



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы
мобильных и технологических машин»
дневной формы обучения**

Гомель 2006

УДК 502.3; 621.928.9(075.8)
ББК 20.1я73
О-86

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 9 от 30.05.2005 г.)*

Авторы-составители: *Н. Н. Михневич, А. В. Михневич*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Детали машин» ГГТУ им. П. О. Сухого *А. Т. Бельский*

О-86 **Отраслевая экология** : практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневн. формы обучения / авт.-сост.: Н. Н. Михневич, А. В. Михневич. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 32 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Практикум включает в себя краткие теоретические и справочные сведения, необходимые для выполнения аэродинамических и гидравлических расчётов пылеуловителей, контрольные задания.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной формы обучения.

УДК 502.3; 621.928.9(075.8)
ББК 20.1я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2006

Введение

Аппараты для очистки воздуха от пыли отличаются большим разнообразием и по своему назначению подразделяются на *пылеуловители и воздушные фильтры*.

Воздушные фильтры служат для обеспыливания воздуха, забираемого из атмосферы в системы:

- приточной вентиляции;
- кондиционирования и воздушного отопления производственных, служебных и общественных зданий;
- подачи воздуха на технологические нужды;
- воздушного охлаждения газотурбинных энергетических установок и вентиляции электрических машин (*промышленная очистка*).

При *санитарной очистке* остаточное содержание в газе загрязняющих веществ не должно превышать установленные *предельно допустимые концентрации* в воздухе населённых мест или производственных помещений.

Классификация сухих пылеуловителей, предназначенных для санитарной очистки воздуха основных производств машиностроительных предприятий, представлена на рисунке.

Методика расчёта основных показателей пылеочистных устройств (степень очистки, аэродинамическое и гидравлическое сопротивление, размеры рабочей камеры) составляет содержание данных методических указаний.

В курсе “Отраслевая экология” рассматриваются пылеуловители, принцип действия которых основан на *гидромеханических методах разделения*, краткие теоретические сведения о которых приведены в начале каждого раздела.

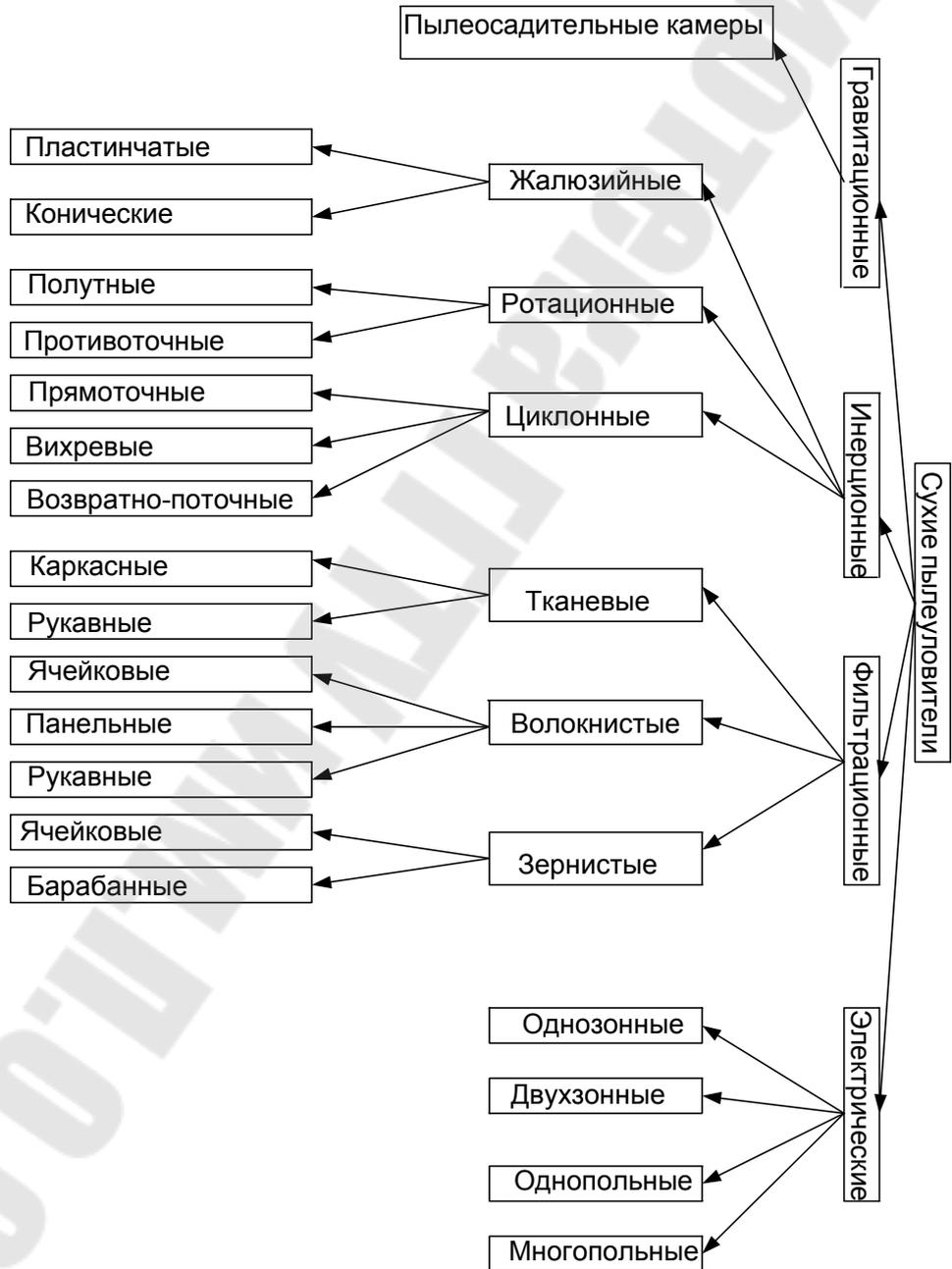


Рисунок 1 – Классификация сухих пылеуловителей

1. Осаждение под действием силы тяжести

1.1. Теоретические сведения. Расчетные формулы.

При значениях $Re < 0,2$ (практически возможно применение формулы Стокса до $Re=1$), т.е. при ламинарном режиме осаждения Дж. Стоксом теоретически получена следующая формула для скорости осаждения шарообразной частицы:

$$v_{oc} = \frac{d^2 \cdot (\gamma - \gamma_c)}{18 \cdot \mu_c}, \text{ м/с} \quad (1.1)$$

Для осаждения частицы в газовой среде формула (1.1) упрощается:

$$v_{oc} = \frac{d^2 \cdot \gamma}{18 \cdot \mu_c}, \quad (1.2)$$

т.к. в этом случае величиной γ_c можно пренебречь по сравнению с γ .

В формулах (1.1) и (1.2):

d - диаметр шарообразных частиц, м;

γ - удельный вес частицы, Н/м^3 ;

γ_c - удельный вес среды, Н/м^3 ;

μ_c - скорость среды, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Определение скорости осаждения шарообразных одиночных частиц в неподвижной неограниченной среде по обобщенному методу, пригодному при любом режиме осаждения, производится следующим образом.

а) определяют критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{Re^2 \cdot (\gamma - \gamma_c)}{Fr \cdot \gamma_c} = \frac{d^3 \cdot (\gamma - \gamma_c) \cdot \gamma_c}{g \cdot \mu_c^2}. \quad (1.3)$$

Для осаждения в газовой среде:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \gamma \cdot \gamma_c}{g \cdot \mu_c^2} \quad (1.4)$$

б) по найденному значению критерия Архимеда определяют величину критерия Re (рисунок 1.1).

