рис. 40. Внешний вид прибора (задняя панель)

1 – штуцер подачи пробы «Вход»; 2 – штуцер вывода пробы «Сброс»; 3 – держатель предохранителя; 4 – разъем питания; 5 – крепление каплеуловителя; 6 – разъем тахометра; 7 – разъем для подключения компьютера; 8 – разъем для подключения датчика дымомера.

3.6.4. Система пробозабора и пробоподготовки газоанализатора (рис.4) включает пробозаборник. 1, каплеуловитель 2, фильтр тонкой очистки пробы газа 3, трубку доставки пробы 5. Фильтр грубой очистки 4 располагается в рукоятке пробозаборника. Схема

соединений элементов системы и подключение их к штуцерам прибора приведена на рис.41.

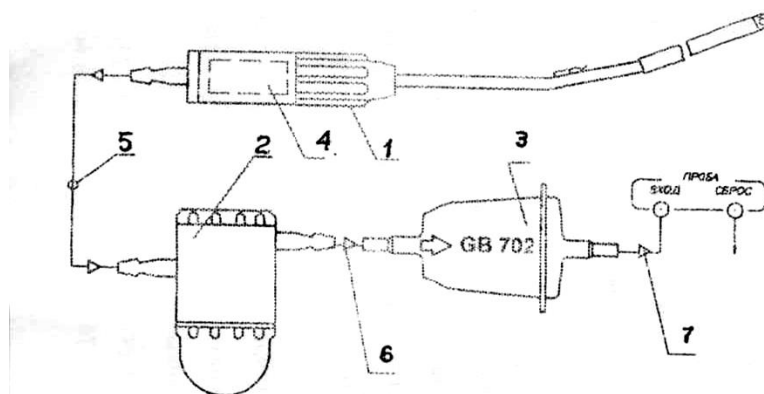


Рис. 41. Схема отбора и подготовки пробы газоанализатора «Автотест».

1 – пробозаборник; 2 – каплеуловитель; 3 – фильтр тонкой очистки пробы; 4 – фильтр грубой очистки; 5 – пробозаборная трубка; 6 – трубка Т1 (30 мм); 7 – трубка Т2 (65 мм).

3.6.5. В блоке преобразования размещается: компрессор пробы газа, оптический блок, включающий термостатированную кювету, излучатель, модулятор, и термостатированный фотоприемный узел.

3.6.6. Канал измерения дымности включает оптический датчик и пробозаборник, выполненный в виде корпуса и изогнутого патрубка (рис.42).

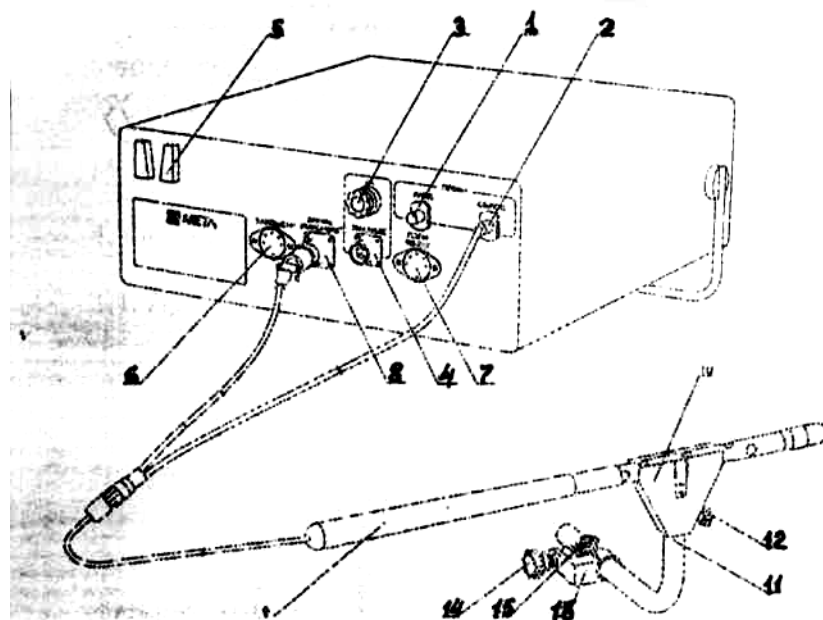


Рис. 42. Схема подключения датчика дымомерного канала.

1 – штуцер подачи пробы «Вход»; 2 – штуцер вывода пробы «Сброс»; 3 – держатель предохранителя; 4 – разъем питания; 5 – крепление каплеуловителя; 6 – разъем тахометра; 7 – разъем для подключения компьютера; 8 – разъем для подключения датчика дымомера; 9 – оптический датчик; 10 – рассекатель; 11 – изогнутая пробозаборная трубка; 12 – винт кожуха; 13 – кронштейн; 14 – зажим; 15 – фиксатор.

Пробозаборник устанавливается на оптическом датчике и служит для доставки отработавших газов от выпускной системы автомобиля до измерительного канала датчика. Порядок сборки и установки пробозаборника показан на рис.43.

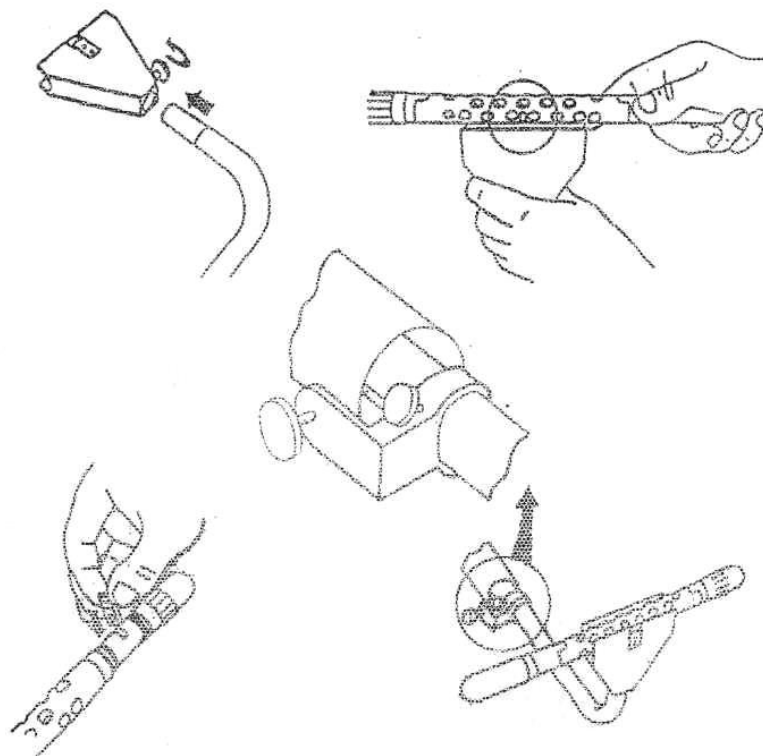


Рис. 43. Порядок сборки и установки пробозаборника

4. Общие указания по эксплуатации прибора

4.1. В процессе эксплуатации прибора необходимо соблюдать определенный порядок включения и выключения прибора. Во избежание поломок прибора необходимо своевременно менять фильтрующие элементы.

4.2. После длительного хранения в условиях повышенной влажности прибор перед включением следует выдержать при нормальных условиях (комнатная температура) в течение 12 ч.

4.3. При большой разности температур в складских и рабочих помещениях, полученный со склада прибор выдержите не менее 2 ч в нормальных условиях (при комнатной температуре) в упаковке.

4.4. Обозначения кнопок прибора.

*Кнопка "Работа/Пауза"("Измерение/Пауза") - переводит прибор из режима непрерывного измерения в режим "Пауза", отключает компрессоры, прибор находится в "горячем" резерве.

