

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Севастопольский государственный университет

Кафедра «Техносферная безопасность»



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения практической работы
по дисциплине **«Расчет и проектирование
систем обеспечения безопасности»**

для студентов направления подготовки
«Техносферная безопасность»

Севастополь

2015

УДК 658.382.3

Методические указания для выполнения практической работы «Расчет расчёт устройств для очистки воздуха от пыли» по дисциплине «Расчёт и проектирование систем обеспечения безопасности» для студентов направления подготовки «Техносферная безопасность» / Сост. В.Г. Каширцев, А.А. Никитин – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. – 27 с.

В методических указаниях приводятся краткая теория, расчеты пылеулавливающего оборудования и задания для выполнения практической работы. Методические указания предназначены в помощь студентам при изучении раздела «Защита от вредных веществ и пыли на производстве» по курсу «Расчёт и проектирование систем обеспечения безопасности»

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техносферная безопасность» СевГУ.

Протокол № 1 от 28 августа 2015 г.

Рецензент: Шустичкий И.В., к.т.н., доцент

© Каширцев В.Г.,
Никитин А.А.

© Севастопольский
государственный
университет, 2015 год

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	3
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	4
3. РАСЧЕТ ПЫЛЕОСАДОЧНЫХ КАМЕР	6
4. РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ	9
5. РАСЧЕТ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ	16
6. РАСЧЕТ ЯЧЕЙКОВЫХ ФИЛЬТРОВ	18
Приложение	20
Задание для выполнения практической работы	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	27

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Пыль – это мельчайшие твердые частицы, которые могут находиться в воздухе в течение длительного времени во взвешенном состоянии.

Для расчета устройств очистки воздуха от пыли определяющими факторами являются происхождение и степень измельчения пыли.

По происхождению пыль классифицируется:

1. Органическая (растительная, животная, искусственная органическая)
2. Неорганическая (минеральная, металлическая)
3. Смешанная пыль.

По степени измельчения (дисперсности) различают следующие группы пыли (рис. 1):

I – очень крупнодисперсная пыль с характерным медианным размером $d > 150 \cdot 10^{-6}$ м (определяется при условии, что количество частиц крупнее или мельче указанного размера составляет 50%);

II – крупнодисперсная пыль с $d = (40 \dots 150) \cdot 10^{-6}$ м (например, мелкозернистый песок, синтетические моющие средства);

III – среднедисперсная пыль, у которой размер $d = (10 \dots 40) \cdot 10^{-6}$ м;

IV – мелкодисперсная пыль с $d = (1 \dots 10) \cdot 10^{-6}$ м (например, сахарная пудра);

V – очень мелкодисперсная пыль с $d < 1 \cdot 10^{-6}$ м.

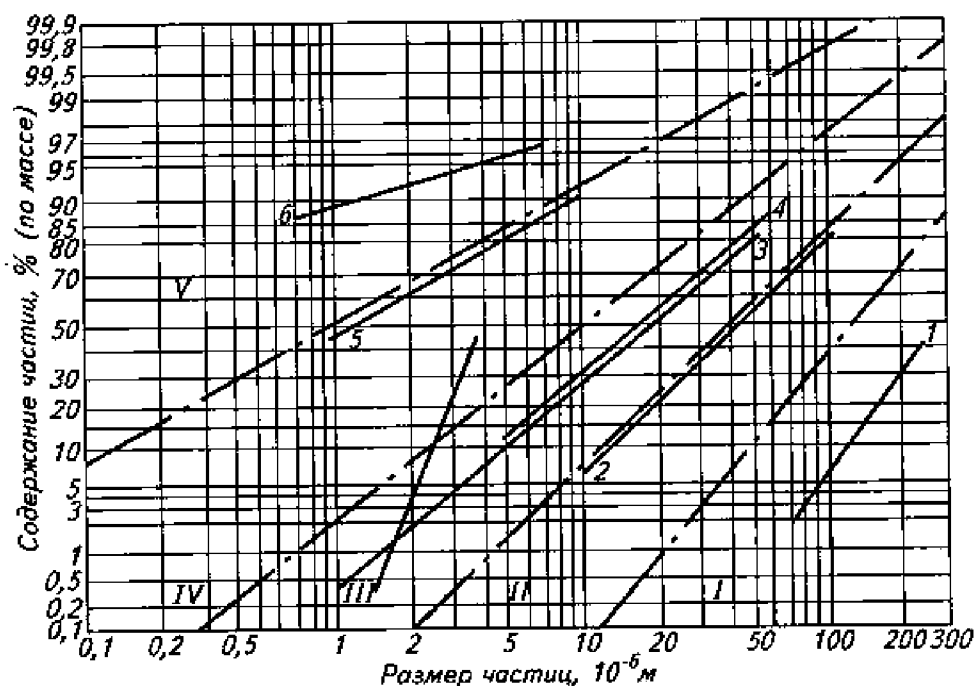


Рис. 1 Классификационная номограмма пылей по их дисперсности:

I...V – классификационные группы пылей по их дисперсности; *1* – уголь, измельченный в шаровой мельнице; *2* – мелкозернистый кварцевый песок; *3* – пылевидный кварц; *4* – цемент; *5* – дым мартеновских печей; *6* – атмосферная пыль

Пыль может оказывать различное действие на организм: раздражающее, аллергическое, фиброгенное, токсическое. Характер действия пыли на организм зависит от физико-химических свойств пылевых частиц.

Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от количества вдыхаемой пыли, от степени дисперсности, от формы частиц, от степени твердости, электрического заряда, растворимости и от химического состава пыли.

Содержание пыли в воздухе производственных помещений не должно превышать предельно-допустимых концентраций (ПДК), установленных нормами ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Универсальных пылеулавливающих устройств, эффективно задерживающих любой вид пыли при различных ее концентрациях, не существует. Поэтому по степени очистки загрязненного воздуха все пылеулавливающие устройства делят на три группы:

– *грубой очистки* с коэффициентом эффективности пылеулавливания η , из-

меняющимся в пределах от 50 до 70 % (простые пылеосадочные камеры, циклоны больших размеров и др.);

– *средней очистки* с $\eta = 70...90$ % (лабиринтные пылеосадочные камеры, циклоны, ротационные пылеуловители и др.);

– *тонкой очистки* с $\eta = 90...99,9$ % (ячейковые, рукавные, электрические, мокрые, пенные аппараты и др.).

Основные характеристики пылеуловителей: пропускная способность ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{с}$); общий коэффициент очистки воздуха, или общая эффективность пылеулавливающего аппарата (%); фракционный коэффициент очистки, который выражает эффективность работы аппарата по отношению к отдельным фракциям пыли (%); пылеемкость (кг), или удельная пылеемкость ($\text{кг}/\text{м}^2$); гидравлическое сопротивление (Па), представляющее собой разность полных давлений на входе в аппарат и на выходе из него, а также ряд экономических показателей.