в) вычисляют скорость осаждения:

$$v_{oc} = \frac{Re \cdot \mu_c \cdot g}{d \cdot \gamma_c} \quad (1.5)$$

Скорость осаждения можно найти также из критерия Лященко:

$$Ly = \frac{Re \cdot Fr \cdot \gamma_c}{(\gamma - \gamma_c)} = \frac{\nu_{oc}^3 \cdot \gamma_c^2}{\mu_c \cdot (\gamma - \gamma_c) \cdot g^2}, \quad (1.6)$$

где Fr – критерий Фруда, являющийся мерой отношения сил инерции и тяжести в потоке:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot d}.$$

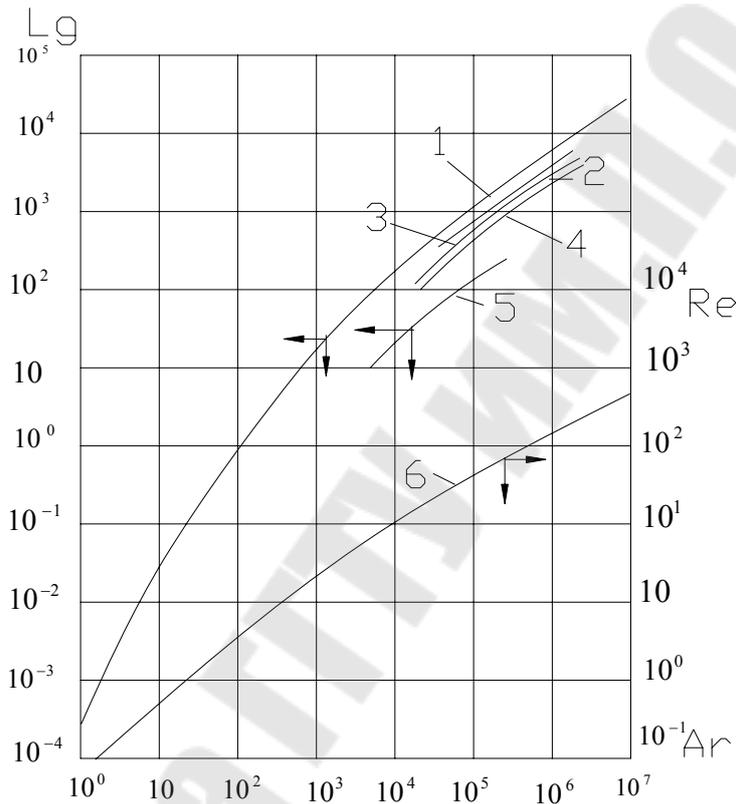


Рисунок 1.1 - Зависимость критериев Рейнольдса Re и Лященко Ly от критерия Архимеда Ar :

1,6 – шарообразные частицы; 2- угловатые частицы;
3 – округленные частицы; 4 – продолговатые частицы;
5 – пластинчатые частицы.

Для газовой среды:

$$Ly = \frac{\nu_{oc}^3 \cdot \gamma_c^2}{\mu_c \cdot \gamma \cdot g^2} \quad (1.7)$$

Критерий Лященко определяют в зависимости от критерия Архимеда по рисунку 1.1.

Для частиц неправильной формы в критерий Архимеда подставляют величину эквивалентного диаметра, который вычисляют как диаметр условного шара, объем которого $V, м^3$, равен объему тела неправильной формы:

$$d_э = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{G}{\gamma}} . \quad (1.8)$$

Для определения диаметра осаждающихся частиц по известной скорости осаждения выполняют обратный расчет, т.е. вычисляют критерий Лященко, по рисунку 1.1 определяют критерий Архимеда и по уравнению (1.3) или (1.4) вычисляют диаметр.

Для эквивалентного диаметра частиц твердого тела неправильной формы из уравнений (1.3) и (1.8) можно записать:

$$d_э = \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot g \cdot \mu_c^3}{(\gamma - \gamma_c) \cdot \gamma_c}} . \quad (1.9)$$

Площадь осаждения пылеосадительной камеры определяется по формуле:

$$S_{oc} = \frac{Q}{v'_{oc}} \quad (1.10)$$

где Q – объемный расход газа (жидкости), проходящего через аппарат параллельно поверхности осаждения, м/с; v'_{oc} – действительная скорость осаждения частиц, м/с.

Отношение действительной скорости стесненного осаждения частиц v'_{oc} к скорости осаждения одиночной частицы v_{oc} зависит от концентрации запыленного воздуха.

Учитывая приближенно отличие реальных условий осаждения от теоретических (стесненность осаждения, форма частиц, движение среды) действительную скорость осаждения принимают равной половине теоретической скорости осаждения одиночной шарообразной частицы:

$$v'_{oc} = 0,5 \cdot v_{oc} . \quad (1.11)$$

1.2. Пример расчета высоты секции пылеосадительной камеры.

Какую высоту надо дать слою газа между полками пылевой камеры (рис.1.2), чтобы осели частицы пыли диаметром $d=8$ мкм при расходе газа $Q_{н.у.}=0,6$ м³/с

Исходные данные:

Длина камеры $L=4,1$ м, ширина $b=2,8$ м, общая высота $H=4,2$ м. Средняя температура газа в камере $t_c=427$ °С. Вязкость газа при этой температуре $\mu_c=0,034$ сПз, удельный вес пыли $\gamma=40$ кН/м³, удельный вес газа $\gamma_c=5$ Н/м³.

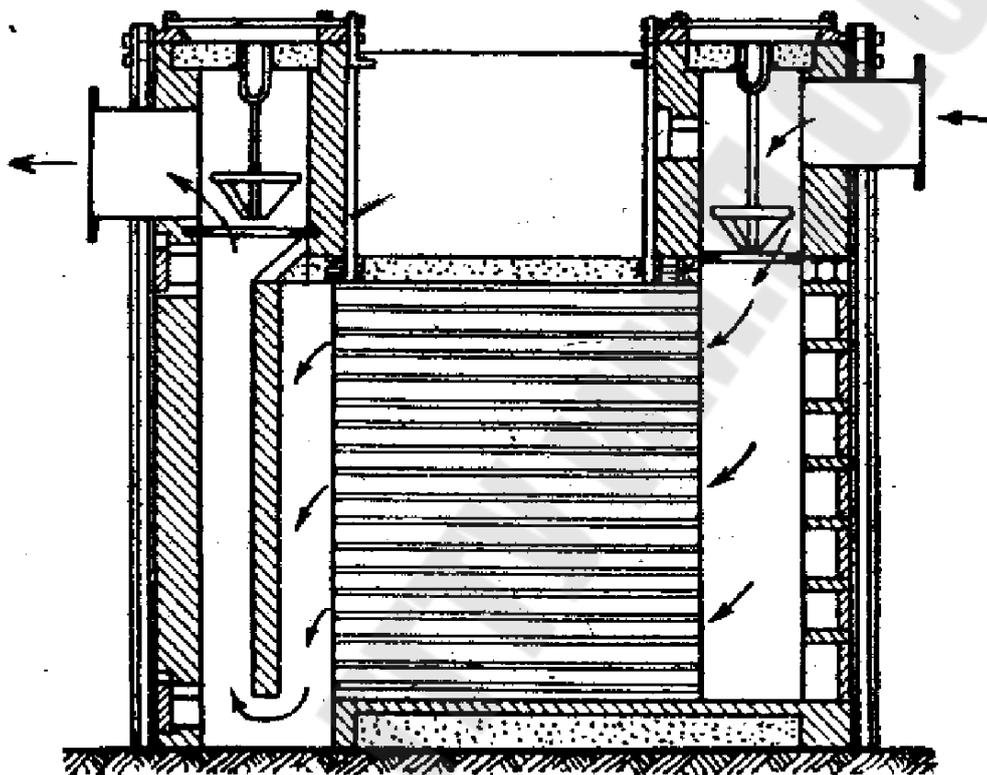


Рисунок - 1.2. Схема пылевой камеры.

Решение.