Примечание: (Для приборов без автоматического отключения пробозаборной системы).

При нажатии кнопки на индикаторе прибора появится сообщение:

ПРЕРВИТЕ ПРОБУ

После этого необходимо отключить пробозаборную систему от прибора, отсоединив пробозаборную трубку от каплеуловителя, и затем нажать на любую кнопку.

Через 4 секунды происходит отключение компрессора прибора и на индикаторе появляется сообщение:

ПАУЗА

Для продолжения работы повторно нажать кнопку "ПАУЗА". После этого прибор автоматически производит коррекцию нуля и переходит в режим измерения.

Примечание:(Для приборов без автоматического отключения пробозаборной системы). После появления сообщения:

ПОДАЙТЕ ПРОБУ

Восстановите рабочее состояние пробозаборной системы, подсоединив пробозаборную трубку к каплеуловителю.

Примечание: Если прибор находился в режиме "Пауза" менее 10 минут, то коррекция нуля не производится

Кнопка "Кор.0" - переводит прибор в режим коррекции нулевых показаний. Коррекция выполняется по чистому воздуху (см. п.8.110).

Примечание: При нажатии кнопки или комбинации кнопок необходимо удерживать их до погашения индикатора.

Комбинация кнопок № 1

"Режим" или "Кор,0" + "Печать" - переключает отображения результатов измерения по каналу СН в единицах пропана C_3H_8 или гексана C_6H_{14}

По умолчанию показания канала СН отображаются в единицах гексана. При отображении показаний в единицах пропана после значения СН отображается буква "Pr".

Комбинация кнопок № 2

Отключение компрессоров прибора для использования схемы поверки приведенной на рис.2. Отключить тумблер питания прибора. Нажать кнопки "Кор.О" + "Печать" и, не отпуская их, включить тумблер питания прибора. Отпустить кнопки после появления

сообщения: КНОПКИ.

При этом автоматически производится продувка кюветы и коррекция нулевых показаний. Затем компрессоры отключаются. Используется только при поверке и калибровке прибора.

Комбинация кнопок № 3

"Работа/Пауза" + "Печать" - включает компрессоры прибора для принудительной продувки кюветы в необходимых случаях (в поверочном режиме).

5. Указания мер безопасности

5.1. К работе с приборов допускаются обучающиеся, изучившие с инструкции по эксплуатации.

5.2. Запрещается сброс анализируемой пробы или поверочных газовых смесей в помещении. Перед проведением измерений на штуцер "СБРОС" наденьте резиновую или полиэтиленовую трубку с внутренним диаметром не менее 5 мм, а второй конец трубки выведете за пределы помещения. При этом длина отводящей трубки не должна превышать 5 м.

5.3. При анализе отработавших газов автомобиля примите меры безопасности, исключающие его самопроизвольное движение.

6. Подготовка прибора к работе

6.1. Подготовка газоанализатора к работе.

6.1.1. Установить прибор на столе (специальной подставке).

6.1.2. Собрать систему пробоподготовки согласно схеме на рис.5.

6.1.2.1. Установить каплеуловитель в гнездо 4 на задней панели прибора (рис.3).

6.1.2.2. Подключить короткими трубками фильтр тонкой очистки 3 GB702 к штуцерам каплеуловителя "Выход" пробы и к штуцерам "Вход" пробы. При этом учесть направление потока газа через фильтр. (рис.4).

6.1.2.3. Подключить кабель питания К1 из комплекта принадлежностей к гнезду "Питание" 5. Ответные провода электрического кабеля питания К1 подключаются к автомобилю следующим образом:

- красный зажим - к клемме аккумулятора +12 В;

- черный зажим - к клемме аккумулятора -12 В;

Допускается в качестве источника питания использовать другие источники постоянного тока (сетевые или аккумуляторные), обеспечивающее на выходе постоянное напряжение $12\pm 2\text{В}$ при токе не менее 3А при размахе пульсаций не более $0,1\text{ В}$. В этом случае красный и черный зажимы кабеля литания К1 подключаются к альтернативному источнику питания.

6.1.2.4. К гнезду "Тахометр" подключить кабель датчика тахометра К2, зажим которого закрепить на высоковольтном проводе одного из цилиндров. При этом следует, чтобы зажим не касался корпусных деталей двигателя.

6.1.3. К штуцеру "ВХОД" каплеуловителя подключить пробоотборный шланг с пробозаборником.

ВНИМАНИЕ! НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПРОБОЗАБОРНОГО ШЛАНГА К ПРИБОРУ, МИНУЯ КАПЛЕУЛОВИТЕЛЬ.

ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ФТО ДРУГИХ СИСТЕМ И КОНСТРУКЦИЙ, ПРИМЕНЯТЬ ТОЛЬКО ПРИЛАГАЕМЫЕ ФИЛЬТРЫ G702 БИГУР M008.60.000.00. ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФТО ДРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗГОТОВИТЕЛЬ НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПОЛОМКУ ПРИБОРА.

6.1.4. Установить рычаг переключения передач (переключатель скорости для автомобилей с автоматической коробкой передач) в нейтральное положение.

6.1.5. Затормозить автомобиль стояночным тормозом.

6.1.6. Заглушить двигатель (при его работе).

6.1.7. Выпускная система автомобиля должна быть исправна (определяется внешним осмотром).

Перед измерением двигатель должен быть прогрет не ниже рабочей температуры охлаждающей жидкости (или моторного масла для двигателей с воздушным охлаждением), указанной в руководстве по эксплуатации автомобиля.

6.1.8. Включить кнопку "ВКЛ" на передней (задней) панели прибора. На индикаторах появится сообщение:

ПРОГРЕВ

6.1.9. Прогрев прибора продолжается не более 10 минут.

6.1.10. Затем в течение 1 *мин* производится коррекция нуля.

Примечание: (Для приборов без автоматического отключения пробозаборной системы).

На экране прибора появится сообщение:

ПРЕРВИТЕ ПРОБУ

При этой необходимо отключить пробозаборную систему от прибора, отсоединив пробозаборную трубу от каплеуловителя и нажать на любую кнопку прибора,

Затем на индикаторе прибора появится сообщение:

КОРРЕКЦИЯ НУЛЯ

В нижней строке отображается индикатор процесса коррекции нуля.

Примечание: (Для приборов без автоматического отключения пробозаборной системы). После появления сообщения:

ПОДАЙТЕ ПРОБУ

Восстановите рабочее состояние пробозаборной системы, подсоединив пробозаборную трубку к каплеуловителю и нажмите на любую кнопку прибора.

Примечание: (Для приборов с датчиком абсолютного давления).

Если появилось сообщение:

СЛАБЫЙ ПОТОК

то это сигнализирует о недостаточном расходе пробы анализируемого газа или необходимости замены фильтрующих элементов системы пробоподготовки. Необходимо выключить прибор и проверить систему пробоподготовки прибора,

6.1.11. На индикаторе прибора отображается сообщение:

CO X.XX% TAx XXXX CN XXXX ppm (Pr)

6.2. Подготовка дымомера к работе.

Внимание! Для избежания погрешности показаний прибора в режиме дымомера выше допустимой, после долго работы прибора в режиме газоанализатора, необходимо выдержать прибор в ОТКЛЮЧЕНОМ состоянии не менее 10 минут перед его использованием в режиме дымомера,

6.2.1. Установить прибор на столе.

6.2.2. Собрать пробозаборную систему дымомера согласно схеме.

6.2.3. Подключить оптический датчик к приборному блоку через разъем "Датчик дымомера" расположенный на задней панели прибора

и трубку доставки защитного потока воздуха к штуцеру прибора (рис. 5),

6.2.4. Подключить кабель питания К1.