Общий коэффициент очистки воздуха пылеуловителей, %,

$$\eta_{об} = 100G_{ул} / G_{вх} = 100G_{ул} / (G_{ул} + G_{ун}) = 100(G_{вх} - G_{ун}) / G_{вх} \quad (1)$$

где $G_{вх}$, $G_{ул}$, $G_{ун}$ – масса пыли, соответственно поступившей в пылеуловитель с загрязненным воздухом, уловленной в нем и унесенной с уходящим воздухом, кг/ч:

$$G_{вх} = c_{вх} \cdot Q$$

$$G_{ун} = c_{вых} \cdot Q$$

где $c_{вх}$, $c_{вых}$ – концентрация пыли в воздухе соответственно на входе в аппарат и на выходе из него, $\text{мг}/\text{м}^3$;

Q – объем очищаемого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$G_{ул}$ определяют путем взвешивания осажденной в аппарате пыли.

3. РАСЧЕТ ПЫЛЕОСАДОЧНЫХ КАМЕР

В пылеосадочных камерах пылевые частицы отделяются от воздуха под действием силы тяжести (рис. 2). Такие камеры чаще всего применяют для грубой очистки воздуха, загрязненного крупнодисперсной пылью с размером частиц $> 10^{-4}$ м. У простых камер степень очистки обычно находится в пределах 50...60 %, а у лабиринтных достигает 85...90 %. К преимуществам пылеосадочных камер относятся небольшое сопротивление, простота устройства и эксплуатации.

Так как масса пылевых частиц очень мала, скорость их осаждения также невелика. Поэтому скорость движения воздуха v по длине камеры в горизонтальном направлении выбирают из условия обеспечения ламинарного режима течения. Для этого необходимо, чтобы

$$v < \frac{l}{h} v_a \quad (2)$$

где l, h – соответственно длина и высота пылеосадочной камеры, м;

v_a – скорость витания частиц пыли, м/с.

Как правило, значения скорости v движения воздуха в камере должны быть в пределах 0,2...0,5 м/с.

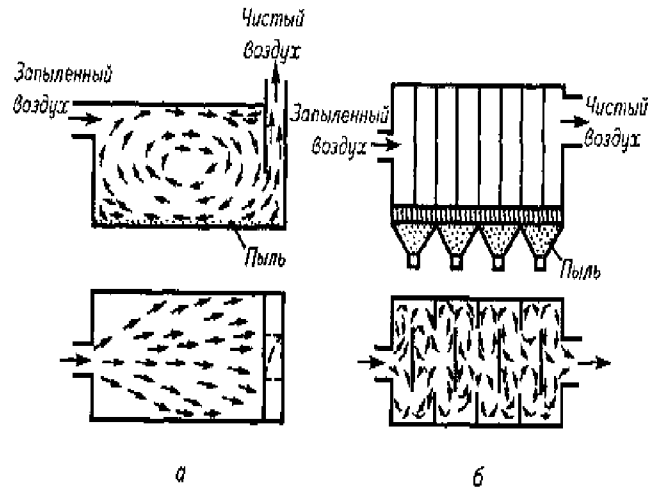


Рис. 2 Пылеосадочные камеры: *а* – простая; *б* – лабиринтная

Расчет пылеосадочных камер проводят в такой последовательности. Сначала задают минимальные размеры пылевых частиц, которые необходимо уловить в пылеосадочной камере, и по номограмме (рис. 3) находят скорость их витания v_a , м/с. Скорость витания пылевых частиц сферической формы диаметром до $(5...6) \cdot 10^{-5}$ м при выполнении условия $0 < Re < 1$ (здесь Re – число Рейнольдса) можно определить по формуле:

$$v_a \approx d^2 \rho_n / (18\mu), \quad (3)$$

где d – размер улавливаемых частиц пыли, м;

ρ_n – плотность пылевых частиц, кг/м³;

μ – динамическая вязкость среды, Па·с.

Динамическую вязкость среды выбирают в зависимости от её температуры t , °C (табл.1).

Таблица 1 – Динамическая вязкость среды

$t, ^\circ\text{C}$	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20
$\mu \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с}$	1,46	4,52	1,57	1,62	1,67	1,72	1,76	1,81
$t, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60	70	80	90	100
$\mu \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с}$	1,86	1,91	1,96	2,01	2,06	2,11	2,15	2,19

Число Рейнольдса рассчитывают по формуле:

$$Re = \rho_c v l_n / \mu, \quad (4)$$

или

$$Re = 1,27 \rho_c Q_c / \mu \quad (5)$$

где ρ_c – плотность среды, кг/м^3 ;

v – средняя скорость поступательного движения среды, м/с ;

l_n – характерный размер поперечного сечения (при круглом сечении – его диаметр, при квадратном – сторона квадрата);

Q_c – объемный расход через данное сечение, $\text{м}^3/\text{с}$.

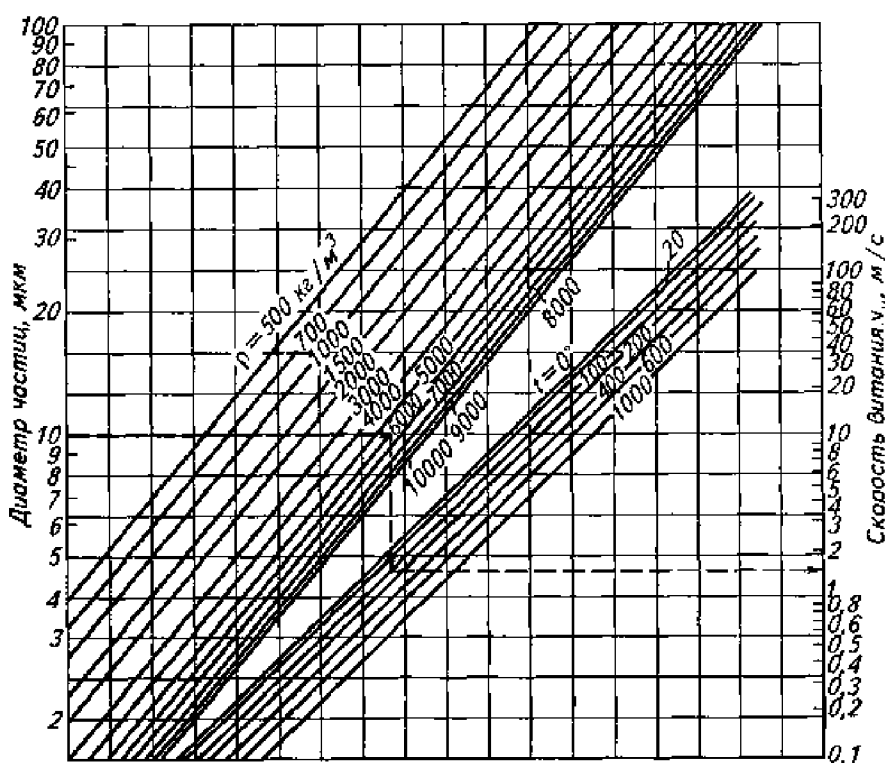


Рис. 3. Номограмма для определения скорости витания частиц пыли:

ρ – плотность частиц пыли, кг/м^3 ; t – температура газа, $^{\circ}\text{C}$

Затем, зная объем очищаемого воздуха и принимая скорость движения воздуха в камере v в указанных ранее пределах, определяют площадь поперечного сечения пылеосадочной камеры, м^2 :

$$S = bh = Q / (3600v) \quad (6)$$

где b , h – соответственно ширина и высота камеры, м ;

Q – объем загрязненного воздуха, проходящего через камеру, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Задавая высоту камеры h , находят ее ширину b , м :

$$b = S / h \quad (7)$$

Длина камеры, м:

$$l \geq h v / v_{\text{ч}} \quad (8)$$

Пример. Рассчитать размеры пылеосадочной камеры для очистки 4500 м^3 воздуха, загрязненного пылью, плотность частиц которой 700 кг/м^3 , а средний диаметр $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$. Температура удаляемого воздуха 20°C .