Определим расход газа при заданных условиях:

$$Q = Q_{н.у.} \cdot \frac{T_c}{273,15} = 0,6 \cdot \frac{(273,15 + 427)}{273,15} = 1,54 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Линейная скорость газа (пренебрегая толщиной полок):

$$v = \frac{Q}{b \cdot H} = \frac{1,54}{2,8 \cdot 4,2} = 0,131 \text{ м/с}.$$

Время пребывания газа в камере:

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{4,1}{0,131} = 31,3 \text{ с}.$$

Теоретическая скорость осаждения шарообразных частиц по формуле (1.1):

$$v_{oc} = \frac{d^2 \cdot (\gamma - \gamma_c)}{18 \cdot \mu_c} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(8 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 40 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^{-5}} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Действительную скорость осаждения принимают равной:

$$v'_{oc} = 0,5 \cdot v_{oc} = 0,5 \cdot 4,1 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Находим расстояние между полками:

$$h = v'_{oc} \cdot \tau = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 31,3 = 62,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 60 \text{ мм.}$$

Проверим правильность применения формулы (1.1):

$$Re = \frac{v_{oc} \cdot d \cdot \gamma_c}{\mu_c \cdot g} = \frac{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{3,4 \cdot 10^{-5} \cdot 9,812} = 4,9 \cdot 10^{-4} < 0,2,$$

т.е. применение уравнения Стокса допустимо.

1.3 Пример определения эффективности пылеулавливания

Определить эффективность улавливания частиц различной крупности.

Исходные данные:

Длина пылеосадительной камеры $L = 10 \text{ м}$, высота $H = 1 \text{ м}$, ширина $B = 2 \text{ м}$; расход воздуха через камеру $Q = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$; плотность частиц $\rho_r = 500 \text{ кг/м}^3$;

Дисперсный состав пыли

Размер частиц по фракциям, дм, мкм	Принятые размеры частиц, d_r , мкм	Содержание фракции, Φ_0 , %
55-65	60	15
65-75	70	35
75-105	90	50

Решение:

1. Скорость потока в сечении камеры

$$v_r = \frac{Q}{H \cdot B} = \frac{3600}{3600 \cdot 1 \cdot 2} = 0,5 \text{ м/с.}$$

2. *Относительная скорость* витания частиц, улавливаемых в камере с эффективностью, равной 50% ($\eta_{n1} = 50\%$):

$$\left(\frac{\mathcal{G}_r}{\mathcal{G}_\Gamma}\right)_{50} = 1,5H / Z = 0,15.$$

При скорости в камере $0,5 \text{ м/с}$ имеем:

$$(\mathcal{G}_r)_{50} = 0,5 \cdot 0,15 = 0,075 \text{ м/с}$$

По номограмме для определения скорости витания частиц по известной плотности частиц $\rho_r = 500 \text{ кг/м}^3$ и скорости витания $0,075 \text{ м/с}$ получаем размер частиц $d_{50} = 70 \text{ мкм}$.

3. Для определения зависимости парциального коэффициента очистки газа от размера частиц $\eta_n = f(d_r)$ выбираем дополнительные значения

$$\frac{\mathcal{G}_r'}{\mathcal{G}_\Gamma} = 0,1 \quad \text{и} \quad \frac{\mathcal{G}_r''}{\mathcal{G}_\Gamma} = 0,2$$

Этим значениям относительных скоростей витания отвечают диаметры частиц $d_r' = 60 \text{ мкм}$ и $d_r'' = 90 \text{ мкм}$.

4. Среднюю концентрацию частиц на выходе из камеры можно определить как среднюю из концентраций в 4-5 точках сечения. Задаемся пятью значениями расстояния от потолка камеры h и находим отношение h/H :

$$0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$$

Результаты расчетов удобно представить в виде таблицы 1.1:

Таблица 1.1

Средняя концентрация частиц на выходе из камеры

Параметр	Численное значение				
Относительная скорость витания частиц $\mathcal{G}_r / \mathcal{G}_\Gamma = 0,1$					
h/H	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x_1	0	0,95	1,89	2,83	3,78
x_2	7,56	6,63	5,65	4,73	3,78
$\Phi(x_1)$	0,5	0,83	0,97	0,995	1,0
$\Phi(x_2)$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
n	0,5	0,83	0,97	0,995	1
Средняя концентрация частиц на выходе $n_{cp2} = 0,86$ парциальный коэффициент очистки газа для частиц с размером $d_r = 60 \text{ мкм}$ $\eta_{n2} = 100(1 - 0,86) = 14\%$					

Окончание таблицы 1.1

Параметр	Численное значение				
Относительная скорость витания частиц $\mathcal{G}_r / \mathcal{G}_T = 0,1$					
Относительная скорость витания частиц $\mathcal{G}_r / \mathcal{G}_T = 0,2$					
h/H	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x ₁	-3,78	-2,84	-1,89	-0,95	0
x ₂	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Φ (x ₁)	0	0,002	0,03	0,171	0,5
Φ (x ₂)	1	1	1	1	1
n	0	0,002	0,03	0,171	0,5
Средняя концентрация частиц на выходе $n_{срз} = 0,14$; парциальный коэффициент очистки газа для частиц с размером $d_r = 90$ мкм $\eta_{n3} = 100(1 - 0,14) = 86\%$					

В результате расчета получены три значения парциальных коэффициентов очистки газа (14, 50, 86%) при трех значениях относительных скоростей $\mathcal{G}_r / \mathcal{G}_T = 0,1; 0,15; 0,2$.

Задаваясь другими значениями $\mathcal{G}_r / \mathcal{G}_T$ можно получить любые точки кривой $\eta_n = f(d_r)$.

Полный коэффициент очистки газа определяем по фракционному (парциальному) составу пыли, входящей в аппарат, и по фракционным (парциальным) коэффициентам очистки:

$$\eta = \sum_{i=1}^3 \eta_n; \quad \frac{\Phi_{\text{exi}}}{100} = 0,14 \cdot \frac{15}{100} + 0,5 \cdot \frac{35}{100} + 0,86 \cdot \frac{50}{100} = 62,6\%$$

1.4 Пример определения размера осаждающихся частиц

Определить размер наименьших частиц, охлаждающихся в квадратном газоходе длиной 16 м и высотой 2 м при линейной скорости газа 0,5 м/с. Вязкость газа 0,03 сПз, удельный вес газа 8 Н/м³, удельный вес частиц 40 кН/м³.

Решение:

Газ проходит канал в течение:

$$\tau = \frac{z}{v} = \frac{16}{0,5} = 32 \text{ с}.$$

За это время успевают полностью осесть только те частицы, действительная скорость осаждения которых не меньше, чем:

$$v_{oc} = \frac{H}{\tau} = \frac{2}{32} = 0,062 \text{ м/с}$$

Определим диаметр шарообразных частиц, теоретическая скорость осаждения которых вдвое больше, т.е. равна 0,124 м/с.

Вычислим значение критерия Lu по формуле (1.6), пренебрегая в знаменателе величиной γ_c по сравнению с γ :

$$L_y = \frac{v_{oc}^3 \cdot \gamma_c^2}{\mu_c \cdot \gamma \cdot g^2} = \frac{0,124^3 \cdot 8^2}{3 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 10^3 \cdot 9,812^2} = 1,056 \cdot 10^{-3}.$$

По графику (рис.1.1) находим значение $Re = 0,14$, откуда

$$d = \frac{Re \cdot \mu_c \cdot g}{v_{oc} \cdot \gamma_c} = \frac{0,14 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 9,812}{0,124 \cdot 8} = 4,15 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 41,5 \text{ мкм}.$$

Задания

Задание 1:

Найти соотношение диаметров частиц металлической ($\gamma = 78 \text{ кН/м}^3$) и абразивной ($\gamma = 26 \text{ кН/м}^3$) пыли, осаждающихся в воздухе с одинаковой скоростью при $Re < 0,2$.

Ответ: $d_1/d_2=1,73$.

Задание 2:

С какой скоростью будут осаждаться шарообразные частицы абразивной пыли диаметром 10 мкм в воздухе при 15°C и 500°C ?

Ответ: $\vartheta_{oc15^0} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$; $\vartheta_{oc500^0} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$.

Задание 3:

Какой должна быть скорость воздуха в вертикальной трубе, чтобы обеспечить перемещение абразивной пыли удельного веса 20 кН/м^3 с наибольшим диаметром частиц 3 мм? Температура воздуха 60°C . Скорость воздуха должна быть на 25% больше скорости витания частиц.

Ответ: $\vartheta=16,8 \text{ м/с}$.