6.2.5. Для включения прибора в режиме дымомера необходимо нажать кнопку "Работа/Пауза" на передней панели прибора и удерживая ее в нажатом положении включить кнопку "ВКЛ" на передней панели прибора. Отпустить кнопки после появления сообщения:

КНОПКИ ?

Потом на индикаторе на 1-2 секунды появится сообщение:

РЕЖИМ ДЫМОМЕРА

Затем индикатор отображает процесс коррекции нуля.

КОРРЕКЦИЯ НУЛЯ

6.2.6. По окончании коррекции нуля на индикаторе отображается меню:

РЕЖИМ:

ПИК ТЕК СОВМ

Кнопкой "Режим" (кнопкой "Печать" для приборов с 3-мя кнопками) выбирается необходимый режим измерения, а кнопкой "Работа/Пауза" запускается выбранный режим:

- "ТЕК" - режим измерения текущих значений дымности при испытании двигателя в режиме максимального числа оборотов вала;
- "ПИК" - режим измерения пиковых значений дымности в режиме свободного ускорения двигателя;
- "СОВМ" - совмещенный режим: вначале пиковый режим, а затем текущий, с выдачей совместного протокола.

6.2.7. При необходимости проверить правильность работы прибора по контрольному светофильтру (рис.43).

6.2.7.1. Поворотом шторки оптического датчика обнажить гнездо контрольного светофильтра.

6.2.7.2. Выполнить коррекцию нуля.

6.2.7.3. Кнопкой "Режим" (кнопкой "Печать" для приборов с тремя кнопками) выбрать режим "ТЕК" и нажать кнопку "Работа/Пауза". После появления на индикаторе прибора сообщения

К = 1/м

N = %

установить контрольный светофильтр в гнездо 13. Через 15с на дисплее отобразится значение коэффициента поглощения контрольного светофильтра. Показания на дисплее прибора должны соответствовать данным, нанесенным на светофильтре в пределах $\pm 0,1\text{м}^{-1}$ от указанного значения при температуре окружающего воздуха $23^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$.

7. Порядок работы

7.1. Прибор обслуживается одним сотрудником.

7.2. Измерение концентрации оксида углерода и углеводородов.

7.2.1. Установить пробозаборник прибора в выпускную трубу автомобиля на глубину не менее 300 мм от среза (до упора) и зафиксировать его зажимом.

7.2.2. Полностью открыть воздушную заслонку карбюратора (для карбюраторных двигателей).

7.2.3. Запустить двигатель. Увеличить частоту вращения вала двигателя до максимальной и проработать в этом режиме не менее 15с.

7.2.4. Установить минимальную частоту вращения вала двигателя и проработать в этом режиме не менее 20с.

При подключении датчика тахометра играет роль его положение относительно высоковольтного провода зажигания автомобиля. При нестабильных показаниях следует перевернуть датчик тахометра на 180° .

7.2.5. Считать показания на индикаторе передней панели прибора измеренных концентраций измеряемых компонентов и при необходимости распечатать их.

7.2.6. Установить повышенную частоту вращения вала в пределах ($\Pi_{\text{пов}} = \Pi_{\text{ном}} \times 0,8$) или 3000 об/мин, если $\Pi_{\text{ном}}$ не указано в паспорте автомобиля. Произвести повторное измерение концентраций анализируемых газов согласно пп. 7.2.1-7.2.5 на повышенных оборотах двигателя.

7.2.7. Содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобиля должно быть в пределах значений, установленных предприятием-изготовителем автомобиля, но не выше, приведенных в табл. 11.

Таблица 11

Частота вращения (устанавливается в технической документации на автомобиль)	Предельно- допустимое содержание оксида углерода, % об.	Предельно-допустимое содержание углеводородов, объемная доля, млн ⁻¹ (ppm) Для двигателей с числом цилиндров	
		до 4-х	Более 4-х
Автомобили, не оснащенные каталитическими нейтрализаторами			
n (min)	3,5	1200	3000
n (пов)	2,0	600	1000
Автомобили, оснащенные каталитическими нейтрализаторами			
n (min)	1,0	400	600
n (пов)	0,7	200	300

7.2.8. Обслуживание прибора.

7.2.8.1. В процессе использования прибора необходимо производить замену фильтрующего агента каплеуловителя и фильтров тонкой очистки, фильтрующего агента фильтра грубой очистки, слив конденсата из отстойника фильтра тонкой очистки.

Внимание! при использовании прибора не реже двух раз за час непрерывной работы контролировать наличие воды в отсеке для сбора конденсата и сливать ее по мере накопления.

7.2.8.2. Регулярно проводить замену фильтрующего агента каплеуловителя (бумажного диска) - не реже одного раза в месяц. Одновременно с заменой фильтрующего агента осмотреть отсек для сбора конденсата и при наличии воды в отсеке отвернуть нижнюю крышку и слить воду.

7.2.8.3. Замену фильтрующего агента фильтра грубой очистки газа, расположенного в рукоятке пробозаборного зонда, проводить не реже одного раза в месяц или по мере затемнения фильтрующего агента частицами сажи.

Фильтрующий агент может быть восстановлен путем промывки в теплом растворе СМС и последующим многократным полосканием в проточной чистой воде.

7.3. Измерение дымности отработавших газов (дизельных автомобилей).

7.3.1. Измерение дымности отработавших газов в режиме свободного ускорения.

"ПИК" - режим измерения пиковых значений дымности в режиме свободного ускорения двигателя.

Переключить прибор в режим пиковых значений. Для этого кнопкой "Режим" (кнопкой "Печать" для приборов с тремя кнопками) в меню выбрать режим "ПИК", а кнопкой "Работа/Пауза" запустить режим на выполнение.

При этом на 2..3 секунды индикатор погаснет, а затем прибор начнет непрерывно измерять показатели дымности.

На индикаторах отобразится сообщение:

KO =		1/М
NO =		%

7.3.2. Установить пробозаборник с закрепленным оптическим датчиком на выхлопную трубу автомобиля.

Зафиксировать положение кронштейна на изогнутой трубке пробозаборника зажимом (рис.42).

Закрепить кронштейн пробозаборника на верхнем срезе выхлопной трубы фиксатором в положении как указано на рис.6. При этом изогнутая трубка должна быть направлена относительно выхлопной трубы вверх или в сторону.

7.3.3. На индикаторе отображается сообщение:

KO =	0.00	1/М
NO =	0	%

Цифра после К и N показывает количество пиков, зарегистрированных прибором.

Дать команду водителю автомобиля разогнать двигатель от холостых оборотов до максимальных быстрым однократным нажатием на педаль подачи топлива до упора, достичь максимальных оборотов вала и сбросить ее.

При этом на дисплее отобразится результат пикового значения дымности

K1 = XX.XX 1/М N1= XX.X %

Аналогично повторить следующее ускорение двигателя еще несколько раз.

При этом после 10 пиков прибор автоматически закончит измерение и перейдет к индикации результатов.

При индикации результатов работы режима "ПИК" 4 последних зарегистрированных пика (K1.N1..K4.N4) и их среднее (Ks,Ns).

Нажав на кнопку "Работа/Пауза" можно принудительно закончить режим измерения.

Вынуть оптический датчик прибора из выпускной системы автомобиля.

Если режим был принудительно закончен до регистрации 4х пиков, то среднее (Ks,Ns) не вычисляется и не индицируется, а индицируются только зарегистрированные пики.

Нажимая кнопку "Коррекция >0<" можно просмотреть результат работы режима "ПИК":

K1 = XX.XX 1/M N1=	X.X %
K2 = XX.XX 1/M N2=	X.X %
K3 = XX.XX 1/M N3=	X.X %
K4 = XX.XX 1/M N4=	X.X %
KS = XX.XX 1/M NS=	X.X %

Нажав на кнопку "Печать" можно распечатать протокол (для приборов с печатающим устройством).