Решение. По номограмме (см. рис. 3) находим скорость витания частиц пыли: $v_{\text{ч}} = 0,8 \text{ м/с}$.

Приняв скорость движения воздуха в пылеосадочной камере $v_{\text{в}} = 0,5 \text{ м/с}$, определяем площадь ее поперечного сечения:

$$S = bh = Q / (3600 v) = 4500 / (3600 \cdot 0,5) = 2,5 \text{ м}^2$$

Задавая высоту камеры $h = 2,5 \text{ м}$, найдем ее ширину:

$$b = S / h = 2,5 / 2,5 = 1 \text{ м}$$

Минимальная длина камеры:

$$l = h v / v_{\text{ч}} = 2,5 \cdot 0,5 / 0,8 = 1,563 \text{ м}$$

Приняв $l = 1,6 \text{ м}$, проверяем выполнение условия $v < \frac{l v_{\text{ч}}}{h}$:

$$0,5 < \frac{1,6 \cdot 0,8}{2,5}, \text{ или } 0,5 < 0,512$$

Условие выполняется, следовательно, размеры пылеосадочной камеры определены правильно.

4. РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

Циклоны применяют в основном для улавливания из воздуха пылевых частиц II, III и IV групп дисперсности. Частицы пыли V группы в таких устройствах эффективно не улавливаются.

Циклон представляет собой полый цилиндр с конусной нижней частью, внутри которого расположена выпускная труба. Запыленный воздух подается через входной патрубок, установленный тангенциально в верхней части циклона (рис. 4).

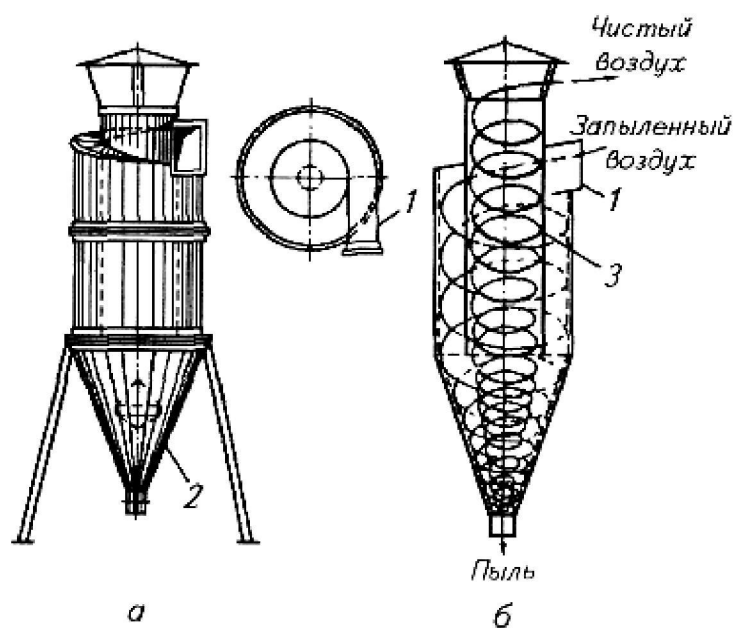


Рис. 4 Циклон: а – общий вид; б – схема работы; 1 – входной патрубок; 2 – конусная часть; 3 – выпускная труба

В циклонах отделение взвешенных частиц от воздуха происходит за счет центробежной силы, действующей на частицы очищаемого воздуха при его вращении и одновременном движении вниз, поэтому циклоны часто называют *центробежными пылеотделителями*. Энергетические потери в циклоне характеризует коэффициент сопротивления ξ представляющий собой отношение полных потерь давления в циклоне p_c к динамическому давлению p_d в каком-либо его сечении (во входном патрубке или поперечном сечении корпуса):

$$\xi = p_c / p_d \quad (9)$$

Значение коэффициента ξ зависит от формы циклона. Обычно в качестве объекта сравнения используют циклон серии ЦН-15, разработанный научно-исследовательским институтом очистки газа (НИИОГАЗ).

Конструктивные размеры циклонов НИИОГАЗ серии ЦН-15 приведены на рисунке 5, а их значения - в таблице 1 Приложения.

Высокопроизводительный циклон ЦН-24 с углом наклона входного патрубка $\alpha = 24^\circ$ применяют в качестве первой ступени очистки при значительной концентрации крупнодисперсной пыли в воздухе. Для улавливания мелких частиц диаметром $(5 \dots 10) \cdot 10^{-6}$ м разработан циклон повышенной эффективности ЦН-11 с углом $\alpha = 11^\circ$.

Характеристики циклонов различных типов при одинаковой пропускной способности и сопротивлении 1000 Па даны в таблице 2.

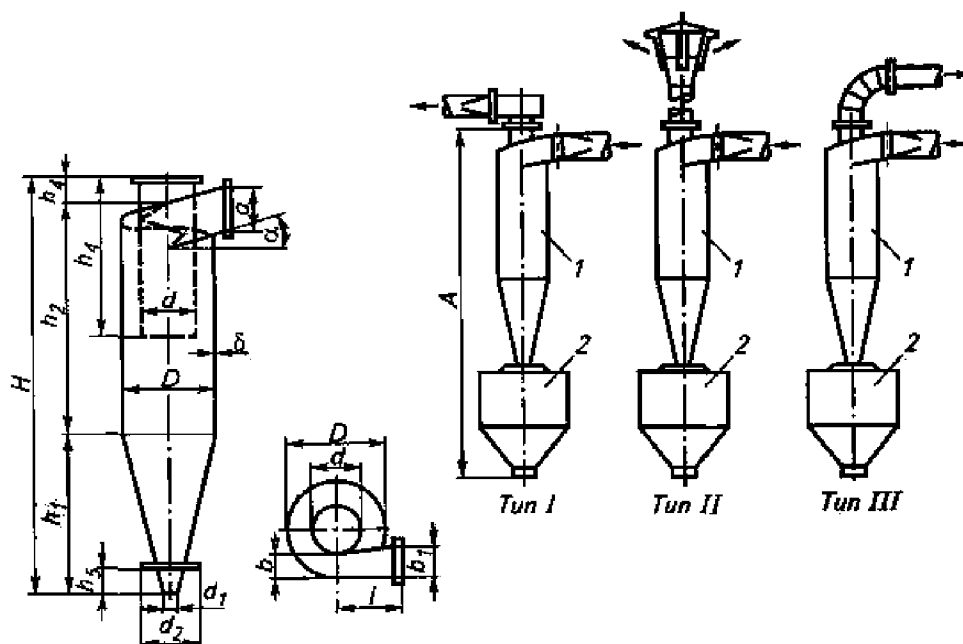


Рис. 5. Конструктивные размеры циклонов НИИОГАЗ серии ЦН-15:

1 – циклон; 2 – бункер; тип I – выпуск воздуха через улитку; тип II – то же, через трубу вверх; тип III – то же, через отвод вбок

Внутренний диаметр D , на основе которого определяют другие конструктивные размеры циклонов, может быть выбран как по таблице 1 Приложения, так и из следующего ряда значений, мм: 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000.