Задание 4:

Рассчитать скорость восходящего потока воздуха в воздушном сепараторе, необходимую для отделения мелких ($d<1\text{мм}$) частиц пыли от более крупных. Температура воздуха 20°C . Плотность пыли 3230 кг/м^3 .

Ответ: 8 м/с.

Задание 5:

Каким должно быть расстояние между полками пылевой камеры, чтобы осадить частицы пыли диаметром $> 15 \text{ мкм}$? Схема пылевой камеры и необходимые данные приведены в разделе 1.2.

Ответ: $\approx 23 \text{ см}$.

Задание 6:

Через пылевую камеру (рисунок 1.2) с расстоянием между полками $0,1 \text{ м}$. проходят $2000 \text{ м}^3/\text{час}$ запыленного газа плотностью $16 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура газа 400°C . Вязкость газа при этой температуре $0,03 \text{ сПз}$. Удельный вес пыли $37 \text{ кН}/\text{м}^3$. Длина камеры $4,55 \text{ м}$, ширина $1,71 \text{ м}$, высота 4 м . Какого размера частицы пыли будут улавливаться в камере, если считать, что действительная скорость осаждения вдвое меньше теоретической?

2. Осаждение под действием центробежной силы

2.1 Расчетные формулы для определения основных размеров ЦИКЛОНОВ

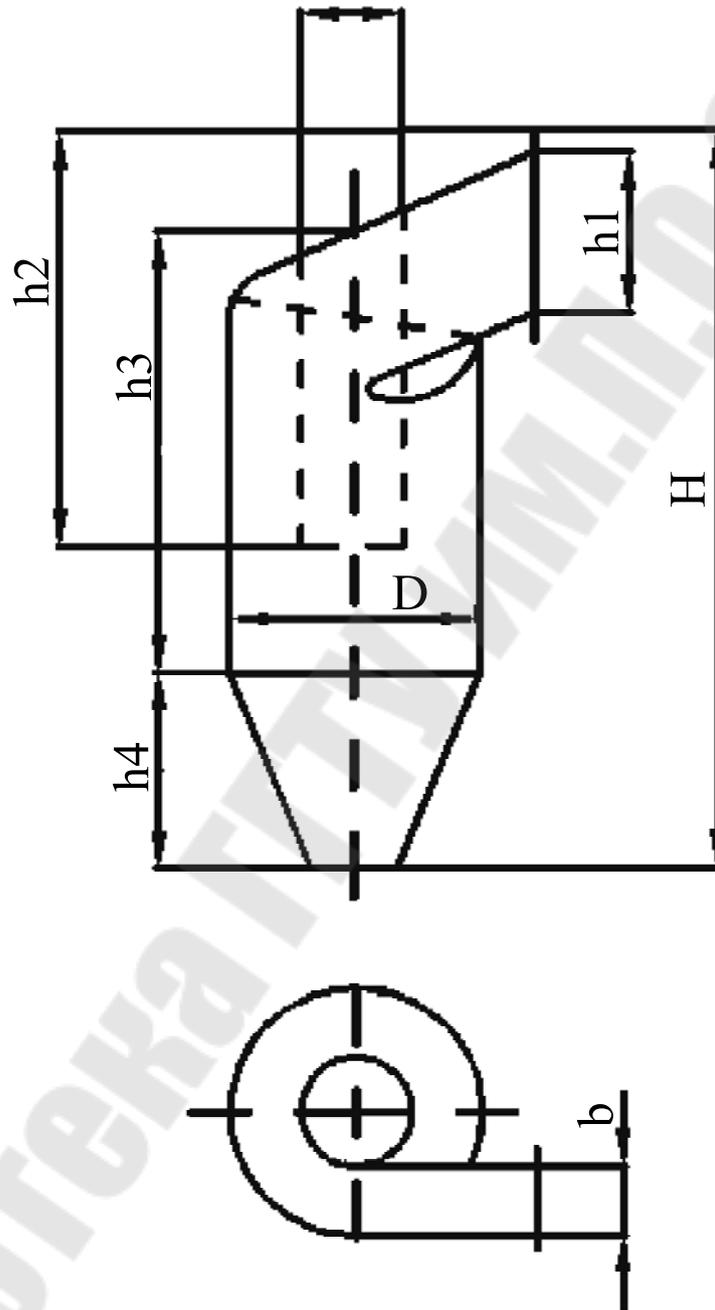


Рисунок 2.1 - Схема циклона типа ЦН

Основные размеры циклона (рисунок 2.1) определяют обычно в зависимости от его диаметра D . Для распространенных циклонов типа ЦН эти размеры в долях D приведены в таблице:

Таблица 2.1

Основные размеры циклонов типа ЦН (в долях диаметра D)

Параметр	Тип циклона		
	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11
Диаметр выходной трубы D_1	0,6	0,6	0,6
Ширина входного патрубка b_1	0,26	0,26	0,26
Высота входного патрубка h_1	1,11	0,66	0,48
Высота выходной трубы h_2	2,11	1,74	1,56
Высота цилиндрической части h_3	2,11	2,26	2,08
Высота конической части h_4	1,75	2,0	2,0
Общая высота циклона H	4,26	4,56	4,38

Диаметр циклона D определяют по условной скорости газа ϑ_g , отнесенной к полному поперечному сечению цилиндрической части циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\vartheta_g}}, \quad (2.1)$$

где Q – расход газа, проходящего через циклон, $\text{м}^3/\text{с}$.

Гидравлическое сопротивление циклона:

$$\Delta p = \xi \frac{V_g^2}{2} \rho, \quad (2.2)$$

где ξ – коэффициент сопротивления циклона; ρ – плотность газа, проходящего через циклон, $\text{кг}/\text{м}^3$

Значение коэффициентов гидравлического сопротивления для циклонов типа ЦН:

Таблица 2.2

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11
Коэффициент гидравлического сопротивления ξ	60	105	180

Степень улавливания пыли в циклоне η зависит, помимо свойств пыли, от диаметра циклона, а также от скорости газа ϑ_g , т.е. от отношения $\Delta p / \rho g$ (уравнение 2.2).

Для циклонов типа ЦН величина $\Delta p / \rho g$ находится в пределах 55-75 м. На рис. 2.2 показана зависимость степени улавливания η от диаметре ци-

клона D при различных диаметра частиц пыли d . График составлен для пыли с удельным весом 23 кН/м^3 при отношении $\Delta p / \gamma = 75 \text{ м}$.

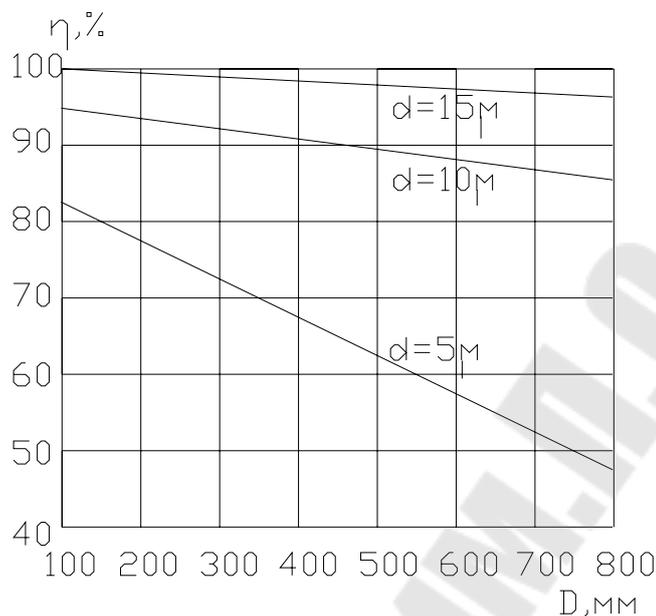


Рисунок 2.2 - Степень улавливания пыли в циклоне типа ЦН-15.

2.2. Пример подбора и расчета батарейного циклона

Исходные данные:

В батарейном циклоне (рисунок 2.3) требуется очищать от пыли $7800 \text{ м}^3/\text{час}$ газа при температуре 310°С . Удельный вес газа 13 Н/м^3 . Барометрическое давление 745 мм.рт.ст.