Для выхода в меню нажать кнопку "Работа/Пауза".

ВНИМАНИЕ! По окончании просмотра результатов любого из режимов измерения проводится продувка датчика от остатков выхлопных газов. Это сопровождается появлением на индикаторе сообщения:

ПРОДУВКА

По окончании продувки на индикаторе отображается меню (П.П.6.2.6.).

Если этого не произошло, а на индикаторе появилось сообщение:

ЗАСОРЕН ДАТЧИК

а затем опять продувка

ПРОДУВКА

необходимо отключить прибор, прочистить датчик от копоти и сажи и включить прибор снова.

7.3.4. Измерение дымности отработавших газов в режиме максимального числа оборотов вала двигателя.

"ТЕК" - режим измерения текущих значений дымности при испытании двигателя в режиме максимального числа оборотов вала.

Кнопкой "Режим" (Кнопкой "Печать" для приборов с 3-мя кнопками) выбрать режим "ТЕК", а кнопкой "Работа/Пауза" запустить режим на выполнение.

При этом на 2. 3 секунды индикатор погаснет и потом на нем отобразится сообщение:

$$K = N = 1/M \%$$

Затем прибор начнет непрерывно измерять и каждую секунду отображать показатели дымности. Выполнить п.7.3.2.

При отсутствии дыма в оптическом датчике сообщение на приборе выглядит:

$$K = 0.00 \text{ 1/M } N = 0.0 \%$$

Для окончания режима нажать кнопку "Работа/Пауза".

По отпусканию кнопки "Работа/Пауза" на дисплее отображаются результаты работы режима "ТЕК", представляющие собой усредненное за последние 5 секунд значение текущей дымности:

XX

$$K_m = 0.00 \text{ 1/M } N_m = 0.0 \%$$

Для выхода в меню нажать кнопку "Работа/Пауза".

7.3.5. Измерение дымности отработавших газов в режиме СОВМ.

7.3.5.1. Установить курсор в меню режимов в положение "СОВМ" и нажать кнопку "Работа/Пауза".

При этом вначале прибор переходит в режим "ПИК".

7.3.5.2. Выполнить п.7.3.1 и 7.3.3.

7.3.5.3. Для продолжения нажать кнопку "Работа/Пауза". При этом дисплей на короткое время гаснет и прибор переходит в режим "ТЕК".

7.3.5.4. Выполнить п.7.3.4. По завершении возможен просмотр всех результатов режима "СОВМ" по нажатию кнопки "Коррекция 0".

Для выхода в меню нажать кнопку "Работа/Пауза".

7.3.6. Обслуживание прибора.

7.3.6.1. В процессе эксплуатации прибора при измерении дымности необходимо выполнять профилактическое обслуживание оптического датчика и пробозаборной системы.

7.3.6.2. Один раз за смену (8 часов работы) очищать поверхности оптических элементов датчика от сажи.

Поверхности линзы и светофильтры очищать ватным тампоном, навернутым на спичку, через технологическое отверстие и паз оптического датчика.

7.3.6.3. Очищать от загрязнении сажей или перед укладкой в футляр поверхность перфорированного патрубка датчика и изогнутой трубки пробозаборника сухой ветошью.

7.4. Поверка прибора.

7.4.1. Поверка прибора выполняется согласно "Методики поверки газоанализатора концентрации оксида углерода, диоксида углерода, кислорода и углеводородов "АВТОТЕСТ" М 008.00.000.00 ДЛ."

7.4.2. При поверке применяются газовые смеси (ПГС) по ГОСТ 9293-14 и ТУ 6-16-2956-87.

7.4.3. Периодичность поверки 12 месяцев.

После проведения замеров сопоставить результаты с данными табл.11 и сделать выводы.

7.4. Определение содержания сероводорода в рабочей зоне

Цель работы: изучить методику определения сероводорода в рабочей зоне.

Газоанализатор АНКАТ 7631 (далее газоанализатор) предназначен для контроля содержания в производственных помещениях и в воздухе промышленной зоны сероводорода (H_2S) и выдачи аварийной сигнализации при превышении ПДК. Диапазон измерений 0-20 мг/м³.

Устройство и работа газоанализатора

1. Принцип действия газоанализатора

1.1. В газоанализаторе используется электрохимический метод. Электрохимический датчик (эхд) включает в себя чувствительный элемент - электрохимическую ячейку (эхя) и плату, на которой расположены терморезистивные цепи, индивидуальные для каждой эхя и обеспечивающие совместно с устройством измерительным компенсацию температурных изменений нулевого тока и чувствительности эхя.

1.2. Электрохимическая ячейка является чувствительным элементом газоанализатора. Она состоит из рабочего электрода, сравнительного электрода, компенсационного электрода, которые изготовлены путем нанесения металлического катализатора на

пористую фторопластовую пленку. Рабочий и компенсационный электроды выполнены на одной подложке. Но к компенсационному электроду доступ анализируемого воздуха перекрыт непроницаемой пленкой.

К рабочему и компенсационному электродам по отношению к сравнительному, приложен одинаковый потенциал. При попадании детектируемого газа через пористую подложку на металлический катализатор рабочего электрода происходит окисление газа с выделением свободных электронов. С помощью электрической схемы газоанализатора электрический сигнал усиливается, нормируется и преобразуется в цифровую форму.

Компенсационный электрод с анализируемым воздухом не соприкасается и изменение тока через него (при изменении температуры окружающей среды) используется для стабилизации нулевых показаний газоанализатора.

2. Устройство газоанализатора.

2.1. Газоанализатор является одноканальным, одноблочным переносным прибором. С помощью фиксирующей пружины обеспечивается вертикальное рабочее положение прибора у пояса или в кармане.

2.2. Внешний вид газоанализатора представлен на рис. 44. Конструктивно газоанализатор выполнен в корпусе (1) и состоит из устройств измерительного (6), электрохимического датчика (9) и аккумуляторного отсека (8).

2.3. На передней панели газоанализатора расположен цифровой жидкокристаллический индикатор - (5). На правой боковой поверхности газоанализатора расположены: потенциометр - (11) регулировки чувствительности газоанализатора; потенциометр ">o<" - (10) регулировки нуля газоанализатора; движковые выключатели: питания - (13) и подсветки жидкокристаллического индикатора (жки) - (12), электрохимического датчика, закрытого декоративной крышкой (8). На левой боковой поверхности расположено отверстие гнезда для подключения зарядно-питающего устройства, закрытое сдвигающейся крышкой (2). В верхней части корпуса расположен светодиод, закрытый рассеивателем, сигнализирующий о включении газоанализатора и о превышении уровня содержания измеряемого компонента (3). В верхней части передней панели расположено отверстие для акустического излучателя (4).

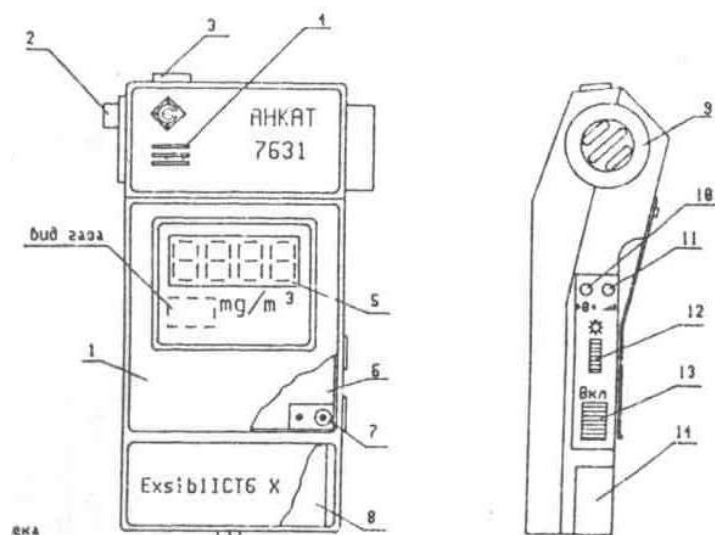


Рис. 44. Газоанализатор АНКАТ 7631

1 – корпус; 2 – гнездо для подключения зарядного устройства; 3 – светодиод сигнализации; 4 – отверстие акустического излучателя; 5 – жидкокристаллический цифровой индикатор; 6 – устройство измерительное; 7 – потенциометр «Баланс»; 8 – аккумуляторный отсек; 9 – электрохимический датчик, закрытый декоративной крышкой; 10 – потенциометр регулировки нуля; 11 – потенциометр регулировки чувствительности; 12 – выключатель подсветки; 13 – выключатель питания; 14 – крышка аккумуляторного отсека.

