

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Севастопольский национальный
технический университет

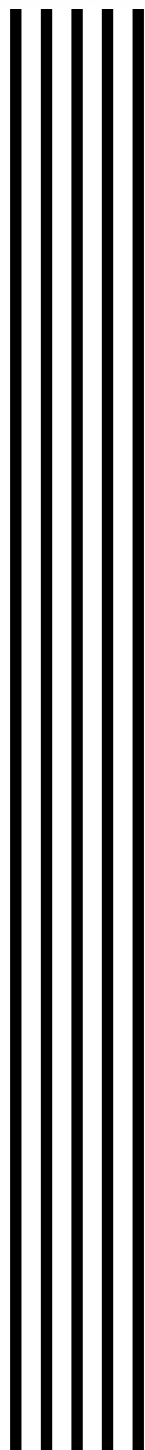
**ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИЕ АППАРАТЫ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ.
РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению практической работы
по дисциплине «Основы экологии»

для студентов всех специальностей
дневной и заочной форм обучения

Севастополь

2008



УДК 614.7

Методические указания к выполнению практической работы «Пылеулавливающие аппараты для очистки выбросов в атмосферу. Расчет циклонов» по дисциплине «Основы экологии» для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения / Сост. В.В.Севриков, А.А. Никитин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 24 с.

Целью методических указаний является ознакомление студентов с типами пылеулавливающих аппаратов, и методикой расчета циклонов.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Прикладной экологии и охраны труда» СевНТУ.

Протокол № 8 от 19 февраля 2008 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: к.т.н., доцент Макаров В.В.

СОДЕРЖАНИЕ

Цель практической работы	3
1. Краткие теоретические сведения	4
1.1. Сухие пылеуловители	6
1.2. Мокрые пылеуловители	7
1.3. Электрофильтры	9
1.4. Матерчатые фильтры	10
2. Порядок выполнения расчетов	10
2.1. Плотность газа при рабочих условиях	10
2.2. Расход газа при рабочих условиях	10
2.3. Расчет и выбор диаметра циклона при оптимальной скорости	11
2.4. Действительная скорость газа в циклоне	11
2.5. Коэффициент сопротивления циклона	12
2.6. Гидравлическое сопротивление циклона	12
2.7. Эффективность очистки газа в циклоне	12
2.8. Определение концентрации пыли на выходе из циклона	13
2.9. Геометрические размеры циклона	14
3. Индивидуальное расчетно–практическое задание	14
4. Содержание отчета	14
5. Контрольные вопросы	16
Библиографический список	16
Приложение А	17
Приложение Б	18
Приложение В	20
Приложение Г	22
Приложение Д	23

ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ. РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ: познакомиться с основными параметрами процесса очистки газов от примесей в различных пыле и туманоулавливающих аппаратах, а также выбрать тип циклона, определить его основные параметры и технические характеристики.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основные меры защиты атмосферы от загрязнения промышленной пылью и туманами предусматривают широкое использование пыле- и туманоулавливающих аппаратов и систем [1]. Опираясь на современную классификацию пылеулавливающих систем, основанную на принципиальных особенностях процесса очистки, пылеочистное оборудование можно разделить на четыре группы:

- сухие пылеуловители;
- мокрые пылеуловители;
- электрофильтры;
- фильтры.

Пылеуловители различных типов и электрофильтры применяют при повышенных концентрациях примесей в воздухе. Фильтры используют для тонкой очистки воздуха с концентрациями примесей менее 100 мг/м^3 .

Если требуется тонкая очистка воздуха при высоких начальных концентрациях примесей, то очистку ведут в системе последовательно соединенных пылеуловителей и фильтров.

К основным характеристикам пылеулавливающего оборудования относятся эффективность (степень) очистки воздуха от пыли, которую также иногда называют коэффициентом полезного действия аппарата, хотя это не отражает ее энергетические характеристики; гидравлическое сопротивление; расход электрической энергии; стоимость очистки.

Процесс очистки газов от примесей в различных аппаратах характеризуется рядом основных параметров: общей эффективностью очистки η ; фракционной эффективностью очистки η_i ; коэффициентом проскока частиц через пылеуловитель K ; гидравлическим сопротивлением пылеуловителей ΔP (Па·).

Общая эффективность пылеуловителя вычисляется по формуле

$$\eta = (C_{BX} - C_{БЫХ}) / C_{BX}, \quad (1.1)$$

где C_{BX} и $C_{БЫХ}$ – массовые концентрации примесей в газе до и после пылеуловителя (фильтра).

Если очистка ведется в системе последовательно соединённых аппаратов, (каскадная, или многоступенчатая очистка), применяемая для более полного обеспыливания воздуха, то суммарная эффективность очистки определяется по формуле (1.2)

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot \dots \cdot (1 - \eta_n) \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – эффективность очистки 1-го, 2-го и n -го аппаратов, входящих в каскад (в долях единицы).

Фракционная эффективность очистки определяется из выражения

$$\eta_i = (C_{BX i} - C_{BЫX i}) / C_{BX i}, \quad (1.3)$$

где $C_{BX i}$ и $C_{BЫX i}$ – массовые концентрации i -й фракции загрязнителя до и после очистки.

Фракционная эффективность очистки необходима в случае, когда воздух загрязнён несколькими примесями и важно оценить очистку от каждого загрязнителя.