Методика расчета и подбора циклонов заключается в следующем. Зная производительность циклона Q , м³/ч, и оптимальную скорость движения воздуха в поперечном сечении корпуса циклона $W_{ц.опт.}$, м/с (табл. 3), вычисляют диаметр циклона:

$$D_p = 0,0188 \sqrt{Q / W_{ц.опт.}} \quad (10)$$

Таблица 2 – Основные характеристики циклонов НИИОГАЗ

Марка циклона	Коэффициент гидравлического сопротивления		Высота					
	$\xi_{\text{вх}}$	$\xi_{\text{вых}}$	входного патрубка	выхлопной трубы	цилиндрической части	конической части	внешней части выхлопной трубы	общая
ЦН-11	250	6,1	0,48D	1,56	2,06	2	0,3	4,36
ЦН-15у	170	8,2	0,66D	1,5	1,51	1,5	0,3	3,31
ЦН-24	80	10,9	1,11D	2,11	1,75	0,4	4,26	

Примечание. Для всех циклонов внутренний диаметр выпускной трубы $d=0,59D$.

Таблица 3 – Расчетные параметры циклонов

Параметр	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	СКД-ЦН-33	СКД-ЦН-34
K	41,4	41,4	41,4	46,9	34,97	34,97
$d_{50\mu}$, мкм	2,47	3,06	3,48	4,71	1,428	1,297
$\sigma_{\text{ц2}}$	0,3979	0,3979	0,3979	0,3979	0,4281	0,4155
$\sigma_{\text{ц}}$	0,158	0,158	0,158	0,158	0,183	0,1732
$W_{\text{ц.опт.}}$, м/с	3,5	3,5	3,5	4,5	2,5	2,5

Полученное значение D_p округляют до ближайшего из стандартного ряда. Затем на основе принятого значения диаметра циклона D находят его другие конструктивные параметры (см. табл. 1 Приложения, 2) и рассчитывают действительную скорость движения запыленного воздуха в циклоне, м/с:

$$W_{\text{ц}} = \frac{Q}{2826D^2} \quad (11)$$

Далее определяют фракционный коэффициент очистки циклонов, %:

$$\eta_{\text{фр}} = 50[1 + \Phi(x)] \quad (12)$$

где $\Phi(x)$ – логарифмическая функция вероятностного распределения, определяемая в зависимости от параметра распределения x по таблице 2 Приложения.

Величину x вычисляют по формуле

$$x = \frac{\lg \left[\frac{d'}{1000 d_{50u} K \sqrt{D \mu / (\rho_n W_u)}} \right]}{\sigma_{ин}} \quad (13)$$

где d' – наибольший размер частиц фракций пыли, для которой определяют коэффициент очистки, мкм (табл. 3 Приложения);

$d_{50ц}$ – диаметр частиц, которые в условном циклоне улавливаются на 50%, мкм (см. табл. 3);

K – коэффициент, значения которого зависят от типа циклона (см. табл. 3);

μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с;

ρ_n – плотность частиц пыли, кг/м³ (см. табл. 3 Приложения);

$\sigma_{ин}$ – характеристика полидисперсности пыли, или дисперсия.

Общая эффективность пылеулавливания, %:

$$\eta_{об} = 50[1 + \Phi(x')] \quad (14)$$

Значения функции $\Phi(x')$ определяют по таблице 2 Приложения.

Величину x' находят по формуле:

$$x' = \frac{\lg \left[\frac{d_{50}}{1000 d_{50u} K \sqrt{D \mu / (\rho_n W_u)}} \right]}{\sqrt{\sigma_u^2 + \lg^2(d_{50} / d_{16})}} \quad (15)$$

где d_{50} – медиана распределения (диаметр частиц, при котором суммарная масса всех частиц, имеющих размер менее d_{50} , составляет 50 % массы всей пыли);

d_{16} – диаметр частиц улавливаемой пыли, при котором суммарная масса всех частиц диаметром менее d_{16} составляет 16 % массы всей пыли.

Параметры d_{50} и d_{16} принимают по таблице 3 Приложения.

Если очистка воздуха от пыли производится в нескольких последовательно установленных циклонах, то процесс очистки должен начинаться в циклоне большего диаметра, так как с уменьшением диаметра коэффициент очистки циклонов возрастает. При этом общий коэффициент очистки:

$$\eta_{об} = [1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n)] \cdot 100\%, \quad (16)$$

где $\eta_1, \dots, \eta_n$ – коэффициенты очистки соответственно первого, второго и n -го циклонов в процентах.

Сопротивление циклона, Па:

$$p_u = \xi_{нл} W_u^2 \rho_t / 2, \quad (17)$$

где ρ_t – плотность очищаемого воздуха при конкретной заданной температуре t , которую можно определить по формуле:

$$\rho_t = 353 / (273 + t)$$

Соппротивление циклона можно также рассчитать по формуле:

$$p_{\text{ц}} = 0,81 \xi_{\text{нл}} \rho_t q_c^2 / D^4 \quad (18)$$

где q_c – секундный расход воздуха через циклон, м³/с;

D – диаметр корпуса циклона, м.

Пример. Система аспирации шахтной мельницы удаляет 2450 м³/ч воздуха, имеющего температуру 20 °С и загрязненного пылью известняка. Рассчитать параметры циклона серии ЦН-15, обеспечивающего очистку воздуха от пыли.

Решение. Зная производительность циклона Q , м³/ч, и оптимальную скорость движения воздуха в поперечном сечении циклона $W_{\text{ц.опт}} = 3,5$ м/с (см. табл. 3), вычисляем диаметр циклона:

$$D_p = 0,0188 \sqrt{Q / W_{\text{ц.опт}}} = 0,0188 \sqrt{2450 / 3,5} = 0,497 \text{ м}$$

Принимаем диаметр циклона $D = 500$ мм (см. табл. 1 Приложения). Тогда действительная скорость движения воздуха в циклоне:

$$W_{\text{ц}} = \frac{Q}{2826 D^2} = \frac{2450}{2826 \cdot 0,5} = 3,47 \text{ м/с.}$$

Вычисляем величину x по формуле:

$$x = \frac{\lg \left[\frac{d'}{1000 d_{50\text{ц}} K \sqrt{D \mu / (\rho_n W_{\text{ц}})}} \right]}{\sigma_{\text{цп}}} =$$

$$= \frac{\lg \left[\frac{40}{1000 \cdot 3,06 \cdot 41,4 \sqrt{0,5 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} / (2706 \cdot 3,47)}} \right]}{2} = 0,5$$

где $d' = 40$ мкм – наибольший диаметр частиц фракций пыли известняка (см. табл. 3 Приложения);

$d_{50\text{ц}} = 3,06$ мкм и $K = 41,4$ – приняты по таблице 3;

$\mu = 1,81 \cdot 10^{-5}$ Па · с – динамическая вязкость воздуха при температуре 20 °С;

$\rho_n = 2706$ кг/м³ и $\sigma_{\text{цп}} = 2$ по таблице 3 Приложения.