2.4. На внутренней стороне крышки выполнен аккумуляторный отсек, включающий в себя устройство искрозащиты, состоящее из контактного устройства для подключения аккумулятора и токоограничивающих резисторов, залитых компаундом.

2.5. Аккумуляторная батарея 7D-0.125D расположена в аккумуляторном отсеке под крышкой (14) в нижней части корпуса газоанализатора.

7.5. Экспресс-определение концентрации вредных газов и паров в воздухе производственных помещений

Цель работы: изучить методику определения вредных газов и паров в воздухе производственных помещений.

Воздух в производственных помещениях может загрязняться в результате выделения различных вредных газов и паров (окиси углерода, сероводорода, сернистого газа, окислов азота и др.)

Правила безопасности требуют, чтобы содержание ядовитых газов и паров в окружающей атмосфере соответствовало установленным

нормам. Несоблюдение норм приводит к авариям и несчастным случаям, к профессиональным заболеваниям и снижению производительности труда. Поэтому важную роль играет контроль за составом окружающего воздуха на рабочих местах.

Проверка качественного состава воздуха производится путем периодического набора проб воздуха с последующим его анализом в лаборатории, а также при помощи переносных газоопределителей непосредственно на рабочих местах.

В настоящей работе рассматривается экспресс-определение содержания вредных газов и паров в воздухе непосредственно в производственных помещениях при помощи переносных приборов.

Применяемые приборы.

Газоопределитель ГХ, состоящий из мехового аспиратора АМ-4 и комплекта индикаторных трубок (ТИ) для экспресс-определения и контроля в воздушной среде концентраций СО (ТИ-СО-0,25), аммиака (ТИ-1) и бензина (ТИ-11) и набора принадлежностей к приборам.

Принцип действия приборов

Принцип действия указанных приборов основан на использовании цветной реакции, происходящей между определяемым газом и специальным реактивом, помещенным в стеклянную трубку, через которую продувается определенное количество воздуха, содержащего вредные примеси. Концентрация газа при этом определяется по длине изменившего окраску столбика реактивного слоя и объему протянутого через трубку воздуха.

Трубки индикаторные (ТИ) предназначены для быстрого определения концентраций вредного вещества в воздухе.

Газоопределитель ГХ предназначен для экспресс-определения количественного содержания окиси углерода (СО), паров бензина, аммиака и других газов (SO_2 , H_2S , окислов азота ($\text{NO}+\text{NO}_2$)). Прибор состоит из мехового аспиратора АМ-4 и комплекта индикаторных трубок, каждая из которых специфична только на один определенный газ.

Меховой аспиратор служит для просасывания воздуха через индикаторную трубку и приводится в действие нажатием рукой. За полный ход резинового меха через трубку просасывается 100 мл воздуха. Количество просасываемого воздуха определяется объемом меха аспиратора и числом его хода. Индикаторные трубки изготавливаются на заводе и имеют стандартные размеры: длину 125 мм и наружный диаметр 7 мм. Их снаряжают реактивным препаратом.

Концы их оттягиваются на конус и запаиваются. Для облегчения отсчета результатов замера на поверхности индикаторных трубок в области реактивного слоя имеются маркировочные кольца, соответствующие определенной концентрации исследуемого газа. Кроме того, на трубках имеются стрелки, указывающие направление движения исследуемого воздуха.

Для правильности показаний перед началом работы с газоопределителем необходимо проверять меховой аспиратор на герметичность, для чего в мундштук аспиратор оставляют запаянную индикаторную трубку и сжимают мех до упора. Аспиратор герметичен, если в течение 10 мин сжатый мех полностью не раскрывается и ремешки не натягиваются.

Для выполнения замера газа с помощью газоопределителя ГХ непосредственно на рабочем месте необходимо:

Отломить оба конца индикаторной трубки в проушине аспиратора,

Вставить трубку в мундштук аспиратора так чтобы стрелка на трубке показала направление к аспиратору.

Произвести просасывание воздуха через трубку, для чего нужно сжать мех рукой до упора и затем отпустить его до полного раскрытия.

После одного хода меха посмотреть на индикаторную трубку. И если окраска порошка достигла первого деления или превысила его, замер газа следует прекратить и немедленно выйти на свежую струю, так как концентрация любого из определяемых газов в этом случае превышает предельно-допустимые нормы.

Если после одного хода меха окраска не появилась или не достигла первого деления шкалы, то замер продолжают и делают еще 9 ходов меха (всего 10).

Значение концентрации газа определяют с помощью шкалы, имеющихся на упаковке. Для этого трубку прикладывают к шкале так, чтобы маркировочные кольца трубки совпадали с делениями шкалы, а начало окрашенного столбика с нулевым ее делением. Если через трубку прососано 1000 мл воздуха (10 ходов меха), то значения концентрации читаются с правой стороны шкалы, если 100 мл воздуха (1 ход меха), то концентрация читается с левой стороны. Примененная трубка после отрицательного результата испытания может быть использована до 3-5 раз в этот же день.

При взаимодействии с реактивным порошком последний получает окраску от окиси углерода CO – синюю, аммиака - с

желтого на синюю, паров бензина – коричневую, сернистого газа SO₂ – темно-синюю, сероводорода H₂S – коричневую и окислов азота NO+NO₂ – фиолетовую.

Концентрация измеряемого газа определяется в % по объему или в мг/л. В табл. 1 приведен пересчет % измеряемых газов в мг/л. Погрешность прибора = 2,5 % от измеряемой величины.

Таблица 12

Концентрация газов					
Газы	%	мг/л	Газы	%	мг/л
CO	0,0010	0,0125	H ₂ S	0,00033	0,005
	0,0016	0,0200			
	0,0020	0,0250			
	0,0024	0,0300			
	0,0050	0,0375			
	0,0100	0,0625			
	0,0200	0,2500			
	0,0300	0,3750			
	0,0500	0,6250			
	0,1000	1,2500			
	0,2000	2,5000			
0,3000	3,7500				
SO ₂	0,00035	0,010	NO NO ₂	0,0002	0,004
	0,00070	0,020			
	0,00175	0,050			
	0,00350	0,100			
	0,00700	0,200			

Порядок выполнения лабораторной работы

На месте проведения анализа открывают крышку прибора, отводят стопор и вставляют шток в направляющую втулку так, чтобы наконечник стопора скользил по канавке штока, на которой указан наибольший объем просасываемого воздуха (бензин, мг/л 300 мл). Давлением руки на головку штока, сильфон сжимают до тех пор, пока наконечник стопора не совпадет с верхним углублением на канавке штока, фиксируя сильфон в сжатом положении.

Перед анализом фильтрующий патрон продувают исследуемым воздухом. Для этого снимают заглушку с широкого конца патрона и вводят его в испытываемую воздушную среду. В лабораторных условиях фильтрующий патрон соединяют с камерой – генератором паров бензина при помощи резинового шланга, присоединенного к одному из штуцеров камеры.