На входе в батарейный циклон газы находятся под разрежением 30 мм.вод.ст. Гидравлическое сопротивление батарейного циклона не должно превышать 40 мм.вод.ст.

Плотность пыли 2450 кг/м^3 . Запыленность газа 32 г/м^3 . Пыль слабослипающаяся.

Определить: основные параметры циклона.

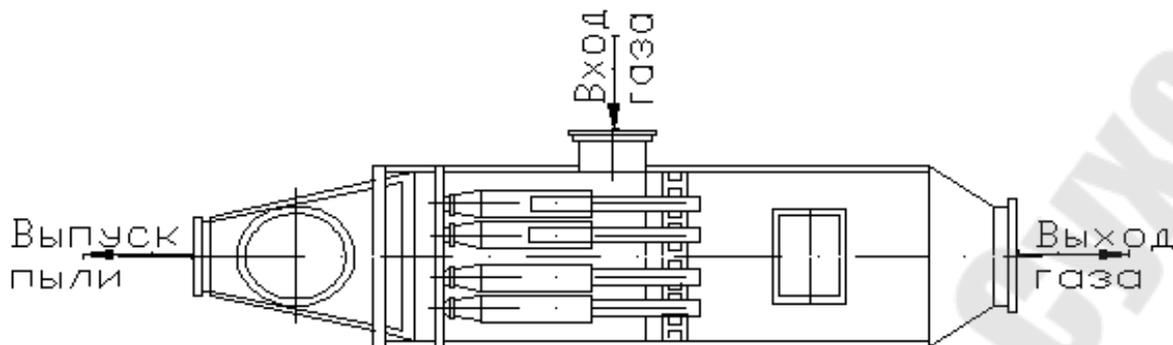


Рисунок 2.3 - Батарейный циклон с розеточным направляющим аппаратом.

Таблица 2.3

Характеристики циклонных элементов типа БЦ с розеточным направляющим аппаратом для улавливания слабослипающейся пыли плотностью 2300 кг/м³ при потере напора 55-75 м. ст. газа

Диаметр элемента, D _ц , мм	Наибольшая допускаемая запыленность газа, C _{max} , г/нм ³	Степень улавливания пыли (%) при диаметре частиц, мкм			Коэффициент гидравлического сопротивления ξ при угле наклона лопастей	
		5	10	15	25	30
250	75	72	84	93	90	65
150	35	78	88	95		
100	15	82	91	96		

Решение:

На основании данных таблицы (2.3) выбираем циклонные элементы диаметром 150 мм., которые допускают запыленность газа до 35 г/нм³ (заданная запыленность 32 г/нм³).

Определим по уравнению Клапейрона удельный вес газа при нормальных условиях:

$$\gamma = \gamma_0 \frac{PT_0}{P_0T} = 13 \cdot \frac{\left(745 - \frac{30}{13,6}\right) \cdot 133,33 \cdot 273,15}{10^5 \cdot (273,15 + 310)} = 6 \text{ Н/м}^3.$$

По условию потеря давления Δp не должна превышать 40 мм. вод. ст.

Потеря гидравлического напора $h_T = \Delta p / \gamma = 40 \cdot 10 / 6 \approx 67 \text{ м}$ не выходит из рекомендуемых пределов 55-75 м.ст.газа.

Для направляющего аппарата типа розетки с углом наклона лопасти к горизонтали 25° коэффициент гидравлического сопротивления $\xi = 90$.

Скорость газа в цилиндрической части циклонного элемента g_g определяем по уравнению 2.2:

$$g_g = \sqrt{\frac{2\Delta p g}{\xi \gamma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 40 \cdot 10 \cdot 9,812}{90 \cdot 6}} = 3,8 \text{ м/с.}$$

Расход газа на один элемент батарейного циклона:

$$Q_1 = 0,785 D^2 g_g = 0,785 \cdot 0,150^2 \cdot 3,8 = 0,067 \text{ м}^3/\text{с} = 242 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Требуемое число элементов:

$$n = \frac{7800 \text{ м}^3 / \text{ч}}{242 \text{ м}^3 / \text{ч}} = 32 \text{ элемента.}$$

Располагаем их в 4 ряда по ходу газа (8 элементов в каждом ряду).

2.3 Пример определения эксплуатационных характеристик батарей циклонов

Определить эффективность очистки запыленного воздуха и аэродинамическое сопротивление группы циклонов:

Исходные данные:

- объемный расход запыленного воздуха..... $Q = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$
- температура очищаемого воздуха..... $t = 250^\circ \text{C}$
- плотность воздуха..... $\rho_v = 1,25 \text{ кг/м}^3$
- плотность пыли..... $\rho_n = 1500 \text{ кг/м}^3$
- фактическое давление..... $p_\phi = 98,66 \text{ кПа}$
- аэродинамическое сопротивление..... $\Delta p \leq 550 \text{ Па}$
- начальная запыленность очищаемого воздуха.. $C_n = 20 \text{ г/м}^3$
- эффективность улавливания пыли $\eta \geq 80 \%$

Дисперсионный состав пыли

Размер частиц по фракциям, мкм	Принятые размеры частиц, d, мкм	Содержание фракции, Ф, %
5	2,5	10
5...10	7,5	15
10...30	20	26
30...50	40	38
50	50	11

Решение:

Выбираем циклон типа ЦН-15 с диаметром $D_{ц} = 800$ мм. Учитывая величину расхода очищаемого воздуха, целесообразно установить группу циклонов. По табличным данным (табл. 2.2) коэффициент аэродинамического сопротивления одного циклона $\xi = 105$; батареи циклонов - $\sum \xi = 1,1\xi$. Согласно условию, аэродинамическое сопротивление одного циклона не должно превышать 500 Па., т.к. аэродинамическое сопротивление батареи меньше или равно 550 Па. Ориентировочно для расчета принимаем аэродинамическое сопротивление циклона $\xi = 450$ Па.

Определим плотность очищаемого воздуха при рабочих условиях:

$$\rho_p = \rho_v \frac{273P_\phi}{(273+t)P_0} = 1,25 \frac{273 \cdot 98,66 \cdot 10^3}{(273+250) \cdot 101,325 \cdot 10^3} = 0,643 \text{ кг/м}^3.$$

По уравнению (2.2) определим скорость воздуха в циклоне:

$$g_g = \sqrt{2\Delta P / (\xi \rho_p)} = \sqrt{2 \cdot 450 / (105 \cdot 0,643)} = 3,62 \text{ м/с.}$$

Производительность одного циклона:

$$Q_{ц} = \pi D^2 / 4 \cdot g_g = 1,82 \text{ м}^3/\text{с} = 6550 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Число циклонов в батарее:

$$n = Q / Q_{ц} = 40000 / 6550 = 6 \text{ циклонов.}$$

Определив количество циклонов, уточняем основные параметры.

Производительность по воздуху одного циклона:

$$Q_{ц} = Q / n = 40000 / 6 = 6667 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,85 \text{ м}^3/\text{с};$$

Скорость воздуха в циклоне:

$$g_g = \frac{4Q_{ц}}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 1,85}{3,14 \cdot 0,8^2} = 3,68 \text{ м/с.}$$

Аэродинамическое сопротивление одного циклона:

$$\Delta P_y = \xi g_g^2 \rho_p / 2 = 105 \cdot 3,68^2 \cdot 0,643 / 2 = 457 \text{ Па.}$$

Аэродинамическое сопротивление батареи циклонов:
 $\Delta P = 1,1 \Delta P_y = 1,1 \cdot 457 = 503 \text{ Па} < 550 \text{ Па}$ (аэродинамическое сопротивление заданное).

Эффективность очистки удаляемого воздуха, т.е. степень улавливания пыли по фракциям для заданного дисперсного состава пыли:

$$\begin{aligned} \sum \eta &= \frac{\eta_1 \Phi_1 + \eta_2 \Phi_2 + \dots + \eta_n \Phi_n}{100\%} = \\ &= \frac{25 \cdot 10 + 76 \cdot 15 + 97 \cdot 26 + 98,5 \cdot 88 + 99 \cdot 11}{100} = 87,4\% \end{aligned}$$

где n – фракционная степень очистки данного циклона для пыли, соответствующая размерам d (таблица 2.4).

$$\sum \eta = 87,4\% > 80\% , \text{ требуемых по условию.}$$

Задания

Задание 1:

Подобрать циклон типа ЦН (см. рисунок 2.1 и таблицу 2.1) по следующим данным:

- расход запыленного воздуха 510 м³/час;
- температура воздуха 50⁰С;
- плотность пыли 1200 кг/м³;

Определить гидравлическое сопротивление циклона

Ответ: $\Delta p_{\text{ц}} = 85 \text{ мм.вод.ст.}$

3. ТАРЕЛЬЧАТЫЕ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ

Пример расчёта пенного газопромывателя для очистки газа от пыли

Определить основные размеры пенного газопромывателя для очистки от пыли 50000 м^3 в час при температуре газа $t_r = 80^\circ \text{ С}$. Запыленность газа на входе в аппарат $C_{вх} = 0,01 \text{ кг/м}^3$, степень очистки $\eta = 0,99$.

3.1 Выбор конструкции и габаритных размеров газопромывателя

Поскольку скорость газа в полном сечении аппарата является основным фактором, от которого зависит хорошее пенообразование, важно правильно выбрать расчётную скорость.

Верхним пределом допустимой скорости газа является такая его скорость, при которой резко усиливается унос воды в виде брызг. По эксплуатационным данным в газопромывателях, имеющих слой пены высотой $30 \div 100 \text{ мм}$, струйный прорыв газа, вызывающий разрушение пены и сильный брызгоунос, начинается при скоростях газа в полном сечении аппарата (под решёткой) от $2,7$ до $3,5 \text{ м/с}$.

Чем выше слой пены на решётке и чем больше свободное сечение решётки, тем большая скорость газа возможна без брызгоуноса. Уменьшение диаметра отверстий (при сохранении постоянного свободного сечения решётки) также способствует уменьшению брызгоуноса. Обычно верхним пределом является скорость газа под решёткой около 3 м/с .

Нижним пределом скорости газа для пенного аппарата является такая скорость, при которой сильно уменьшается пенообразование.

Для пенных газопромывателей с большим свободным сечением решётки и большим диаметром отверстий нижним пределом является такая скорость газа, при которой большая часть жидкости протекает через отверстия, в результате чего высота пены становится ничтожно малой. Для обычных условий нижним пределом расчётной скорости можно считать 1 м/с .

Примем среднюю скорость газа $v_r = 2,3 \text{ м/с}$.

Площадь поперечного сечения аппарата:

$$f = \frac{Q_r}{v_r} = \frac{50 \cdot 10^3}{3600 \cdot 2,3} = 6 \text{ м}^2. \quad (3.1)$$

Газопромыватель может быть круглого или квадратного сечения. В круглом аппарате обеспечивается более равномерный поток газа, в прямоугольном – лучшее распределение жидкости.

Примем к расчёту аппарат прямоугольного сечения размером 3х2 м с подачей воды посередине (рисунок 3).

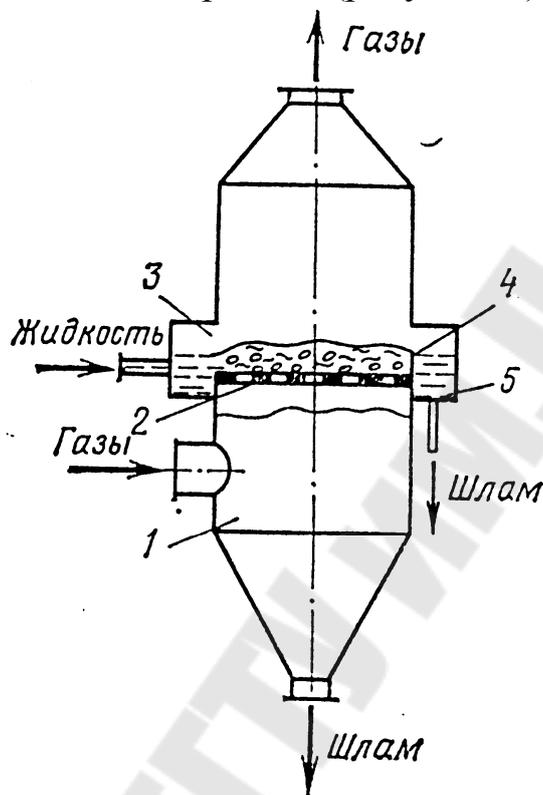


Рисунок 3 - Пенный газопромыватель

3.2 Расчет количества подаваемой жидкости

В зависимости от температуры поступающего газа расчёт количества подаваемой воды производится различно.

Для холодного газа наибольшее влияние на расход воды оказывают гидродинамические факторы, для горячего газа расход воды определяется тепловым балансом.

При очистки от пыли газов, имеющих температуру ниже 100°C , расчёт количества подаваемой воды производят, исходя из гидродинамики процесса и материального баланса газоочистки. В обычных условиях для сохранения достаточной равномерности пенообразования по всей решётке необходимо, чтобы через отверстия протекало не более 50 % подаваемой воды, т.к. слишком сильная утечка создаёт неравномерность высоты слоя воды на решётке.

Расход воды в газопромывателе складывается из

- воды, идущей в утечку;
- воды, идущей на слив с решётки.

Испарение воды незначительно и им можно пренебречь.

Количества воды, протекающей через отверстия решётки, определяется весом условной пыли и заданным составом суспензии, а затем подбирается решётка с таким свободным сечением, диаметром отверстий и прочими данными, чтобы обеспечить установленную утечку.

При заданной степени очистки η концентрация пыли в газе после газопромывателя определяется по формуле:

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} \cdot (1 - \eta) = 0,01 \cdot (1 - 0,99) = 1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/Нм}^3.$$

Количество улавливаемой пыли:

$$G_{\text{улх}} = Q_{\Gamma} \cdot (C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}) \quad (3.2)$$

$$G_{\text{улх}} = 50 \cdot 10^3 \cdot \frac{273}{273 + 80} \cdot (0,01 - 0,0001) = 383 \text{ кг/час.}$$

Если известна концентрация суспензии C , кг/кг (отношение твёрдой и жидкой фракций), то утечка Q_y (объём воды, необходимый для образования суспензии) может быть определена по уравнению

$$Q_y = \frac{k \cdot G_{\text{ул}}}{\rho \cdot c}, \text{ м}^3 / \text{ час}, \quad (3.3)$$

где k - коэффициент распределения пыли между утечкой и сливной водой, выраженный отношением количества пыли, попадающей в утечку, к общему количеству условной пыли; обычно $k = 0,6 \div 0,8$; ρ - плотность воды, кг/м³.

Концентрация суспензии, как правило, находится в пределах весового отношения твёрдое – жидкость, равного 1:5 ÷ 1:10. Получение суспензии более концентрированной, чем 1:5, может вызвать забивание отверстий решётки (особенно при малых диаметрах отверстий). Получение суспензии с соотношением твёрдое – жидкость менее 1:10 нерационально в виду её слишком больших объёмов.

Примем $c = 1:8 = 0,125$ и $k = 0,7$.

$$\text{Подача } Q_y = \frac{0,7 \cdot 383}{1000 \cdot 0,125} = 2,14 \text{ м}^3 / \text{ час на всю решётку.}$$

На 1 м² решётки:

$$q_y = \frac{Q_y}{f} = \frac{2,14}{6} = 0,36 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{час}). \quad (3.4)$$

Вследствие трудности определения параметров решётки по заданной утечке, а также учитывая частичное испарение воды после её протекания через решётку, примем коэффициент запаса $\sim 1,5$.

Тогда значение утечки, принимаемые в дальнейших расчётах будут иметь следующие значения:

$$Q_{y \text{ расч.}} = 1,5 \cdot 2,14 = 3,3 \text{ м}^3/\text{час};$$

$$q_{y \text{ расч.}} = 1,5 \cdot 0,35 = 0,55 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час}).$$

Количество сливной воды определяется по формуле:

$$Q_{сл} = i \cdot v \quad (3.5)$$

где i – интенсивность потока на сливе с решётки, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$; v – ширина решётки перед сливом, равная длине сливного порога, м.