Фракционный коэффициент очистки выбранного циклона

$$\eta_{\text{фп}} = 50 [1 + \Phi(x)] = 50 (1 + 0,3829) = 69,14 \%$$

где $\Phi(x) = 0,3829$ при $x = 0,5$ (см. табл. 2 Приложения).

Рассчитываем величину x :

$$x' = \frac{\lg \left[\frac{d_{50}}{1000 d_{50q} K \sqrt{D\mu / (\rho_n W_q)}} \right]}{\sqrt{\sigma_q^2 + \lg^2(d_{50} / d_{16})}} =$$

$$= \frac{\lg \left[\frac{25}{1000 \cdot 3,06 \cdot 41,4 \sqrt{0,5 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} / (2706 \cdot 3,47)}} \right]}{\sqrt{0,3979^2 + \lg^2(25 / 10,86)}} = 1,01$$

где $d_{50} = 25$ мкм, $d_{16} = 10,86$ мкм. (см. табл. 3 Приложения).

Общая эффективность пылеулавливания:

$$\eta_{об} = 50[1 + \Phi(x')] = 50(1 + 0,6875) = 84,38 \%$$

где $\Phi(x') = 0,6875$ при $x' = 1,01$ (см. табл.2 Приложения).

Сопротивление циклона:

$$p_q = \xi_{nl} W_q^2 \rho_{20} / 2 = 160 \cdot 3,47^2 \cdot 1,205 / 2 = 1161 \text{ Па},$$

где $\xi_{nl} = 160$ – коэффициент сопротивления циклона серии ЦН-15; ρ_{20} – плотность очищаемого воздуха при температуре 20 °С: $\rho_t = 353 / (273 + t) = 353 / (273 + 20) = 1,205$ кг/м³.

5. РАСЧЕТ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ

В рукавных фильтрах очистка воздуха от пыли происходит в процессе его фильтрации через ткань, сшитую в виде отдельных рукавов и встроенную в герметичный корпус фильтра (рис. 6, а).

Рукавные фильтры любой конструкции представляют собой разборный шкаф, разделенный вертикальными перегородками на секции. В каждой секции размещены фильтрующие рукава цилиндрической формы, выполненные в виде обтянутого специальной тканью металлического каркаса. Рукава периодически очищаются от осаждающейся на них пыли в результате встряхивания их с помощью специального механизма и обратной продувки воздуха, которая осуществляется после перестановки клапана в коробке.

Рукавные фильтры бывают всасывающего и напорного типов. Рукава изготавливают из плотных тканей (хлопчатобумажных, капрона, лавсана и др.), чаще всего с начесом. Накапливающаяся на них пыль повышает эффективность очистки, являясь дополнительным фильтрующим слоем.

Эффективность очистки воздуха от пыли у рукавных фильтров составляет 98

% и выше, однако они очень громоздки и создают довольно большое сопротивление проходу воздуха — до 1000 Па.

Основные параметры рукавных фильтров, выпускаемых промышленностью, указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики рукавных фильтров

Марка фильтра	Площадь поверхности фильтрации, м ²		Число элементов			Диаметр рукава, мм	Длина рукава, мм	Масса фильтра, кг
	общая	рабочая	секций	рукавов в секции	рукавов в фильтре			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФВК-30	30	15	2	18	36	135	2060	1053
ФВК-60	60	45	4	18	72	135	2060	1682
ФВК-90	90	75	6	18	108	135	2060	2300
ФРМ1-6	126	105	6	10	60	135	2060	5776
ФРМ1-8	168	147	8	10	80	135	2060	7147
ФРМ1-9	210	189	10	10	100	135	2060	8633
ФВВ-45	45	30	3	18	54	135	2090	1735
ФВВ-60	60	45	4	18	72	135	2090	2135
ФВВ-90	90	75	6	18	108	135	2090	2935
ФТНС-4	12	12	1	4	4	385	2500	950
ФТНС-8	24	24	2	4	8	385	2500	990
ФТНС-12	36	36	3	4	12	385	2500	1485

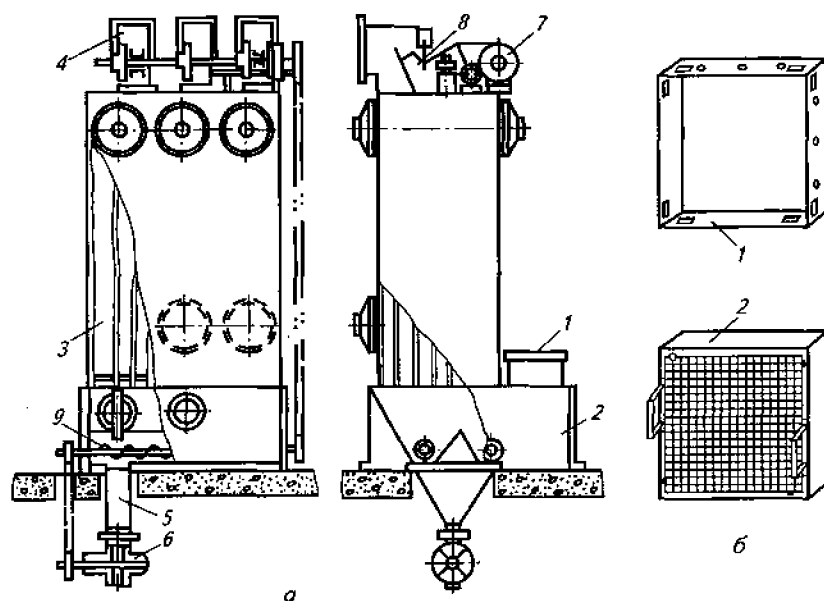


Рис. 6. Фильтры:

а – рукавный самовстряхивающийся: 1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – фильтрующий рукав; 4 – клапанная коробка; 5 – пылесборник; 6 – выпускной клапан; 7 – встряхивающее устройство; 8 – клапан; 9 – шнек; б – ячейковый масляный фильтр
 ФЯР системы «Рекка»: 1 – коробка; 2 – гофрированная сетка

При невысоких концентрациях пыли (200...5000 мг/м³) в очищаемом воздухе рукавные фильтры – единственная ступень очистки, а при высоких концентрациях (более 5000 мг/м³) перед ними устанавливают циклоны.

Рукавные фильтры рассчитывают в следующем порядке. Сначала вычисляют необходимую площадь фильтрации, м²:

$$S = Q / q_v, \quad (19)$$

где Q – расход очищаемого воздуха, м³/ч;

q_v – удельная воздушная нагрузка, м³/(м² · ч), при отсутствии данных можно принять $q_v = 50$ м³/(м² · ч).

Затем определяют требуемое число рукавных фильтров

$$n_p = S / S_1, \quad (20)$$

где S_1 – суммарная площадь ткани рукавов в одном фильтре, м² (см. табл. 4).

Фактическую воздушную нагрузку на ткань, м³/(м² · ч), рассчитывают по формуле:

$$q_v = Q / (S_1 n_p) \quad (21)$$

Рукавный фильтр с определенными расчетом параметрами должен обеспечить эффективность очистки воздуха от пыли не ниже 98 %.