Надавливая одной рукой на головку штока, другой рукой отводят стопор, как только начал двигаться шток, стопор отпускают. По истечении нескольких секунд наконечник стопора войдет в нижнее углубление канавки штока и движение его прекратится. Продувку исследуемым воздухом производят один раз и патрон вынимают.

Индикаторную трубку с помощью скребка на штырке освобождают от предохранительных колпачков и проверяют уплотнение порошка в ней путем постукивания штырьком о стенки трубки.

Сжимают сильфон до тех пор, пока наконечник стопора не совпадает с верхним углублением на той канавке штока, на грани которой обозначено 300 мл или 60 мл в зависимости от предполагаемой концентрации определяемого бензина (при значительной концентрации паров бензина в воздухе рекомендуется пользоваться меньшим объемом, а при незначительной концентрации – большим). Резиновую трубку прибора соединяют с любым концом приготовленной индикаторной трубки, другой конец ее присоединяют на стык с помощью отрезка резиновой трубки к узкому концу фильтрующего патрона, который вместе с индикаторной трубкой закрепляют на подставке прибора таким образом, чтобы границы белого порошка совпадала с уровнем нулевого деления шкалы.

Надавливая одной рукой на головку штока, другой отводят стопор. Как только шток начал двигаться, стопор отпускают. В это время происходит просасывание исследуемого воздуха через патрон и индикаторную трубку. Когда наконечник стопора войдет в нижнее углубление на канавке штока, слышен щелчок. После защелкивания движение штока прекращается, а просасывание воздуха еще продолжается вследствие остаточного вакуума в сильфоне. Поэтому общее время просасывания исследуемого воздуха через индикаторную трубку в объеме 300 мл составляет 5 мин, а в объеме 60 мл. - 4 мин.

Концентрацию паров бензина находят по шкале, на которой указан объемом пропущенного воздуха. Цифра, совпадающая с границей окрашенного столбика порошка, укажет концентрацию бензина в мг/л. По окончании анализа фильтрующий патрон освобождают от индикаторной трубки и немедленно закрывают заглушками. При значительном изменении концентрации бензина от более высоких к более низким необходимо заменить фильтрующий патрон запасным или вновь приготовленным.

Для получения достоверных данных необходимо производить повторные определения, которые укажут на изменение концентрации бензина в выбранной для замера точке. Если эти изменения незначительны, можно ограничиться несколькими определениями.

С целью получения точных результатов определений, а также длительной эксплуатации прибора, необходимо по инструкции готовить индикаторные трубки и фильтрующие патроны и не реже двух раз в месяц производить проверку герметичности газовой системы прибора.

Результаты замеров и обработанных данных заносят в таблицу 13.

Таблица 13

№ замеров	Концентрация газа, К, % или мг/л	$K_{cp} = \frac{\sum K}{n}$	$\sigma = \frac{\sum (K_i - K_{cp})^2}{n - 1}$	$V = 100\sigma / K_{cp}$	$\sigma_{cp} = \sigma * n$	$K_{cp} = K_{cp} \pm \sigma_{cp}$
1						
2						
3						
4						

7.6. Расчет циклона

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются промышленные предприятия, предприятия теплоэнергетики и автотранспорт. Ежегодно в воздух предприятиями черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов выбрасывается огромное количество мелкодисперсной пыли. Загрязнение атмосферы газопылевыми выбросами оказывает неблагоприятное воздействие на биосферу и человека. В настоящее время очистка промышленных выбросов осуществляется в системах очистки, реализующих достаточно эффективные и относительно недорогие сухие методы очистки. Одним из основных аппаратов, применяемых при сухой очистке, является циклон.

Принцип работы циклона

Широкое применение для сухой очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется довольно широкий ряд циклонов. Наиболее часто применяются

цилиндрические циклоны марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конические СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33, конструктивные схемы которых представлены на Рис.45. Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра.

Принцип работы циклона. Газовый поток вводится в циклон через патрубков по касательной(тангенциально) к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. На частицу пыли действуют - сила тяжести, сила сопротивления среды и центробежная сила. Центробежная сила направлена по радиусу к стенкам циклона и определяется по формуле:

$$F_{цб} = \frac{\pi d_4^3}{6} \frac{W_{тг}^2}{R} (\rho_4 - \rho_г)$$

где d_4 - диаметр частиц,

$W_{тг}$ - тангенциальная составляющая скорости газа.

R - радиус циклона,

ρ_4 - плотность частиц пыли,

$\rho_г$ - плотность газа.

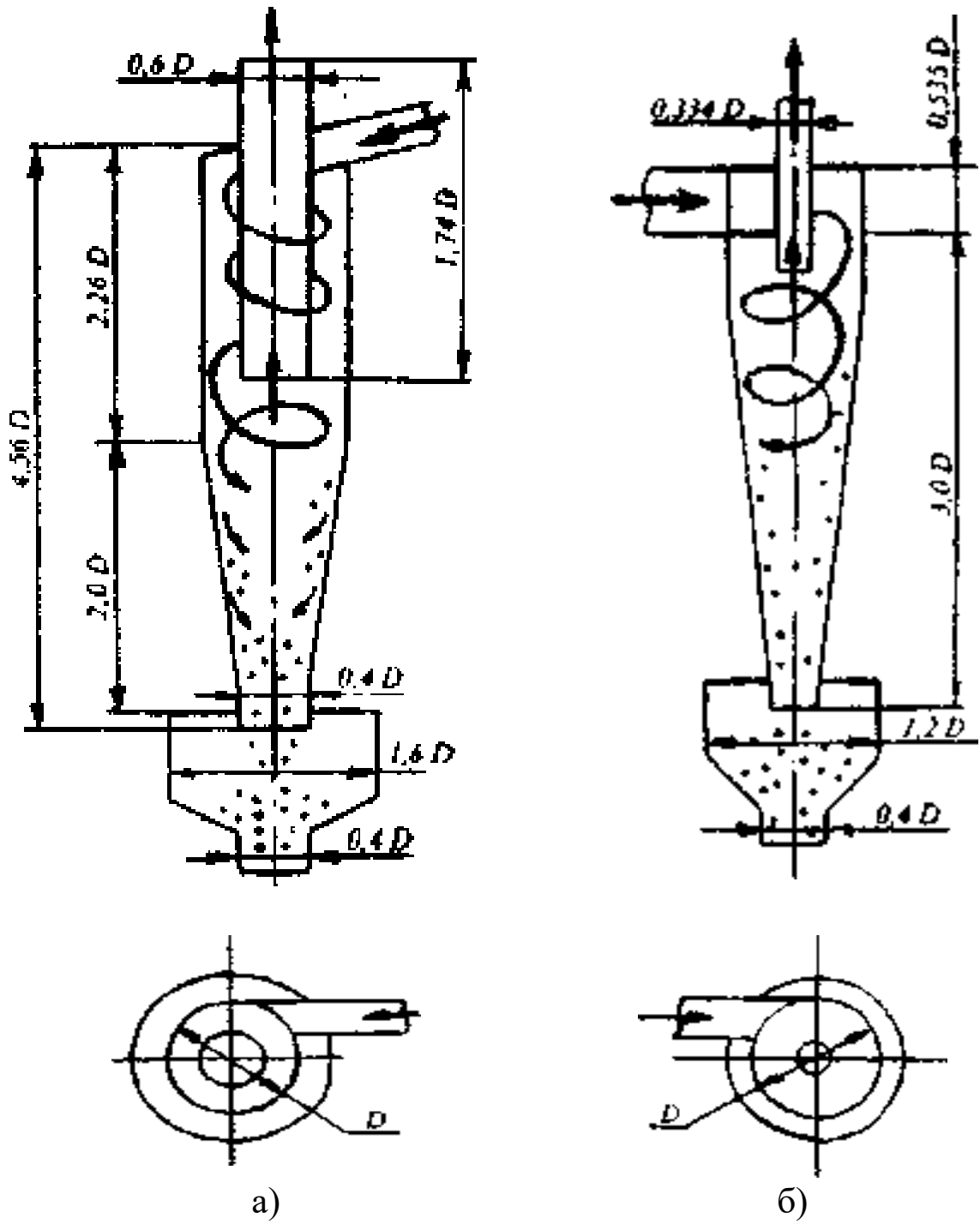


Рис.45.: Циклон: а) цилиндрический, б) конический

Экспериментами доказано, что чем больше диаметр частиц пыли, её удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона, тем выше эффективность циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенках циклона пылевой слой Б который постепенно опускается в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере на . Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит через выходную трубу. Циклоны, как правило, не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