Принимая $i=1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$, находим для выбранного типа аппарата (слив на обе стороны):

$$Q_{сл} = 1 \cdot 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Общий расход воды:

$$Q = Q_{y \text{ расч.}} + Q_{сл} = 3,3 + 4 = 7,3 \text{ м}^3/\text{час} \quad (3.6)$$

Удельный расход воды:

$$q = \frac{Q}{Q_{г}} = \frac{7,3}{50000} = 0,146 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа} = 0,146 \text{ л}/\text{м}^3 \text{ газа} \quad (3.7)$$

Утечка составляет от общего расхода воды:

$$\frac{Q_y}{Q} = \frac{3,3}{7,3} = 0,45 = 45 \% - \text{условие } Q \geq 2Q_y \text{ выполняется.}$$

3.3 Определение параметров отверстий решётки

Установлено, что утечка воды возрастает с увеличением диаметра отверстий d_o и высоты исходного слоя жидкости на решётке h_o . Исходным слоем называется высота слоя невспененной жидкости, идущей на образование слоя пены данной высоты.

Утечка значительно возрастает при уменьшении скорости газа в отверстиях ниже 4 - 6 м/с и резко снижается при увеличении скорости газа выше 13 – 15 м/с, что может вызвать забивание решётки пылью. Кроме того, повышение скорости газа в отверстиях при небольшом слое воды (пены) на решётке, характерном для газопромывателей, приводит к струйному прорыву газа и сильному брызгообразованию.

Для обеспечения нормальной работы газопромывателя *скорость газа* \mathcal{G}_r в *крупных отверстиях решёток* следует выбирать в пределах 8-13 м/с, а для *решёток с более мелкими отверстиями* в пределах 7-10 м/с, в зависимости от исходной запыленности газа, возможных колебаний газовой нагрузки и других условий.

Учитывая значительную концентрацию пыли в газе (10 г/Нм³) и относительно большую лёгкость изготовления решёток с крупными отверстиями, принимаем к расчёту решётку с крупными отверстиями с рекомендуемыми скоростями газа 8 – 13 м/с.

Считая, что колебания в нагрузке аппарата по газу будут происходить, в основном, в сторону снижения, принимаем скорость газа $\mathcal{G}_r = 12$ м/с.

Тогда отношение площади свободного сечения решётки f_o к площади сечения аппарата f составит

$$f_o / f = \mathcal{G}_r / (\mathcal{G}_{ог} \cdot z) = \frac{2,3}{12 \cdot 0,95} = 0,2, \quad (3.2)$$

где $z = 0,95$ – коэффициент, учитывающий, что 5 % площади свободного сечения занимают опоры решётки, приливные стенки и пр.

При разбивке отверстий решётки по шестиугольнику с шагом a (рисунке 3) заштрихованная площадь равняется

$$S = a \cdot x = a \cdot 2 \cdot \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}} = 1,73 \cdot a^2 \quad (3.9)$$

На эту площадь приходится 2 отверстия диаметром d_o . Площадь отверстий:

$$S_o = 2 \cdot 0,785 \cdot d_o^2 = 1,57 \cdot d_o^2 \quad (3.10)$$

Как было найдено выше, отношение S_o/S должно составлять 0,2: Отсюда

$$a = \sqrt{\frac{1,57 \cdot d_o^2}{1,73 \cdot 0,2}}$$

При диаметре отверстий $d_o = 5$ мм:

$$a = \sqrt{\frac{0,91 \cdot 25}{0,2}} = 10,7 \approx 11 \text{ мм}$$

3.4 Расчёт высоты порога сливной решётки.

Высота порога на сливе с решётки устанавливается из расчёта создания слоя пены перед сливом высотой 60 – 100 мм (в зависимости от заданной степени очистки).

Высоту слоя пены на решётке H определяют по формуле

$$H = V_o \cdot h_o, \text{ мм}, \quad (3.11)$$

где V_o - относительный удельный объём пены; h_o - высота исходного слоя воды, мм.

В обычных условиях работы пенных газопромывателей, при h_o от 10 до 30 мм, значения V_o можно выбирать в зависимости от скорости газа \mathcal{G}_T по следующим усреднённым опытным данным:

$\mathcal{G}_T, \text{ м/с}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
V_o	3,5	4,5	5,5	6,2	7,1

Высота исходного слоя жидкости на решётке h_o связана с интенсивностью потока на сливе i и с высотой порога h_n эмпирической зависимостью:

$$h_o = \varphi \cdot \sqrt[3]{i^2} + \psi \cdot h_n, \quad (3.12)$$

где φ – коэффициент, характеризующий водослив; ψ – степень подпора жидкости порогом, которая может значительно изменяться в зависимости от условий пенообразования.

Для условий, близким к рабочим условиям газопромывателей, можно принять $\varphi = 3$, $\psi = 0,4$.

Отсюда, высота порога из уравнения (3.12):

$$h_n = 2,5 \cdot h_o - 7,5 \cdot \sqrt[3]{i^2} \quad (3.13)$$

По принятым ранее значениям $v\Gamma = 2,3$ м/с и $i = 1$ м³/ (м² · час) и принятой высоте слоя пены $H = 70$ мм, определяем высоту исходного слоя воды:

$$h_o = H / V_o = 70 : 5,9 = 11,8 \text{ мм},$$

где $V_o = 5,9$ определено по таблице для $v\Gamma = 2,3$ м/с.

Высота порога по уравнению (3.13):

$$h_n = 2,5 \cdot 11,8 - 7,5 \cdot \sqrt[3]{1^2} = 22,1 \text{ мм}.$$

Для обеспечения работы аппарата при колебаниях его режима примем высоту порога 30 мм.

Общая высота газопромывателя складывается из его отдельных частей: надрешёточной h_1 , подрешёточной h_2 и бункера h_b . Эти высоты определяются конструктивно в зависимости от:

h_1 – размеров брызгоуловителя;

h_2 – конструкции подвода газа;

h_b – свойств суспензии.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА СКРУББЕРА ВЕНТУРИ

Определить геометрические параметры трубы Вентури и каплеуловителя; сопротивление скруббера Вентури Δp и расход воды на орошение трубы Вентури $G_{ж}$.

Исходные данные:

массовый расход газов, подлежащих очистке, $G_G = 2$ кг/с;

температура газов перед скруббером..... $t'_G = 35^\circ \text{C}$;

плотность газов при нормальных условиях $\rho = 0,51$ кг/м³;

концентрация пыли на входе в скруббер..... $c_1 = 0,3$ г/м³;

допустимая концентрация пыли на выходе

из скруббера $c_2 \leq 0,015$ г/м³;

абсолютное давление газов перед скруббером $p'_G = 200$ кПа;

температура осветленной воды, поступающей

на орошение $t'_{ж} = 30^\circ \text{C}$;

давление воды..... $p_{ж} = 300$ кПа

содержание взвеси в осветленной воде $c_{ж} = 50-60$ мг/кг

Аппарат предназначен для улавливания сажи в процессе электрокрекинга метана.

4.1. Выбор конструкции скруббера

Учитывая небольшую производительность аппарата по очищаемым газам и высокие требования к эффективности очистки, выбираем конструкцию *скруббера Вентури*, состоящую из *трубы-распылителя*, выполненную в виде *трубы Вентури*, малогабаритного *прямоточного циклона – каплеуловителя*

Орошение трубы Вентури осуществляется через цельнофакельную форсунку.

1. Определение эффективности аппарата.

Эффективность аппарата:

$$\eta = \frac{c_1 - c_2}{c_1} = \frac{0,3 - 0,015}{0,3} = 0,95$$

Число единиц переноса:

$$N_u = \ln \frac{1}{1 - \eta} = \ln \frac{1}{1 - 0,95} = 3,0$$

Уравнение энергетической зависимости $N_r = BK_r^\chi$ для данного вида улавливаемой пыли примет вид:

$$N_r = 10^{-5} K_r^{1,36},$$

где значения $B = 10^{-5}$ и $\chi = 1,36$ взяты из табл. 1.1 приложения 1.

Удельная энергия, затрачиваемая на пылеулавливание:

$$K'_r = \left(\frac{N_r}{10^{-5}} \right)^{1/1,36} = (10^5 \cdot 3,0)^{0,735} = 10,636 \text{ кДж/м}^3 \text{ газа}$$

4.2 Определение эксплуатационных характеристик скруббера

Плотность крекинг – газов на входе в скруббер согласно уравнению состояния:

$$\rho'_G = \rho_0 \frac{p'_G \cdot 273}{p_0(273 + t'_G)} = \frac{0,51 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 273}{1 \cdot 10^5 \cdot (273 + 35)} = 0,904 \text{ кг/м}^3.$$

Объёмный расход газов, поступающий в скруббер:

$$Q'_G = \frac{G_G}{\rho'_G} = \frac{2}{0,904} = 2,21 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход орошающей воды:

$$Q_{жс} = mQ_G,$$

где m – удельное орошение скруббера, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Величину m выбирают в пределах от 0,5 до 8 л/м³ газов.

При больших концентрациях пыли на входе (10-12 г/м³) принимают равной 6-8 л/м³.

Учитывая большое значение удельной энергии K_r и незначительную концентрацию пыли на входе ($c_1 = 0,3$ г/м³), примем величину удельного орошения 1 л/м³.

Тогда массовый расход орошающей воды:

$$G_{жс} = \rho_{жс} \cdot Q_{жс} = \rho_{жс} m Q_G = 1000 \cdot 0,001 \cdot 2,21 = 2,21 \text{ кг/с}.$$

Затраты энергии K_r для скруббера Вентури выражаются уравнением:

$$K_r = \Delta p_{тр.} + \Delta p_{кан.} + p_{жс} \cdot m,$$

где $\Delta p_{тр.}$ - гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Па; $\Delta p_{кан.}$ - гидравлическое сопротивление каплеуловителя, Па; $p_{жс}$ - давление воды, Па; m - удельное орошение трубы Вентури, м³/м³.

Отсюда, гидравлическое сопротивление скруббера:

$$\Delta p = \Delta p_{тр.} + \Delta p_{кан.} = K_r - p_{жс} \cdot m = 10,636 - 300 \cdot 0,001 = 10,336 \text{ кПа}$$

Охлаждение насыщенных газов в скруббере Вентури происходит не более чем на 1-2° С. Поэтому без большой погрешности принимаем температуру очищенных газов на выходе из скруббера $t''_Г = 34^\circ \text{ С}$.

Плотность газов на выходе из скруббера согласно уравнению состояния:

$$\rho''_Г = \rho'_Г \cdot \frac{(273 + t'_Г) \cdot (p'_Г - \Delta p)}{p'_Г \cdot (273 + t''_Г)} = 0,904 \cdot \frac{308 \cdot (200 - 10,336) \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3 \cdot (273 + 34)} = 0,860 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход газов на выходе из скруббера:

$$Q''_Г = \frac{G_Г}{\rho''_Г} = \frac{2}{0,86} = 2,325 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Расчёт циклона – каплеуловителя.

Скорость газов в сечении прямоточного циклона – каплеуловителя согласно рекомендациям, приведенным в [4] принимаем 4,5 м/с.

Диаметр циклона – каплеуловителя:

$$D_ц = 1,13 \sqrt{Q''_Г / v_Г} = 1,13 \sqrt{2,325 / 4,5} = 0,817 \text{ м},$$

принимаем 0,8 м в соответствии с типоразмерным рядом, разработанным на каплеуловители.

Высота рабочей части аппарата $H_ц = 1,5D_ц$, скорость газов в сечении входного патрубка ≈ 25 м/с; отношение высоты входного патрубка к ширине 3:1; отношение площадей выходного и входного патрубков 1,7. Остальные параметры аппарата могут быть определены из рисунка 1.2.

Гидравлическое сопротивление циклона – каплеуловителя можно определить по уравнению Вейсбаха:

$$\Delta p_{кан.} = \zeta_c \cdot v_Г^2 \cdot \rho''_Г / 2,$$

где ζ_c - коэффициент гидравлического сопротивления сепаратора.

Для малогабаритного прямого циклона коэффициент ζ_c можно принять равным 18, тогда

$$\Delta p_{кан.} = 18 \cdot 4,5^2 \cdot 0,86 / 2 = 157 \text{ Па}$$

4.3 Расчёт трубы Вентури.

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури

$$\Delta p_{тр.} = \Delta p - \Delta p_{кан.} = 10,336 \cdot 10^3 - 157 = 10,179 \text{ кПа}$$

Параметры трубы Вентури целесообразно рассчитывать по условиям выхода.

Учитывая незначительное гидравлическое сопротивление циклона – каплеуловителя, плотность газов на выходе из трубы Вентури принимаем равной $\rho''_Г$, т. е. 0,86 кг/м³

Коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури $\zeta_{сух}$ принимаем 0,15.

Коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий введение в трубу Вентури орошающей жидкости можно определить по уравнению:

$$\zeta_{жс} = A \cdot \zeta_{сух} \cdot m^{1+B}$$

где А и В – эмпирические коэффициенты, которые принимаются по табл.; при длине горловины трубы-распылителя $l_Г = 0,15d_Э$

$$\zeta_{жс} = 0,63 \cdot 0,15 m^{-0,3} \approx 0,75$$

Скорость газов в горловине трубы Вентури

$$v_Г = \sqrt{\frac{2\Delta p_{тр.}}{\zeta_{сух} \cdot \rho''_Г + \zeta_{жс} \cdot m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10,179 \cdot 10^3}{0,15 \cdot 0,86 + 0,75 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}} = 152 \text{ м/с.}$$

Диаметр горловины трубы Вентури

$$d_Г = 1,13 \sqrt{Q''_Г / v_Г} = 1,13 \sqrt{2,325 / 152} = 0,14 \text{ м.}$$

Воспользовавшись типоразмерным рядом (см. таблицу), выбираем трубу Вентури с диаметром горловины 135 мм. Расчёт геометрических параметров трубы Вентури проводится по вышеприведенным соотношениям.

Литература

1. Охрана окружающей среды: Учебник для технических специальностей вузов /С. В. Белов и др.- М: Высшая школа, 1991-319 с.
2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник. Т-1. Под ред. С. Колверта и Г.М. Инглунда.-М.: Металлургия, 1988 – 759 с.
3. Сенькевич Э.В., Курпан М.И. Термическая очистка газовых выбросов сушильных установок.-Мн.: Высшая школа, 1980-127 с.
4. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. /под общей ред.с А.А. Русанова.- М.: Энергоатомиздат, 1988.-312 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Осаждение под действием силы тяжести.....	5
1.1. Теоретические сведения. Расчетные формулы.....	5
1.2. Пример расчёта высоты секции пылеосадительной камеры.....	7
1.3. Пример определения эффективности пылеулавливания.....	9
1.4. Пример определения размера осаждающихся частиц.....	11
Задания.....	12
2. Осаждение под действием центробежной силы.....	14
2.1. Расчётные формулы для определения основных размеров циклонов.....	14
2.2. Пример подбора и расчёта батарейного циклона.....	16
2.3. Пример определения эксплуатационных характеристик батареи циклонов.....	18
Задания.....	20
3. Тарельчатые газопромыватели.....	21
3.1. Выбор конструкции и габаритных размеров газопромывателя.....	21
3.2. Расчет количества подаваемой жидкости.....	22
3.3. Определение параметров отверстий решётки.....	24
3.4. Расчёт высоты порога сливной решётки.....	26
4. Пример расчёта скруббера Вентури.....	27
4.1. Выбор конструкции скруббера.....	27
4.2. Определение эксплуатационных характеристик скруббера.....	28
4.3. Расчёт трубы Вентури.....	30
Литература.....	31

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

Практикум

**по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы
мобильных и технологических машин»
дневной формы обучения**

Авторы-составители: **Михневич** Наталья Николаевна,
Михневич Анатолий Васильевич

Подписано в печать 22.12.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,92.

Изд. № 156.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.