Коэффициент проскока частиц через пылеуловитель также используется для оценки эффективности процесса очистки

$$K = C_{BЫX} / C_{BX}. \quad (1.4)$$

Из формул (1.1) и (1.4) следует, что коэффициент проскока и эффективность связаны соотношением

$$K = 1 - \eta. \quad (1.5)$$

Гидравлическое сопротивление пылеуловителей ΔP определяется как разность давлений воздушного потока на входе P_{BX} и выходе $P_{BЫX}$ из аппарата. Величина ΔP находится экспериментально или рассчитывается по формулам (1.6) или (1.7)

$$\Delta P = P_{BX} - P_{BЫX}, \quad (1.6)$$

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot \rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (1.7)$$

где ρ – плотность воздуха в расчётном сечении аппарата;

ω – скорость воздуха в расчётном сечении аппарата;

ξ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Величина гидравлического сопротивления имеет большое значение для расчета гидравлического сопротивления всей системы и определяет мощность привода устройства для подачи воздуха пылеуловителю. Если в процессе очистки гидравлическое сопротивление пылеуловителя изменяется (обычно увеличивается), то необходимо регламентировать его начальное $\Delta P_{НАЧ}$ и конечное значение $\Delta P_{КОН}$.

При достижении $\Delta P = \Delta P_{\text{кон}}$ процесс очистки прекращают и проводят очистку аппарата. Это имеет принципиальное значение для фильтров.

Удельная пылеемкость (N) пылеуловителей или фильтров зависит от количества пыли, которое удерживает пылеуловитель за период непрерывной работы между двумя очередными очистками аппарата. Применительно к фильтрам удельная пылеемкость оценивается как масса осадка, приходящаяся на единицу площади рабочей поверхности фильтрующего элемента, и измеряется в г/м².

1.1. Сухие пылеуловители

К сухим пылеуловителям относят все аппараты, в которых отделение частиц примесей от воздушного потока происходит механическим путем за счёт сил гравитации, инерции и центробежных сил. Широкое применение для сухой очистки газов получили циклоны рисунок 1.

Циклон представляет собой цилиндр с конусом в нижней части (рисунок 1) [1]. В центре этого цилиндра расположен внутренний цилиндр. Загрязненный воздух поступает сбоку в пространство между цилиндрами, и под влиянием центробежной силы частицы пыли образуют на внутренней стороне наружного цилиндра циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Частицы пыли отделяются от газа в бункере за счет поворота газового потока на 180°. Газовый поток, освободившийся от пыли, образует вихрь, выходит из бункера и дает начало вихрю газового потока, который выходит из циклона через выходную трубу. Бункер должен быть герметичен, так как при разгерметизации бункера за счет подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.

В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими и коническими циклонами НИИОГаз (научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов). Наиболее часто применяются цилиндрические циклоны марок ЦН–11, ЦН–15, ЦН–24, конические СК–ЦН–34, СК–ЦН–34М, СДК–ЦН–33, схемы которых представлены в Приложении Д на рисунках Д.1, Д.2. Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра и представлены в Приложении Г таблицах Г.1, Г.2, соответственно.

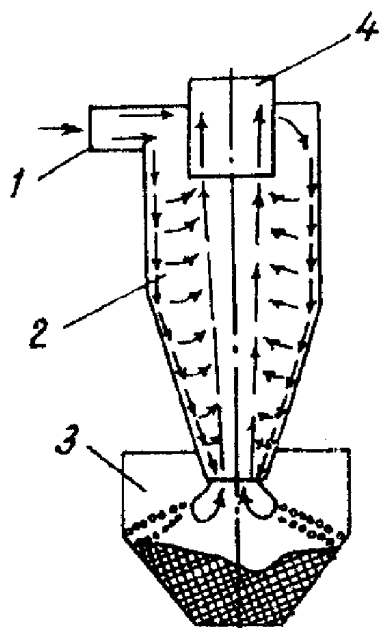


Рисунок 1 – Схема циклона
1 – вход газов; 2 – корпус циклона;
3 – пылевой бункер, 4 – выход
очищенных газов

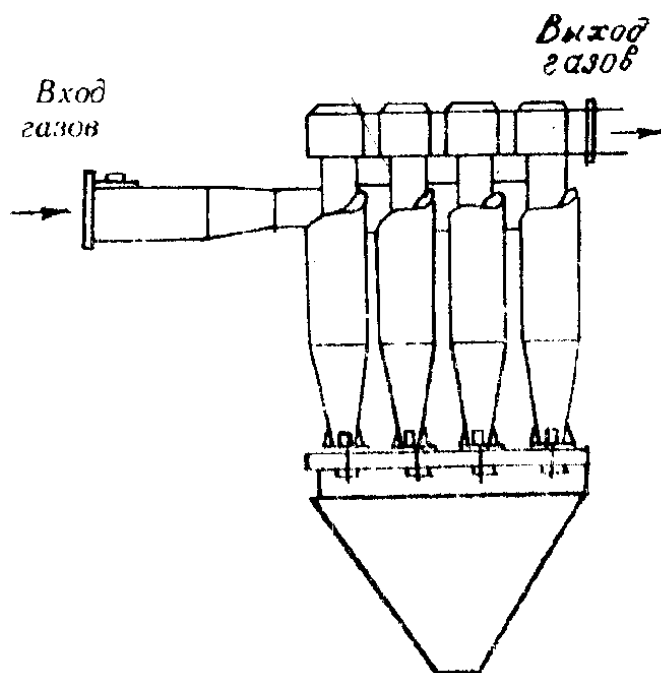


Рисунок 2 – Батарея из нескольких,
параллельно соединенных циклонов

При уменьшении размера циклона эффективность очистки увеличивается, так как величина центробежной силы обратно пропорциональна радиусу вращения частиц пыли. Поэтому батарея из нескольких (обычно восьми) небольших параллельных циклонов более эффективна, чем один большой циклон. Батарея из нескольких параллельных соединенных циклонов представлена на рисунке 2.