Циклоны НИИОГАЗ подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК ЦН-33, СК ЦН 34, ЦН-11 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1 м они обеспечивают степень очистки $\eta = 0.85 - 0.95$ при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15 занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности.

При выборе и расчете циклонов необходимо учитывать такие свойства пыли как её абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа подбирают циклоны, работающие с меньшими скоростями газа. В необходимых случаях производят футеровку внутренней поверхности (больших циклонов). При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (например, менее 0,8 м), которые склонны к залипанию. Так, для очистки газов от сажи применяются конические циклоны серии СК, которые обладают высокой эффективностью.

Методика расчета циклонов

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

Таблица 14

Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры	Тип циклона						
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК ЦН-33	СКЦН- 34	СК ЦН 34М
$\omega_{оп}, м/с$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0
$d_{оп}^T, мкм$	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$lg \delta_{\eta}^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

$\omega_{оп}$ - скорость движения газа в циклоне, м/с,

$d_{оп}^T$ - диаметр частиц освящаемых с эффективностью 50%, мкм,

$lg \delta_{\eta}^T$ - стандартное отклонение функции распределения порционных коэффициентов очистки.

Расчет начинают с циклона, для которого диаметр частиц пыли должен быть ориентировочно $d_m > 2d_{50}$. d_m - медианный размер частиц, который представляет такой размер, при котором количество частиц крупнее d_m , равно количеству частиц мельче d_m .

Диаметр циклона вычисляется по формуле :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * \omega_{оп}}}$$

где Q - количество очищаемого газа, м³/с.

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона D_ц (табл.15).

Таблица 15

Типовые значения внутреннего диаметра циклона

D _ц , м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

По выбранному диаметру циклона находится действительная скорость движения газа в циклоне :

$$\omega_p = \frac{4 * Q}{\pi * D_{ц}^2}, м/с$$

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более, чем на 15%

$$100 * \left| \frac{\omega_P - \omega_{OP}}{\omega_{OP}} \right| \leq 15\%$$

При отклонении более чем 15% выбирают другой тип циклона.

Параметр d_{50} определяют следующим образом. d_{50} - диаметр частиц реально осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях. Величина d_{50} определяется по формуле :

$$d_{50} = d_{50}^T * \sqrt{\frac{D_{Ц} * \rho_{ч} * \mu * \omega_T}{D_T * \rho_{чм} * \mu_T * \omega_P}}$$

Значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона:

$$\omega_T = 3,5 \text{ м/с}$$

$$D_T = 0,6 \text{ м}$$

$$\rho_{чм} = 1930 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

С учетом этих значений вышеприведенная формула принимает вид :

$$d_{50} = d_{50}^T * \sqrt{\frac{D_{Ц} * 1930 * \mu * 3,5}{0,6 * \rho_{ч} * 22,2 \cdot 10^{-6} * \omega_P}}$$

Полученное значение d_{50} должно быть меньше d_M (заданного). Если это не выполняется, то необходимо выбрать другой циклон с меньшим значением d_{50}^T .

Расчет параметра X ведут по формуле :

$$X = \frac{\lg(d_M / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_{\eta}^T + \lg^2 \delta_{\chi}}}$$

По величине параметра X определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$. $\Phi(X)$ - это полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & X > 0,6 \end{cases}$$

Эффективность очистки газа в циклоне (η) определяется :

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}$$

Полученное значение сопоставляют с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, то необходимо выбрать другой тип циклона с меньшим значением ω_{on} и d_{50}^T .

Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона :

$$\xi = K_1 * K_2 * \xi_{500}$$

где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 21),
 K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 22),

ξ_{500} - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 5).

Таблица 16

Поправочный коэффициент K_1

$D_{ц}, м$	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК ЦН-3, СДК ЦН-34, СДК ЦН-34М
0,2	0,95	0,90	1,00
0,3	0,96	0,93	1,00
0,4	0,99	1,00	1,00
$\geq 0,5$	1,00	1,00	1,00

Таблица 17

Поправочный коэффициент K_2

Тип циклона	Запыленность на входе, $г/м^3$ ($C_{вх}$)						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1,00	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,00	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК ЦН-33	1,00	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК ЦН-34	1,00	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК ЦН-34М	1,00	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_{500} (2)

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15, ЦН-15У	ЦН-11	СДК ЦН-33	СК ЦН-34 СК ЦН-34М
ξ_{500}	75	155	245	520	1050

Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_D^2}{2}, \text{ Па}$$

где ρ - плотность газа, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

ω_D - скорость газа в циклоне, м/с.

Расчет мощности привода подачи газа. Величина гидравлического сопротивления и объемный расход (Q) очищаемого газа определяют мощность (N) привода устройства для подачи газа к циклону:

$$N = \frac{K_3 \Delta P Q}{\eta_M \eta_B}$$

K_3 - коэффициент запаса мощности, ($K_3 = 1,2$)

η_M - КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору (1,0 - 0,8).

η_B - КПД вентилятора ($\eta_B = 0,8$).

Задание к работе

По своему варианту рассчитать циклон для заданного источника выделения пыли. Начертить циклон с указанием размеров.

Пример расчета циклона

Исходные данные:

оборудование - вращающаяся цементная печь,

$$Q = 12 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\rho = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$d_M = 18 \text{ мкм}$$

$$\lg \delta_4 = 0,652 \quad C_{\text{ВХ}} = 20 \text{ г}/\text{м}^3$$

$$\rho_v = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3 \quad \eta = 0,8$$

Исходя из заданного размера частиц пыли ($d_M = 18 \text{ мкм}$), выбираем циклон, который очищает от частиц пыли размером $d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм}$.