6. РАСЧЕТ ЯЧЕЙКОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Унифицированные ячейковые фильтры конструктивно выполнены в виде металлического коробчатого корпуса (см. рис. 6), в который вставляют 12 гофрированных сеток, выполненных из различных фильтрующих материалов: металла (фильтры ФЯР), винипласта (фильтры ФЯВ), ультратонкого стекловолокна (фильтры ФЯУ) или модифицированного пенополиуретана (фильтры ФЯП). Перед установкой сетки смачивают маслом.

Ячейковые фильтры всех видов изготавливают прямоугольной формы с размерами сторон, кратными 250 мм. Глубина ячеек определяется требованиями к эффективности очистки и сопротивлению устройства. Ячейковые фильтры обычно собирают в панель, через которую пропускают запыленный воздух. При загрязнении

фильтров до предельной величины фильтрующий материал либо заменяют новым (в фильтрах ФяУ), либо регенерируют, промывая их горячей водой, горячим содовым раствором, продувая паром и т. п.

Ячейковые фильтры обладают небольшой пылеемкостью, поэтому их применяют для очистки при невысокой концентрации пыли (до 10 мг/м^3) обычно в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Эффективность пылеулавливания фильтров на атмосферной пыли достигает 80 %, а сопротивление составляет 40...60 Па, хотя по мере накопления пыли в фильтре оно может возрастать до 300 Па. Основные параметры ячейковых фильтров указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Технические данные ячейковых фильтров

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

Примечание. Для всех фильтров: размеры 514 x 514 x 55 мм; площадь рабочего сечения $0,22 \text{ м}^2$; пропускная способность $1540 \text{ м}^3/\text{ч}$ при удельной воздушной нагрузке $7000 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; эффективность очистки до 80 %.

В начале расчета ячейковых фильтров определяют допустимую концентрацию пыли в приточном воздухе, мг/м^3 :

$$c_{np} = 0,3c_{пдк}, \quad (22)$$

где $c_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3 .

Далее рассчитывают требуемую эффективность очистки воздуха от пыли, %, по формуле:

$$\eta = 100(c_o - c_{np})/c_o \quad (23)$$

где c_o – концентрация пыли в очищаемом воздухе, мг/м^3 .

Затем подбирают по каталогу ячейковый фильтр, обеспечивающий требуемую степень очистки воздуха. Зная пропускную способность одного фильтра, подсчитывают необходимое число фильтров

$$n = Q / q, \quad (24)$$

где Q – расход очищаемого воздуха, м³/ч;

q – пропускная способность (воздушная загрузка) одного ячейкового фильтра, м³/ч.

Суммарная площадь фильтрующей поверхности, м²,

$$S = abn, \quad (25)$$

где a , b – размеры поперечного сечения фильтра, м.

Суммарная пылеемкость фильтров, г,

$$\Pi = pS, \quad (26)$$

где p – удельная пылеемкость фильтра, г/м².

Продолжительность эксплуатации фильтров без замены или регенерации фильтрующего материала, ч,

$$\tau = 1000\Pi / [(c_o - c_{np})Q] \quad (27)$$

Если продолжительность эксплуатации фильтров оказывается неудовлетворительной, то ее увеличивают, устанавливая большее число ячейковых фильтров.

Пример. Рассчитать ячейковый фильтр для очистки 4600 м³/ч воздуха, удаляемого системой вентиляции от шлифовальных станков, если концентрация пыли в очищаемом воздухе составляет 30 мг/м³, а ее предельно допустимая концентрация равна 6 мг/м³.

Решение. Допустимая концентрация пыли в приточном воздухе

$$c_{np} = 0,3c_{пдк} = 0,3 \cdot 6 = 1,8 \text{ мг/м}^3$$

Требуемая эффективность очистки воздуха от пыли

$$\eta = 100(c_o - c_{np}) / c_o = 100(30 - 1,8) / 30 = 94 \%$$

Выбираем ячейковый фильтр марки ФяР и определяем необходимое число фильтров:

$$n = Q / q = 4600 / 1540 = 2,98 \approx 3,$$

где $q = 1540$ м³/ч – пропускная способность одного фильтра (см. табл. 5).

Суммарная площадь фильтрующей поверхности

$$S = abn = 0,514 \cdot 0,514 \cdot 3 = 0,793 \text{ м}^2,$$

где $ab = 0,514 \times 0,514$ м – размеры поперечного сечения одного фильтра (см табл. 5).

Суммарная пылеемкость фильтров

$$U = pS = 1500 - 0,793 = 1189,5 \text{ г},$$

где $p = 1500 \text{ г/м}^2$ – удельная пылеемкость одного фильтра марки ФЯР (см. табл. 5).

Продолжительность эксплуатации фильтров без регенерации фильтрующего материала

$$\tau = 1000 \Pi / \left[(c_o - c_{np}) Q \right] = 1000 \cdot 1189,5 / [(30 - 1,8) 4600] = 9,2$$

С учетом установленной на предприятии продолжительности рабочей смены можно принять $\tau = 8 \text{ ч}$.

Приложение

Таблица 1 – Конструктивные размеры циклонов НИИОГАЗ серии ЦН-15, мм

D	A	d	d_1	d_2	H	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	a	b	b_1	l	δ
100	820	60	40	105	492	200	232	60	212	32	66	20	29	90	2
150	1190	90	60	155	720	300	345	75	297	48	99	30	41	110	2
200	1560	120	60	160	918	400	458	60	354	48	132	40	52	120	2
250	1930	150	75	180	1149	500	574	75	444	60	165	50	65	150	3
300	2300	180	90	210	1377	600	687	90	531	72	198	60	78	180	3
350	2670	210	105	250	1605	700	800	105	618	84	231	70	91	210	3
400	3040	240	120	280	1833	800	913	120	705	96	264	80	104	240	3
450	3410	270	135	310	2061	900	1026	135	792	108	297	90	117	270	3
500	3780	300	150	325	2289	1000	1139	150	879	120	330	100	130	300	3
550	4150	330	165	350	2520	110	1255	165	972	132	363	110	143	330	5
600	4520	360	180	365	2750	1200	1370	180	1060	144	396	120	156	360	5
650	4890	390	195	400	2980	1300	1485	195	1146	156	429	130	169	390	5
700	5260	420	210	410	3210	1400	1600	210	1235	168	462	140	182	420	5
750	5630	450	225	450	3435	1500	1710	225	1320	180	495	150	195	450	5
800	6000	480	240	470	3665	1600	1825	240	1405	192	528	168	208	480	5

Примечание: для D , d и d_1 даны внутренние размеры.

Таблица 2 – Логарифмическая функция вероятностного распределения

$x; x'$	$\Phi(x);$ $\Phi(x')$	$x; x'$	$\Phi(x);$ $\Phi(x')$	$x; x'$	$\Phi(x);$ $\Phi(x')$	$x; x'$	$\Phi(x);$ $\Phi(x')$	$x; x'$	$\Phi(x);$ $\Phi(x')$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,0080	0,44	0,3401	0,87	0,6157	1,30	0,8064	1,73	0,9164
0,02	0,0160	0,45	0,3473	0,88	0,6211	1,31	0,8098	1,74	0,9181
0,03	0,0239	0,46	0,3545	0,89	0,6265	1,32	0,8132	1,75	0,9199
0,04	0,0319	0,47	0,3616	0,90	0,6319	1,33	0,8163	1,76	0,9216
0,05	0,0399	0,48	0,3688	0,91	0,6372	1,34	0,8198	1,77	0,9233
0,06	0,0478	0,49	0,3759	0,92	0,6424	1,35	0,8230	1,78	0,9246
0,07	0,0558	0,50	0,3829	0,93	0,6475	1,36	0,8262	1,79	0,9263
0,08	0,0638	0,51	0,3899	0,94	0,6528	1,37	0,8293	1,80	0,9281
0,09	0,0717	0,52	0,3969	0,95	0,6579	1,38	0,8324	1,81	0,9297
0,10	0,0797	0,53	0,4039	0,96	0,6629	1,39	0,8355	1,82	0,9312
0,11	0,0876	0,54	0,4108	0,97	0,6680	1,40	0,8385	1,83	0,9328

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,12	0,0955	0,55	0,4177	0,98	0,6729	1,41	0,8415	1,84	0,9342
0,13	0,1034	0,56	0,4245	0,99	0,6778	1,42	0,8444	1,85	0,9357
0,14	0,1113	0,57	0,4313	1,00	0,6827	1,43	0,8475	1,86	0,9371
0,15	0,1192	0,58	0,4381	1,01	0,6875	1,44	0,8501	1,87	0,9385
0,16	0,1271	0,59	0,4448	1,02	0,6923	1,45	0,8529	1,88	0,9399
0,17	0,1350	0,60	0,4515	1,03	0,6970	1,46	0,8557	1,89	0,9412
0,18	0,1428	0,61	0,4581	1,04	0,7017	1,47	0,8584	1,90	0,9426
0,19	0,1507	0,62	0,4647	1,05	0,7063	1,48	0,8611	1,91	0,9439
0,20	0,1585	0,63	0,4713	1,06	0,7109	1,49	0,8638	1,92	0,9451
0,21	0,1663	0,64	0,4778	1,07	0,7154	1,50	0,8664	1,93	0,9464
0,22	0,1741	0,65	0,4843	1,08	0,7199	1,51	0,8690	1,94	0,9476
0,23	0,1819	0,66	0,4907	1,09	0,7243	1,52	0,8715	1,95	0,9488
0,24	0,1897	0,67	0,4971	1,10	0,7287	1,53	0,8740	1,96	0,9500
0,25	0,1974	0,68	0,5035	1,11	0,7330	1,54	0,8764	1,97	0,9512
0,26	0,2051	0,69	0,5098	1,12	0,7373	1,55	0,8789	1,98	0,9523
0,27	0,2128	0,70	0,5161	1,13	0,7415	1,56	0,8812	1,99	0,9534
0,28	0,2205	0,71	0,5223	1,14	0,7457	1,57	0,8836	2,00	0,9545
0,29	0,2282	0,72	0,5285	1,15	0,7499	1,58	0,8859	2,05	0,9596
0,30	0,2358	0,73	0,5346	1,16	0,7540	1,59	0,8882	2,10	0,9643
0,31	0,2434	0,74	0,5407	1,17	0,7580	1,60	0,8904	2,15	0,9684
0,32	0,2510	0,75	0,5467	1,18	0,7620	1,61	0,8926	2,20	0,9722
0,33	0,2586	0,76	0,5527	1,19	0,7660	1,62	0,8948	2,25	0,9756
0,34	0,2661	0,77	0,5587	1,20	0,7699	1,63	0,8969	2,30	0,9786
0,35	0,2737	0,78	0,5646	1,21	0,7737	1,64	0,8990	2,35	0,9812
0,36	0,2812	0,79	0,5705	1,22	0,7775	1,65	0,9011	2,40	0,9836
0,37	0,2886	0,80	0,5763	1,23	0,7813	1,66	0,9031	2,45	0,9857

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,38	0,2961	0,81	0,5821	1,24	0,7850	1,67	0,9051	2,50	0,9876
0,39	0,3035	0,82	0,5878	1,25	0,7887	1,68	0,9070	2,55	0,9892
0,40	0,3108	0,83	0,5935	1,26	0,7923	1,69	0,9090	2,60	0,9907
0,41	0,3182	0,84	0,5991	1,27	0,7959	1,70	0,9109	2,65	0,9920
0,42	0,3255	0,85	0,6047	1,28	0,7995	1,71	0,9127	2,70	0,9931
0,43	0,3328	0,86	0,6102	1,29	0,8029	1,72	0,9146		

Таблица 3 – Характеристика некоторых видов пыли

Наименование пыли, место ее образования	Плотность частиц пыли, кг/м ³	Параметр d_{50} , мкм	Дисперсия $\sigma_{\text{шп}}$	Размер частиц, мкм						
				Суммарная масса частиц, %						
Известняк: - помол в шахтной мельнице	2706	25	2	$\frac{2,5}{1,5}$	$\frac{4,0}{3,0}$	$\frac{6,3}{7,0}$	$\frac{10}{14}$	$\frac{16}{28}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{40}{80}$
- обжиг в известковой печи	2700	29	-	$\frac{4,0}{1,5}$	$\frac{6,3}{3,1}$	$\frac{10}{7,5}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{25}{41}$	$\frac{40}{72}$	-
- сушка в сушильном барабане	2900	2,9	2,07	$\frac{1,0}{8,0}$	$\frac{1,6}{21}$	$\frac{2,5}{42}$	$\frac{4,0}{70}$	$\frac{6,3}{86}$	$\frac{10}{96}$	-
Смесь известняка, шлака и коллоидной пыли	2800	4,5	-	$\frac{1,6}{6,0}$	$\frac{2,5}{17,5}$	$\frac{4,0}{42}$	$\frac{6,3}{80}$	$\frac{10}{99}$	-	-
Доломит, обжиг во вращающейся печи	2960	25	-	$\frac{2,5}{5,0}$	$\frac{4,0}{8,0}$	$\frac{6,3}{11}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{16}{31}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{40}{74}$
Клинкер, обжиг во вращающейся печи	2750	2,8	2,3	$\frac{1,0}{13}$	$\frac{1,6}{26}$	$\frac{2,5}{45}$	$\frac{4,0}{65}$	$\frac{6,3}{82}$	$\frac{10}{93}$	-
Пыль асфальтобетонного завода, сушка продукта в барабане	2600	20	-	$\frac{1,6}{2,3}$	$\frac{2,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{7,5}$	$\frac{6,3}{12,4}$	$\frac{10}{23}$	$\frac{16}{38}$	$\frac{25}{64}$
Доменный шлак, сушка в барабане цементного цеха	2910	17,5	3,5	$\frac{1,6}{4,0}$	$\frac{2,5}{8,0}$	$\frac{4,0}{14}$	$\frac{6,3}{22}$	$\frac{10}{35}$	$\frac{16}{47}$	$\frac{25}{60}$

Таблица 4 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
1	2	3	4	5
Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2	а	III	Ф
Аммиак	20	п	IV	
Ацетон	200	п	IV	
Бензин (растворитель, топливный)	100	п	IV	
Бензоат моноэтаноламина ⁺	5	п+а	III	
Бензоила хлорид	5	п	III	
Бензоксазолон	1	а	II	
Бензол ⁺	15/5	п	II	К
Бокситы	6	а	IV	Ф
Бора карбид	6	а	IV	Ф
Германия гидрид	5	п	III	
Германия оксид	2	а	III	
Известняк	6	а	IV	Ф
Калия карбонат	2	а	III	
Калия нитрат	5	а	III	
Калия сульфат	10	а	III	
Калия хлорид	5	а	III	
Карбамид (мочевина)	10	а	III	
Керамика	2	а	III	Ф
Кремнемедистый сплав	4	а	III	Ф
Кремния карбид (карборунд)	6	а	IV	Ф
Кремния нитрид	6	а	IV	Ф
Люминофор ЛФ-490-I	4	а	III	Ф
Люминофоры типа К-77 (по оксиду иттрия)	2	а	III	
Люминофоры типа К-82-Н, К-75 (по сульфиду цинка)	5	а	III	
Люминофоры типа К-86 (по оксиду цинка)	2	а	III	
Люминофоры типа ФЛД-605	6	а	IV	Ф
Люминофоры ЭЛС-580-В, ЭЛС-510-В, ЭЛС-455-В	5	а	III	Ф
Люминофор ЭЛС-670и	2	а	III	
Меди фталоцианин	5	а	III	

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
Мышьяка неорганические соединения (по мышьяку):				
а) при содержании мышьяка до 40%	0,04/0,01	а	II	К
б) при содержании мышьяка более 40%	0,04/0,01	а	I	К
Натриевая соль 4-амино-3,5,6-трихлорпиколиновой кислоты	5	а	III	
Нефть ⁺	10	а	III	
Пыль растительного и животного происхождения:				
а) зерновая	4	а	III	А, Ф
б) мучная, древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2%)	6	а	IV	А, Ф
в) лубяная, хлопчатобумажная, хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2	а	IV	А, Ф
г) с примесью диоксида кремния от 2 до 10%	4	а	IV	А, Ф
Серебра неорганические соединения	0,5	а	II	
Серебро металлическое	1	а	II	
Сероводород ⁺	10	п	II	О
Силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты:				
а) асбест природный и искусственный, смешанные асбестопородные пыли при содержании в них асбеста более 10%	2	а	III	Ф, К
б) асбестопородные пыли при содержании в них асбеста до 10%	4	а	III	Ф, К
в) асбестоцемент неокрашенный и цветной при содержании в нем диоксида марганца не более 5%, оксида хрома не более 7%, оксида железа не более 10%	6	а	IV	Ф
г) асбестобакелит, асбесторезина	8	а	IV	Ф
д) слюды (флагопит, мусковит), тальк, талькопородные пыли (природные смеси талька с тремолитом, актинолитом, антофиллитом и другими минералами), содержащие до 10% свободного диоксида кремния	4	а	III	Ф

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
е) искусственные минеральные волокна силикатные и алюмосиликатные стеклообразной структуры (стекловолокно, стекловата, вата минеральная и шлаковая, муллитокремнеземистые волокна, не содержащие или содержащие до 5% Cr^{+3} и др.) ⁺	2	a	III	Ф
ж) цемент, оливин, апатит, форстерит, глина, шамот каолиновый	6	a	IV	Ф
з) силикаты стеклообразные вулканического происхождения (туфы, пемза, перлит)	4	a	III	Ф
и) цеолиты (природные и искусственные)	2	a	III	Ф
Синтетические моющие средства “Лотос”, “Ока”, “Эра”	5	a	III	Ф
Сода кальцинированная ⁺	2	a	III	
Танин	1	a	II	
Титан и его диоксид	10	a	IV	Ф
Углерода пыли:				
а) коксы каменно-угольный, пековый, нефтяной, сланцевый	6	a	IV	Ф
б) антрацит с содержанием свободного диоксида кремния до 5%	6	a	IV	Ф
в) другие ископаемые угли и углепородные пыли с содержанием свободного диоксида кремния:				
до 5%	10	a	IV	Ф
от 5% до 10%	4	a	III	Ф
г) алмазы природные и искусственные	8	a	IV	Ф
д) алмаз металлизированный	4	a	III	Ф
е) сажи черные промышленные с содержанием бенз(а) пирена не более 35 мг на 1 кг	4	a	III	Ф, К
Фенопласты	6	a	III	Ф, А
Феррохром металлический (сплав хрома 65% с железом)	2	a	III	Ф
Фосфорит	6	a	IV	О
Фторопласт-4	10	a	IV	Ф
Хрома оксид (по Cr^{+3})	1	a	III	А
Целлюлоза	2	a	III	

Задание для выполнения практической работы

1. Рассчитать размеры пылеосадочной камеры для очистки воздуха, загрязненного пылью. Температура удаляемого воздуха 20°C .

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вид пыли	железо	бетон	кирпич	медь	стеклопластик	железо	кирпич	чугун	медь	бетон
$Q, \text{м}^3$	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800	4900
$\rho, \text{г/см}^3$	7,8	2,3	1,6	8,92	1,6	7,8	1,6	1	8,92	2,3
$d_{\text{ср}} \cdot 10^{-5}, \text{м}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5

2. Система аспирации шахтной мельницы удаляет $Q \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, имеющего температуру $t^{\circ}\text{C}$ и загрязненного пылью известняка. Рассчитать параметры циклона, обеспечивающего очистку воздуха от пыли.

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	2000	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400	2450	2500
$t, ^{\circ}\text{C}$	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25
циклон	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11	ЦН-15

3. Рассчитать рукавный фильтр для очистки $Q, \text{м}^3/\text{ч}$.

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400	2450
Марка фильтра	ФВК-30	ФВК-60	ФВК-90	ФРМ1-6	ФРМ1-8	ФРМ1-9	ФВВ-45	ФВВ-60	ФВВ-90	ФТНС-4

4. Рассчитать ячейковый фильтр для очистки $Q \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, удаляемого системой вентиляции, если концентрация пыли в очищаемом воздухе составляет $c_o, \text{мг/м}^3$, а ее предельно допустимая концентрация равна $c_{\text{ПДК}} \text{ мг/м}^3$ (см. табл. 4 Приложения).

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800	4900	5000
$c_o, \text{мг/м}^3$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
вид пыли	алюминий	керамика	серебро металлическое	цемент	пемза	бокситы	древесина	целлюлоза	кокс каменноугольный	аммиак

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст]. – Введ. 1988-09-29.
2. Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности [Текст] : учебник / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков; под общ. ред. С.В. Белова. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М. : Высшая школа, 2001. – 485 с.: ил.
3. Глебова, Е.В. Производственная санитария и гигиена труда [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е.В. Глебова. – М. : Высшая школа, 2005. – 383 с.: ил.
4. Курдюмов, В.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности [Текст] : учеб. пособие / В.И. Курдюмов, Б.И. Зотов. – М.: Колос С, 2005. – 216 с.
5. Штокман, Е.А. Очистка воздуха [Текст] : учеб. пособие / Е.А. Штокман. – М.: АСВ, 1998. – 320 с.: ил.

Заказ № _____ от « _____ » _____ 20__ г. Тираж _____ экз.

Изд-во СевГУ.