1.2. Мокрые пылеуловители

Орошаемые скрубберы. По внешнему виду они похожи на циклоны, но принцип их работы основан на поглощении пыли водой, которая либо разбрызгивается форсунками, либо подается непрерывно против потока запыленного воздуха. Загрязненная пылью вода подвергается очистке и вновь поступает в скруббер. Аппараты мокрой очистки газов имеют широкое распространение, так как характеризуются высокой эффективностью очистки от мелкодисперсной пыли с диаметром от 0,3 до 1,0 мкм, а также возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Однако мокрые пылеуловители обладают рядом недостатков – это ограничивает область их применения: образование в процессе очистки шламов, требующих специальных систем для их переработки; вынос влаги в атмосферу и образование отложений в отводящих газоотходах при охлаждении газов до точки росы; необходимость создания оборотных систем подачи воды в пы-

леуловитель. Аппараты мокрой очистки работают по принципу осаждения частиц пыли либо на поверхность капель жидкости, либо на поверхность пленки жидкости.

Силы инерции действуют на частицы пыли и капли жидкости при их сближении. Эти силы зависят от массы капель и частиц, а также от скорости их движения. Для достижения высокой эффективности очистки газа от частиц примесей, необходимо уменьшить скорость движения газового потока в аппарате.

Важным фактором, влияющим на эффективность мокрых пылеуловителей, является смачиваемость частиц жидкостью (чем лучше смачиваемость, тем эффективнее процесс очистки).

Более тесный контакт очищаемого газа с жидкостью, а следовательно, и большая эффективность очистки достигается при использовании насадочных скрубберов. Насадочный скруббер представлен на рисунке 3.

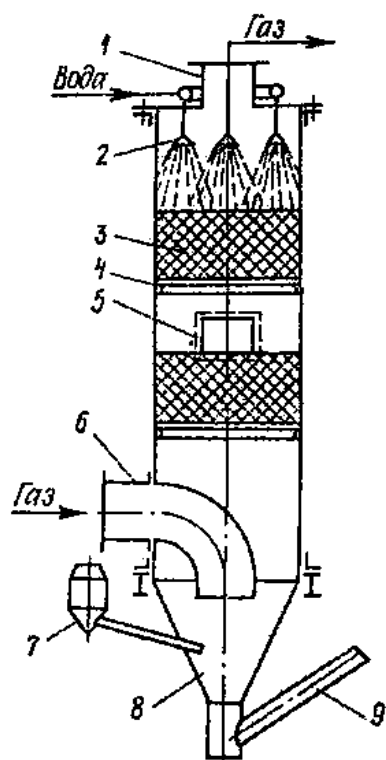


Рисунок 3 – Насадочный скруббер

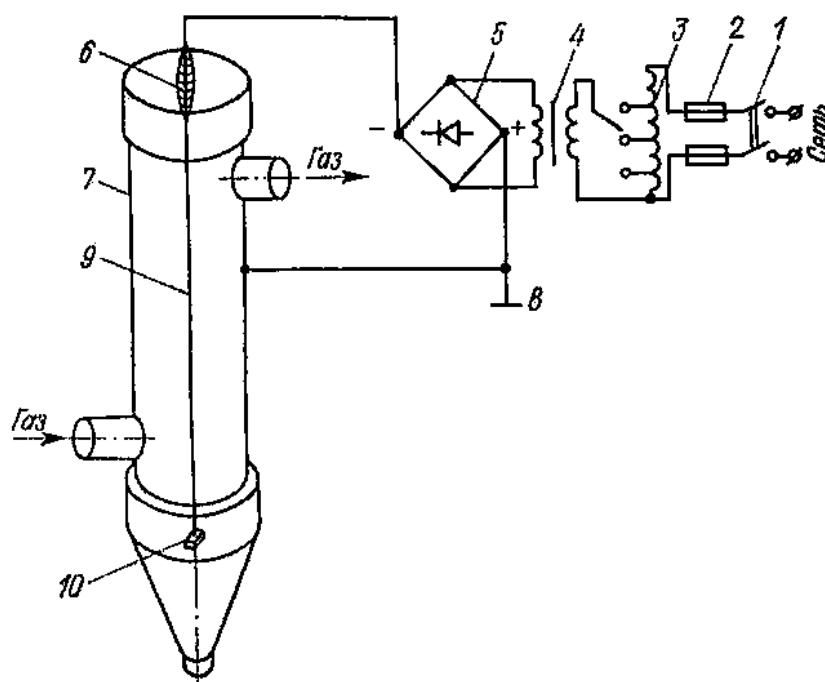


Рисунок 4 – Электрофилтр

Внутри корпуса 4 аппарата на колосниковой решетке помещается насадка 3, состоящая из небольших элементов, обладающих химической стойкостью, механической прочностью, малой массой и большой поверхностью единицы объема. Наибольшее распространение для химически агрессивных сред получила насадка, состоящая из керамических колец диаметром от $15 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ м, засыпаемых навалом.

При нейтральных и неагрессивных к дереву промывочных жидкостях и газах с невысокой температурой применяют так называемую хордовую насадку, выполненную из сосновых или еловых досок, уложенных определенным образом.

В верхней части аппарата располагается оросительное устройство 2. Очищаемый газ вводится в нижнюю часть скруббера через патрубок 6. Двигаясь снизу вверх, он проходит через смоченную поверхность насадки и в верхней части аппарата уже очищенным выходит через патрубок 1. Смачивающая насадку вода стекает с ее поверхности и собирается в бункере 8, откуда через гидрозатвор 9 выводится из аппарата. Если скруббер работает под повышенным давлением газа, то для поддержания требуемого уровня воды в бункере устанавливают поплавковый регулятор 7.

1.3. Электрофилтры

Метод электрической очистки газа в электрофилтрах от взвешенных в нем частиц мелкодисперсной пыли и жидкости, основан на явлении ионизации газовых молекул в электрическом поле высокого напряжения. Частицы получают заряд от ионов газа и осаждаются на электродах электрического филтра, а очищенный газ выводится из аппарата.

Принципиальная схема электрофилтра представлена на рисунке 4. Установка состоит из собственно электрофилтра, в котором газ очищается от взвешенных в нем частиц, и питающего электроагрегата, предназначенного для подачи тока высокого напряжения на электроды электрофилтра. Цепь электроагрегата включает рубильник 1, предохранители 2, регулятор напряжения 3, трансформатор 4, повышающий напряжение сети 220 В или 380 В до $50 \cdot 10^3 \dots 110 \cdot 10^3$ В, выпрямителя 5, а также аппаратуру автоматики, контроля, сигнализации и блокировки.

При помощи кабеля или шин высокое напряжение подается на электроды электрофилтра. В создаваемом при этом неоднородном электрическом поле вокруг отрицательного центрального электрода 9, называемого коронирующим, введенного в корпус электрофилтра через изолятор 6 и натянутого грузом 10 возникает коронный разряд. Получившие от коронирующего электрода отрицательный заряд частицы пыли двигаются к положительному (осадительному) электроду 7, которым являются стенки электрофилтра, соединенному с положительным контактом выпрямителя и заземлением 8.

1.4. Матерчатые фильтры

Запыленный воздух проходит через пористые материалы, осаждающие пыль. Для грубой очистки применяют гравий, кокс, металлические стружки, стекловолокно, а для тонкой очистки — металлическую сетку, смоченную специальным маслом, пористую бумагу, ткани. Наибольшее распространение получили матерчатые рукавные фильтры. Матерчатые фильтры работают по принципу пылесоса. В металлическом шкафу, разделенном вертикальными перегородками на ряд секций, помещаются группы рукавов из фильтрующего материала. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме. С помощью этой рамы рукава периодически встряхиваются и, задержанная ими пыль попадает в бункер. Фильтрующие рукава изготавливаются из шерстяных, хлопчатобумажных или синтетических тканей в зависимости от температуры очищаемого газа. Для очистки от пыли газов, имеющих температуру выше 300°C , применяют фильтры со стеклотканью. Эффективность очистки выбросов от пыли с помощью рукавных фильтров достигает 98...99%. Рукавные фильтры используются на предприятиях по производству извести для окончательной очистки воздуха после циклонов, поскольку циклоном улавливается не более $2/3$ содержащейся в воздухе известковой пыли.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛЕНИЯ РАСЧЕТОВ

2.1. Плотность газа при рабочих условиях

Плотность газа при рабочих условиях определяется по формуле

$$\rho_z = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{бар} - P_{ц})}{(273 + T) \cdot P_{бар}}, \quad (2.1)$$

где ρ_z — плотность газа при рабочих условиях, кг/м^3 ;

ρ_0 — плотность газа при нормальных условиях, поступающего в циклон, кг/м^3 ;

$P_{бар}$ — барометрическое давление, Па;

$P_{ц}$ — разрежение в циклоне, Па;

T — температура газа, град С.

2.2. Расход газа при рабочих условиях

Рассчитаем расход газа при рабочих условиях

$$V_z = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{3600 \cdot \rho_z}, \quad (2.2)$$

где V_z – расход газа при рабочих условиях, м³/ч;

V_0 – расход газообразных выбросов через циклон при нормальных условиях, м³/ч;

ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, поступающего в циклон, кг/м³;

ρ_z – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³.

2.3. Расчет и выбор диаметра циклона при оптимальной скорости

Определим расчетный диаметр циклона

$$D_{расч} = \sqrt{\frac{V_z}{0,785 \cdot \omega_{opt}}}, \quad (2.3)$$

где $D_{расч}$ – диаметр циклона при оптимальной скорости, м;

V_z – расход газа при рабочих условиях, м³/с;

ω_{opt} – оптимальная скорость, м/с.

В зависимости от типа циклона, определим оптимальную скорость газа ω_{opt} в сечении циклона диаметром D по Приложению Б, таблица Б.2).

После определения $D_{расч}$ принимается ближайший стандартный внутренний диаметр циклона $D_{ст}$, мм: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400; 3000, согласно [2].

2.4. Действительная скорость газа в циклоне

Определим действительную скорость газа в циклоне

$$\omega_u = \frac{V_z}{0,785 \cdot D_{ст}^2}, \quad (2.4)$$

где ω_u – действительная скорость газа в циклоне, м/с;

V_z – расход газа при рабочих условиях, м³/с;

$D_{ст}$ – стандартный диаметр циклона, м.

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

$$\left| \frac{\omega_u - \omega_{opt}}{\omega_{opt}} \right| \cdot 100\% \leq 15\%. \quad (2.5)$$

2.5. Коэффициент сопротивления циклона

Рассчитаем коэффициент сопротивления циклона [3]

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}. \quad (2.6)$$

Величины коэффициентов K_1 , K_2 , ξ_{500} (для циклонов с выходом в атмосферу) принимаются по Приложению Б таблицы Б.3, Б.4 и Б.5 в зависимости от диаметра циклона, начальной запыленности и типа циклона, соответственно [4].

2.6. Гидравлическое сопротивление циклона

По формуле (2.7) определяется гидравлическое сопротивление циклона

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot \omega_y^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.7)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление циклона, Па;
 ξ – коэффициент сопротивления циклона;
 ω_y – действительная скорость газа в циклоне, м/с;
 ρ_z – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³.

2.7. Эффективность очистки газа в циклоне

Эффективность очистки газа в циклоне определяется по формуле

$$\eta = 50 \cdot [1 + \Phi(x)], \quad (2.8)$$

где η – эффективность очистки газа в циклоне, %;

$\Phi(x)$ – функция распределения, заданная в Приложении В таблица В.1 или формулой (2.9)

$$\Phi(x) = 0,5 + \frac{\arctg(x)}{2,3}, \quad (2.9)$$

где x – параметр, определяется по формуле (2.10), рад

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta + \lg^2 \delta_n}}, \quad (2.10)$$

где d_m – средний диаметр частиц принимается в зависимости от материала частиц по Приложению Б таблица Б.1, мкм;

d_{50} – средний диаметр частиц, улавливаемых циклоном с эффективностью 50%, вычисляется по формуле (2.12), мкм;

$\lg \delta_\eta$ – значение принимается по Приложению Б таблица Б.2 в зависимости от типа циклона;

$\lg \delta_n$ – среднеквадратичное отклонение в функции данного распределения определяется в зависимости от материала частиц по Приложению Б таблица Б.1;

Определим размер частиц, улавливаемых выбранным циклоном при рабочих условиях с эффективностью 50%

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{cm}}{D_T} \cdot \frac{\rho_n^T}{\rho_n} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{\omega_T}{\omega_u}}, \quad (2.12)$$

где d_{50} – размер частиц, улавливаемых выбранным циклоном при рабочих условиях с эффективностью 50%, мкм;

d_{50}^T – среднемедианный диаметр частиц принимается в зависимости от материала частиц по Приложению Б таблица Б.2, мкм;

D_T – диаметр циклона, $D_T=0,6$ м;

ρ_n – плотность частиц пыли, $\rho_n^T=1930$ кг/м³;

μ_T – динамический коэффициент вязкости газа,

$$\mu_T=22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2;$$

μ – динамический коэффициент, Н·с/м²;

ω_T – скорость газа, $\omega_T=3,5$ м/с.

После подстановки численных значений формула (2.12) будет иметь вид

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{cm}}{0,6} \cdot \frac{1930}{\rho_n} \cdot \frac{\mu}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{\omega_u}}. \quad (2.13)$$

2.8. Определение концентрации пыли на выходе из циклона

$$C_{вых} = C_{вх} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right), \quad (2.13)$$

где $C_{вых}$ – концентрации пыли на выходе из циклона, мг/м³;

$C_{вх}$ – начальная концентрация пыли в газе на входе, мг/м³;

η – эффективность очистки газа в циклоне, %.

2.9. Геометрические размеры циклона

Определение конструктивных размеров циклона производится по Приложению Г таблица Г.1, Г.2 [4], в соответствии с выбранным типом циклона и стандартным внутренним диаметром циклона $D_{ст}$.

3. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАСЧЕТНО–ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

В расчетно практической работе, используя исходные данные, представленные в Приложения А таблица А.1 и руководствуясь порядком расчета, изложенным в пунктах 2.1 – 2.9 необходимо определить:

- тип циклона;
- плотность газа при рабочих условиях;
- расход газа при рабочих условиях;
- расчет и выбор диаметра циклона при оптимальной скорости;
- действительную скорость газа в циклоне;
- коэффициент сопротивления циклона;
- гидравлическое сопротивление циклона;
- эффективность очистки и концентрацию пыли на выходе из циклона;
- геометрические размеры циклона.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по практической работе должен содержать:

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- исходные данные, занесенные в таблицу 4.1;
- расчет параметров циклона (пункты 2.1 – 2.9);
- таблицу 4.2, содержащую рассчитанные значения параметров циклона;
- таблицу 4.3 или таблицу 4.4 в зависимости от типа циклона, содержащую геометрические размеры циклона;
- эскиз циклона с указанием геометрических размеров (эскиз циклона представлен в Приложении Г на рисунках Г.1 и Г.2);
- выводы по работе.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Вариант	Материал частиц	Тип циклона	$C_{вх}$, мг/м ³	ρ_0 , кг/м ³	$P_{бар}$, Па	$P_{ц}$, Па	V_0 , м ³ /ч	T , °C

Таблица 4.2 – Параметры циклона

Тип циклона	ρ_z , кг/м ³	V_z , м ³ /с	$D_{расч}$, м	$D_{см}$, м	$\omega_{ц}$, м/с	ξ	ΔP , Па	d_{50} , мкм	x	$\Phi(x)$	η , %	$C_{вых}$, мг/м ³

Таблица 4.3 – Геометрические размеры цилиндрического циклона

Геометрический размер, в долях диаметра циклона	Численные значения геометрических размеров
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	
Внутренний диаметр пылевывпускного отверстия, d_1	
Ширина входного патрубка в циклоне, b	
Ширина входного патрубка на входе, b_1	
Длина входного патрубка, l	
Диаметр средней линии циклона, $D_{ср}$	
Высота фланца, $h_{фл}$	
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона, α , град	
Высота входного патрубка, a	
Высота выхлопной трубы, h_t	
Высота цилиндрической части циклона, $H_{ц}$	
Высота конуса циклона, H_k	
Высота внешней части выхлопной трубы, h_v	
Общая высота циклона, H	

Таблица 4.4 – Геометрические размеры конического циклона

Геометрический размер, в долях диаметра циклона	Численные значения геометрических размеров
1	2
Высота цилиндрической части, $H_{ц}$	
Высота входного патрубка, a	
Высота заглубления выхлопной трубы, h_t	
Высота конической части, H_k	

Продолжение таблицы 4.4

1	2
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия, d_1	
Ширина входного патрубка в циклоне, b	
Высота внешней части выхлопной трубы, h_3	
Высота установки фланца, $h_{\text{фл}}$	
Высота входного патрубка, a	
Длина входного патрубка, l	
Текущий радиус улитки, ρ	

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные группы пылеочистительного оборудования.
2. Перечислите основные характеристики пылеулавливающего оборудования.
3. Какими основными параметрами характеризуется процесс очистки газов от примесей?
4. По каким формулам вычисляются общая и фракционная эффективности очистки?
5. Как определяется гидравлическое сопротивление пылеуловителей?
6. Опишите процесс очистки запыленного газа в циклоне.
7. Как происходит процесс очистки газов от примесей в мокрых пылеуловителях?
8. Как очищается газ от взвешенных в нем частиц мелкодисперсной пыли с помощью электрофильтров и матерчатых фильтров?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.В. Основы защиты воздушного бассейна / В.В. Макаров — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003 – 282 с.
2. ГОСТ 9617–1976. Сосуды и аппараты. Ряды диаметров, М.: Изд – во стандартов, – 3 с.
3. Методические указания для практических занятий по дисциплине «Охрана окружающей среды» для студентов факультетов ТПТМ и КЭК дневной формы обучения / сост. Г.В. Дуганов, А.Г. Торовец. – Севастополь.: Изд-во Севастопольского приборостроительного института, 1982. – 12 с.
4. Справочник по пыле– и золоулавливанию / М.И. Биргер [и др.] – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Таблица А.1 – Исходные данные для расчета

Вариант	Материал частиц	Тип циклона	$C_{вх}$, мг/м ³	ρ_0 , кг/м ³	$P_{бар}$, Па	$P_{ц}$, Па	V_0 , м ³ /ч	T , °С
1	Клинкер	ЦН–24	10	1,19	95700	700	2200	90
2		ЦН–15	15	1,20	95800	1100	2800	95
3		ЦН–15У	20	1,21	95900	1000	2550	100
4		ЦН–24	40	1,22	96000	700	3000	105
5	Каменный уголь	ЦН–15У	80	1,23	96100	930	2950	110
6		СДК-ЦН–33	80	1,33	97100	700	3900	105
7		ЦН–11	80	1,25	96300	1700	2750	120
8	Цемент	ЦН–15У	80	1,26	96400	700	2800	135
9	Шлак	ЦН–15	40	1,27	96500	800	3000	130
10		ЦН–15У	30	1,28	96600	900	3125	135
11		ЦН–24	20	1,29	96700	900	3250	140
12	Окислы алюминия	ЦН–24	10	1,30	96800	700	2950	90
13		ЦН–24	10	1,24	98300	700	3950	110
14	Магнезит	ЦН–24	120	1,31	96900	900	3500	95
15	Доломит	ЦН–24	40	1,32	97000	700	2850	100
16	Клинкер	ЦН–11	10	1,34	97200	2000	3875	110
17		СДК-ЦН–33	15	1,35	97300	1100	4000	115
18		СК–ЦН–34	20	1,36	97400	1800	4125	120
19	Цемент	ЦН–24	80	1,37	97500	800	5300	125
20	Алюмосиликатный катализатор	ЦН–24	20	1,24	96200	700	5010	115
21		ЦН–15У	30	1,38	97600	800	3760	130
22		ЦН–24	20	1,39	97700	700	4800	135
23	Каменный уголь	ЦН–24	80	1,19	97800	900	4625	140
24		ЦН–15	80	1,20	97900	1000	4750	90
25	Шлак	ЦН–15У	40	1,21	98000	1100	4875	95
26		ЦН–24	30	1,22	98100	1000	5000	100
27		СДК-ЦН–33	20	1,23	98200	1100	5125	105
28	Цемент	ЦН–24	80	1,25	98400	700	3900	115
29	Каменный уголь	ЦН–15	80	1,26	98500	700	2950	120
30		ЦН–15У	80	1,27	98600	700	2850	125

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Таблица Б.1 – Дисперсный состав и плотность пыли, образующейся при некоторых технологических процессах

Наименование оборудования	Материал частиц	$C_{вх}$, мг/м ³	ρ_n , кг/м ³	d_m , мкм	$\lg \delta_n$
Вращающаяся клинкерно-обжиговая печь	Клинкер	10	2000	8	0,494
		15		10	0,602
		20		14	0,535
		40		23	0,501
Крекинг-установка ГК-3	Алюмосиликатный катализатор	20	2600	17	0,301
		30		16	0,250
Углесушильный барабан	Каменный уголь	80	1350	15	0,334
Шаровая мельница	Цемент	80	2900	20	0,468
Вращающаяся цементная печь	Шлак	20	2000	20	0,652
		30		16	0,499
		40		11	0,345
Электролизер алюминия	Окислы алюминия	10	2650	20	0,352
Вращающаяся печь обжига	Магнезит	120	2900	43	0,615
	Доломит	40	2750	28	0,506
Барабанная сушилка	Двойной суперфосфат	15	1800	80	0,210

Таблица Б.2 – Значения $\omega_{онм}$, d_{50}^T и $\lg \delta_\eta$

Тип циклона	$\omega_{онм}$, м/с	d_{50}^T , мкм	$\lg \delta_\eta$
ЦН-11	3,5	3,65	0,352
ЦН-15	3,5	4,50	0,352
ЦН-15У	3,5	6,00	0,283
ЦН-24	4,5	8,50	0,308
СДК-ЦН-33	2,0	2,31	0,364
СК-ЦН-34	1,7	1,95	0,308
СК-ЦН-34М	2,0	1,30	0,304

Таблица Б.3 – Значение поправочного коэффициента K_1

Тип циклона	Стандартный диаметр, D_{cm} , м				
	0,15	0,20	0,30	0,40	$\geq 0,50$
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,00
ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,00	1,00
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица Б.4 – Значение поправочного коэффициента K_2

Тип циклона	Начальная концентрация пыли в газе, C_{ex} , мг/м ³									
	10	15	20	30	40	60	80	100	120	150
ЦН-11	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,50
ЦН-15	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86
ЦН-15У	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75
СК-ЦН-34	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	—	—	—	—	—

Таблица Б.5 – Значение коэффициента ξ_{500}

Тип циклона	Значение коэффициента ξ_{500} при выхлопе в	
	атмосферу	гидравлическую сеть
ЦН-11	250	245
ЦН-15	163	155
ЦН-15У	170	165
ЦН-24	80	75
СДК-ЦН-33	600	520
СК-ЦН-34	1150	1050
СК-ЦН-34М	2000	—

Таблица Б.6 – Значение коэффициента μ

Температура газа T , °С	$\mu \cdot 10^{-6}$	Температура газа T , °С	$\mu \cdot 10^{-6}$
90	27,5	120	30,5
95	28,0	125	31,0
100	28,5	130	31,5
105	29,0	135	32,0
110	29,5	140	32,5
115	30,0		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Таблица В.1 – Функция распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6
-2,70	0,004	-1,44	0,075	-0,72	0,236
-2,60	0,005	-1,42	0,078	-0,70	0,242
-2,50	0,006	-1,40	0,081	-0,68	0,248
-2,40	0,008	-1,38	0,084	-0,66	0,255
-2,30	0,011	-1,36	0,087	-0,64	0,261
-2,20	0,014	-1,34	0,090	-0,62	0,268
-2,10	0,018	-1,32	0,093	-0,60	0,274
-2,00	0,023	-1,28	0,100	-0,58	0,291
-1,98	0,024	-1,26	0,104	-0,56	0,288
-1,96	0,025	-1,24	0,108	-0,54	0,295
-1,94	0,026	-1,22	0,111	-0,52	0,302
-1,92	0,027	-1,20	0,115	-0,50	0,309
-1,90	0,029	-1,18	0,119	-0,48	0,316
-1,88	0,030	-1,16	0,123	-0,46	0,323
-1,86	0,031	-1,14	0,127	-0,44	0,330
-1,84	0,033	-1,12	0,131	-0,42	0,337
-1,82	0,034	-1,10	0,136	-0,40	0,345
-1,80	0,036	-1,08	0,144	-0,38	0,352
-1,78	0,038	-1,06	0,145	-0,36	0,359
-1,76	0,039	-1,04	0,149	-0,34	0,367
-1,74	0,041	-1,02	0,154	-0,32	0,375
-1,72	0,043	-1,00	0,159	-0,30	0,382
-1,70	0,045	-0,98	0,164	-0,28	0,390
-1,68	0,047	-0,96	0,169	-0,26	0,397
-1,66	0,049	-0,94	0,174	-0,24	0,405
-1,64	0,051	-0,92	0,179	-0,22	0,413
-1,62	0,053	-0,90	0,184	-0,20	0,421
-1,60	0,055	-0,88	0,189	-0,18	0,429
-1,58	0,057	-0,86	0,195	-0,16	0,436
-1,56	0,059	-0,84	0,201	-0,14	0,444
-1,54	0,062	-0,82	0,206	-0,12	0,452
-1,52	0,064	-0,80	0,212	-0,10	0,460
-1,50	0,067	-0,78	0,218	-0,08	0,468
-1,48	0,069	-0,76	0,224	-0,06	0,476
-1,45	0,072	-0,74	0,230	-0,04	0,484

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6
–0,02	0,492	0,72	0,764	1,44	0,925
0,00	0,500	0,74	0,770	1,46	0,928
0,02	0,508	0,76	0,776	1,48	0,931
0,04	0,516	0,78	0,782	1,50	0,933
0,06	0,524	0,80	0,788	1,52	0,936
0,08	0,532	0,82	0,794	1,54	0,938
0,10	0,540	0,84	0,800	1,56	0,941
0,12	0,548	0,86	0,805	1,58	0,943
0,14	0,556	0,88	0,810	1,60	0,945
0,16	0,564	0,90	0,816	1,62	0,947
0,18	0,571	0,92	0,821	1,64	0,950
0,20	0,579	0,94	0,826	1,66	0,952
0,22	0,587	0,96	0,832	1,68	0,954
0,24	0,595	0,98	0,837	1,70	0,955
0,26	0,603	1,00	0,841	1,72	0,957
0,28	0,610	1,02	0,846	1,74	0,959
0,30	0,618	1,04	0,851	1,76	0,961
0,32	0,626	1,06	0,855	1,78	0,963
0,34	0,633	1,08	0,860	1,80	0,964
0,36	0,641	1,10	0,864	1,82	0,966
0,38	0,648	1,12	0,869	1,84	0,967
0,40	0,655	1,14	0,873	1,86	0,969
0,42	0,663	1,16	0,877	1,88	0,970
0,44	0,670	1,18	0,881	1,90	0,971
0,46	0,677	1,20	0,885	1,92	0,973
0,48	0,684	1,22	0,889	1,94	0,974
0,50	0,692	1,24	0,893	1,96	0,975
0,52	0,699	1,26	0,896	1,98	0,976
0,54	0,705	1,28	0,900	2,00	0,977
0,56	0,712	1,30	0,903	2,10	0,982
0,58	0,718	1,32	0,907	2,20	0,986
0,60	0,726	1,34	0,910	2,30	0,989
0,62	0,732	1,36	0,913	2,40	0,992
0,64	0,739	1,38	0,916	2,50	0,994
0,66	0,745	1,40	0,919	2,60	0,995
0,68	0,752	1,42	0,922	2,70	0,997
0,70	0,758				

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ЦИКЛОНОВ

Таблица Г.1 – Соотношение размеров (в долях диаметра D)

Геометрический размер, в долях диаметра циклона	Тип циклона			
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24
Внутренний диаметр: выхлопной трубы, d	0,59			
пылевывпускного отверстия, d_1	0,30...0,40			
Ширина входного патрубка в циклоне, b	0,20			
Ширина входного патрубка на входе, b_1	0,26			
Длина входного патрубка, l	0,60			
Диаметр средней линии циклона, $D_{\text{ср}}$	0,80			
Высота фланца, $h_{\text{фл}}$	0,10			
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона, α , град	11	15		24
Высота входного патрубка, a	0,48	0,66		1,11
Высота выхлопной трубы, $h_{\text{т}}$	1,56	1,74	1,50	2,11
Высота цилиндрической части циклона, $H_{\text{ц}}$	2,06	2,26	1,51	2,11
Высота конуса циклона, $H_{\text{к}}$	2,00		1,50	1,75
Высота внешней части выхлопной трубы, $h_{\text{в}}$	0,30			0,40
Общая высота циклона, H	4,38	4,56	3,31	4,26

Таблица Г.2 – Геометрические размеры конических циклонов

Геометрический размер, в долях диаметра циклона	Тип циклона		
	СДК-ЦН-33	СДК-ЦН-34	СДК-ЦН-34М
Высота цилиндрической части, $H_{\text{ц}}$	0,535	0,515	0,40
Высота входного патрубка, a			
Высота заглубления выхлопной трубы, $h_{\text{т}}$			
Высота конической части, $H_{\text{к}}$	3,000	2,110	2,60
Внутренний диаметр: выхлопной трубы, d	0,334	0,340	0,22
пылевывпускного отверстия, d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка в циклоне, b	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы, h_3	0,2...0,3	0,2...0,3	0,30
Высота установки фланца, $h_{\text{фл}}$	0,1		
Высота входного патрубка, h_n	0,535	0,515	0,40
Длина входного патрубка, l	0,6		
Текущий радиус улитки, ρ	$\frac{D}{2} + \frac{b\varphi}{2\pi}$		$\frac{D}{2} + \frac{l\varphi}{\pi}$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)
СХЕМЫ ЦИКЛОНОВ

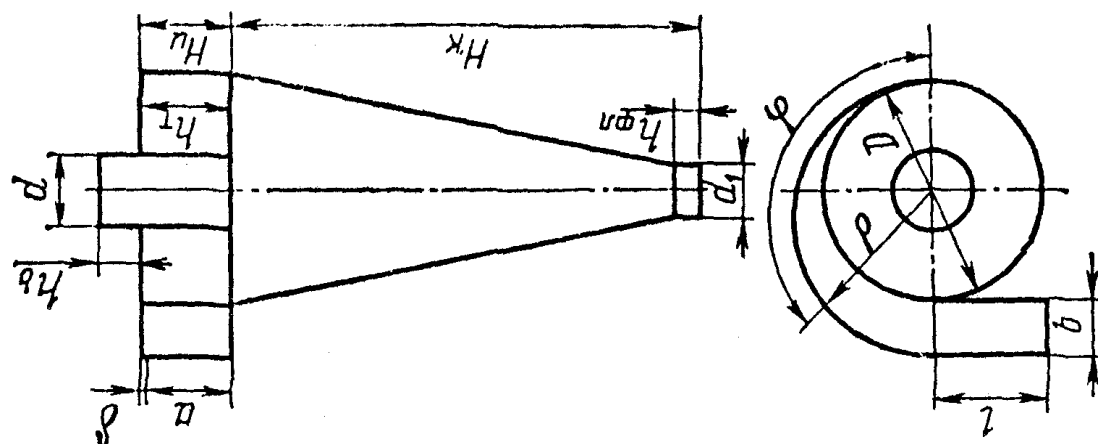


Рисунок Д.2 – Конический циклон

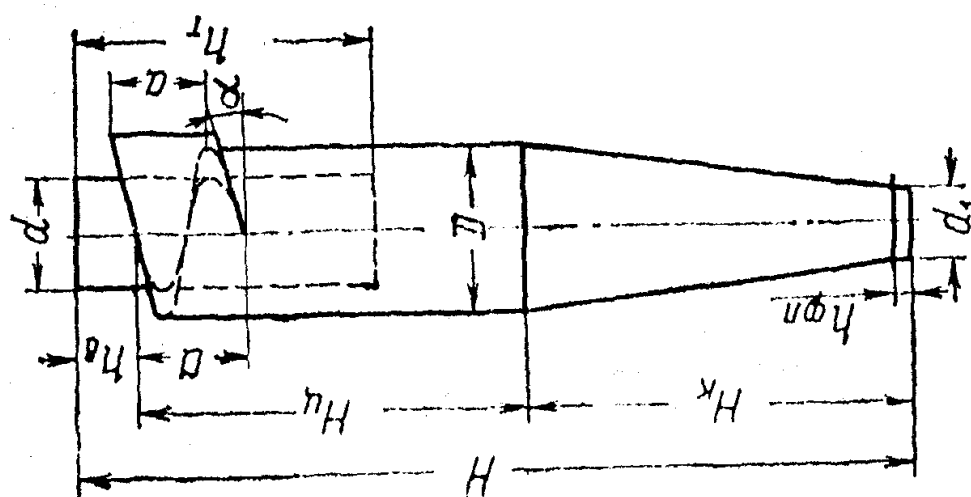


Рисунок Д.1 – Цилиндрический циклон