Циклон: ЦН - 24

$$\omega_{\text{ОП}} = 4,5 \text{ м}/\text{с} \quad d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм} \quad \lg \delta_{\eta}^T = 0,308$$

Определяем диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 4,5}} = 1,84 \text{ м}$$

По таблице 2 выбираем ближайшее значение типового диаметра $D_{\text{Ц}} = 1,8 \text{ м}$

$$\omega_p = \frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 1,8^2} = 4,72 \text{ м}/\text{с}$$

$$100 \left| \frac{4,72 - 4,5}{4,5} \right| = 4,8\% < 15\%$$

$$d_{50} = 8,5 * \sqrt{\frac{1,8}{0,6} * \frac{1930}{2000} * \frac{17,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} * \frac{3,5}{4,72}} = 9,7 \text{ мкм}$$

$$d_{50} = 9,7 < d_M = 18 \text{ мкм}$$

$$X = \frac{\lg\left(\frac{18}{9,7}\right)}{\sqrt{0,308^2 + 0,652^2}} = 0,372$$

$$\Phi(X) = 0,3762 * 0,372 + 0,5 = 0,64$$

$$\eta = \frac{1 + 0,64}{2} = 0,82 \quad \eta > 0,8$$

$$\xi = 1 \cdot 0,93 * 75 = 69,75$$

$$\Delta z = 69,75 * \frac{1,29 * 4,72^2}{2} = 1002 \text{ Па}$$

$$N = \frac{1,2 * 1002 * 12}{0,8 * 0,8} = 22551 \text{ Вт}$$

$$C_{\text{ВЫХ}} = 20 * (1 - 0,812) = 3,76 \text{ г/м}^3$$

Выводы :

циклон ЦН - 24 ;

$$D_{\text{ц}} = 1,8 \text{ м};$$

$$\eta = 0,82;$$

$$N = 22551 \text{ Вт};$$

$$C_{\text{ВЫХ}} = 3,76 \text{ г/м}^3$$

Варианты заданий

Согласно заданию преподавателя (табл. 6) выбрать и рассчитать циклон, обеспечивающий требуемую эффективность очистки газа. Обозначения принятые в табл. 6. :

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$ - объем очищаемого газа,

$\rho, \text{ кг/м}^3$ - плотность газа при рабочих условиях,

$\mu, \text{ Па с}$ - вязкость газа при рабочей температуре,

$d_M, \text{ мкм}$ - медианный размер частиц пыли,

$\lg \delta_4$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли,

$C_{\text{ВХ}}, \text{ г/м}^3$ - входная концентрация пыли,

$\rho_4, \text{ кг/м}^3$ - плотность частиц пыли,

η - требуемая эффективность очистки газа.

Таблица 19

Исходные данные для расчета циклона

№	Наименование оборудования	Q	ρ	μ	d_M	$\lg \delta_4$	C_{BX}	ρ_4	η
1	Клинкерно-обжиговая печь	20	1,29	17,3	23	0,501	30	2000	0,85
2		26	1,29	17,3	20	0,602	10	2000	0,80
3		10	1,29	17,3	14	0,535	25	2000	0,80
4		16	1,29	17,3	9	0,497	20	2000	0,80
5	Шахтная мельница	0.1	1,29	17,3	56	0,97	100	2240	0,80
6	Крекинг установка	2	1,29	17,3	16	0,250	10	2600	0,85
7		10	1,29	17,3	14	0,250	20	2600	0,85
8	Крекинг установка	10	1,29	17,3	7	0,301	15	2600	0,85
9	Углесушильный барабан	5	1,29	17,3	15	0,334	50	1350	0,80
10	Шаровая мельница	1	1,29	17,3	6	0,468	20	2900	0,80
11	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	7	0,345	40	2000	0,80
12	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	18	0,652	20	2000	0,85
13	Электролизер алюминия	5	1,29	17,3	10	0,352	1	2700	0,85
14	Вращающаяся печь обжига	2	1,29	17,3	13	0,215	100	2900	0,85
15	Вращающаяся печь обжига	3	1,29	17,3	8	0,506	40	2650	0,80
16	Распылительная сушилка	10	1,29	17,3	8	0,210	4	1800	0,80
17	Барабанная сушилка	10	1,29	17,3	15	0,360	10	1800	0,80
18		12	1,29	17,3	11	0,360	20	1800	0,80
19	Барабанная сушилка	8	1,29	17,3	20	0,352	10	2700	0,85
20	Цементная мельница	5	1,29	17,3	12	0,468	60	2900	0,85
21	Наждачный станок	0,5	1,29	17,3	38	0,214	10	2500	0,85
22	Шаровая мельница	3	1,29	17,3	9	0,385	10	2900	0,80
23	Электролизер алюминия	8	1,29	17,3	10	0,468	2	2700	0,85
24	Наждачный станок	0,6	1,29	17,3	30	0,312	15	2500	0,85
25	Шаровая мельница	2	1,29	17,3	6	0,268	10	2900	0,80
26	Наждачный станок	0,8	1,29	17,3	30	0,314	8	2500	0,85
27	Наждачный станок	10	1,29	17,3	6	0,468	10	2000	0,80
28	Шаровая мельница	12	1,29	17,3	7	0,214	2	2000	0,80
29	Наждачный станок	8	1,29	17,3	18	0,385	15	2240	0,80
30	Барабанная сушилка	5	1,29	17,3	10	0,468	10	2600	0,85

Список литературы

1. Бертокс П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений / П. Бертокс, Д. Радд. – М., изд. «Мир», 1980.
2. Воронцов А.А. Охрана природы / А.А. Воронцов, Е.А. Щетинский, И.Д. Никодимов. – М., ВО «Агропромиздат», 1989.
3. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. – М., Госнаучтехиздат химической литературы, 1962.
4. Кобзарь И.Г.. Очистка воздуха от продуктов горения натрия // Сопещение специалистов МАГАТЭ «Натриевые пожары», Обнинск, 1988.
5. Логинов Н.Я. Аналитическая химия: Учебное пособие для студентов химико-биологической и биолого-химической специальностей пед. институтов / Н.Я. Логинов, А.Г. Воскресенский, И.С. Солодкин. – М., «Просвещение», 1975.
6. Мазур И.И. Инженерная экология: Общий курс в 2-х томах. Справочное пособие /И.И. Мазур, О.И. Молдованов, В.Н. Шишов. Под ред. И.И. Мазу-ра. – Москва, Высшая школа, 1986.
7. Неницеску К. Общая химия. М., «Мир», 1968.
8. Охрана окружающей среды / Под ред. проф. С.В. Белова. – М., «Высшая школа», 1991.
9. А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. Технологические процессы экологической безопасности. Калуга, 2000.
10. Руководство по испытанию и оценке воздушных фильтров для систем приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. М., Стройиздат, 1979.
11. Стырикович М.А. Процессы генерации пара на электростанциях / М.А. Стырикович, О.И. Мартынова, З.Л. Миропольский, под общ. ред. акад. М.А. Стыриковича. – М., «Энергия», 1969.
12. Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды / Н.С. Торочешников, А.И. Родионов, Н.В. Кельцев, В.Н. Клушин. – М., «Химия», 1981.
13. Фриш С.Э. Курс общей физики. Том 1. Физические основы механики, молекулярная физика, колебания и волны / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – М., 1962.
14. Цветкова Л.И. Экология: Учебник для технических вузов / Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев, Б.П. Усанов и др. – Изд. АСВ; Спб; Химиздат, 1999 г.
15. Чечеткин Ю.В. Обращение с радиоактивными отходами / Ю.В.

Чечеткин, А.Ф. Грачев. – Самара, 2000.

16. Аспиратор для отбора проб воздуха. Модель 822. – СПб: Красногвардеец, 1999. – 14с.

17. Промышленная экология. Методическое указание к выполнению лабораторных работ. Когай Л.Ю., Жиенбаева Л.Б., Кызылорда, 2003г.

18. Михалева З.А., Баранов А.А., Негров В.А., Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование защиты окружающей среды. Лабораторный практикум., Тамбов, 2004г.

19. Газоанализатор АНКАТ 7631. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИБЯЛ. 413411.007 ТО.

20. Многокомпонентный газоанализатор концентрации оксида углерода, углеводородов и дымности «АВТОТЕСТ СО-СН-Д-Т» микропроцессорный. ЗАО НПФ «МЕТА», г. Жигулевск. 2004г.

21. Калыгин В.Г. Промышленная экология, учебное пособие,- М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432с.

22. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др: Под ред. А.А. Русанова. - М.: Энергоатомиздат, 1983, 312 с.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

Подписано в печать 17.05. 2018г.
Формат 60x84/16. Печать ризографическая.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. п. л. 5,9. Уч.-изд. л. 5,9.
Тираж 50 экз. Заказ № 1037.

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru