

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный технический университет им.
Р.Е.Алексеева»

Кафедра "Производственная безопасность, экология и химия"

ВЫБОР И РАСЧЕТ СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Методические указания по выполнению практической работы
по дисциплине «Экология» для студентов всех направлений
и форм обучения

Нижегород
2014

УДК: 502.7:621.311.1

Составители: А.Б. Елькин, О.В.Маслеева

Выбор и расчет средств очистки газов: Методические указания по выполнению практической работы по дисциплине «Экология» /НГТУ; сост.: А.Б. Елькин, О.В. Маслеева. Н.Новгород, 2014, 11с.

В методических указаниях рассматривается способ очистки промышленных выбросов от пыли с помощью циклона. Дана методика расчета и выбора циклона, приведены исходные данные для расчета и выбора циклона при очистке выбросов от различного производственного оборудования.

Редактор Э.Б.Абросимова

Подписано в печать 2014. Формат
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. Печ.
Уч.-изд. Тираж 200 экз. Заказ

1. Цель работы

Изучить принцип работы циклона для сухой механической очистки выбросов от пыли.

Выбрать и рассчитать циклон для заданного источника образования пыли.

2. Краткие сведения из теории

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются транспорт, промышленные предприятия и тепловые электростанции. Ежегодно в воздух предприятиями черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов выбрасывается более 250 млн. т мелкодисперсной пыли. Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на человека, флору и фауну, различные сооружения и транспортные средства.

Для очистки промышленных выбросов от твердых взвешенных веществ (пыли) применяется сухая механическая очистка, мокрая механическая очистка, электрофильтрация и фильтрация. Механическая очистка выбросов используется для предварительной очистки отходящих газов, при этом пыль отделяется под действием гравитационных, инерционных или центробежных сил. Степень очистки выбросов определяется гранулометрическим составом пыли, размерами и плотностью частиц. Для сухой механической очистки используются пылеосадительные камеры, жалюзийные аппараты, циклоны и вихревые пылеуловители. Пылеосадительные камеры и жалюзийные аппараты применяются для грубой очистки выбросов и улавливают частицы размером более 50 мкм со степенью очистки до 80%, а циклоны и вихревые пылеуловители позволяют осуществлять среднюю очистку выбросов от частиц размерами 10-50 мкм со степенью очистки 80-90%.

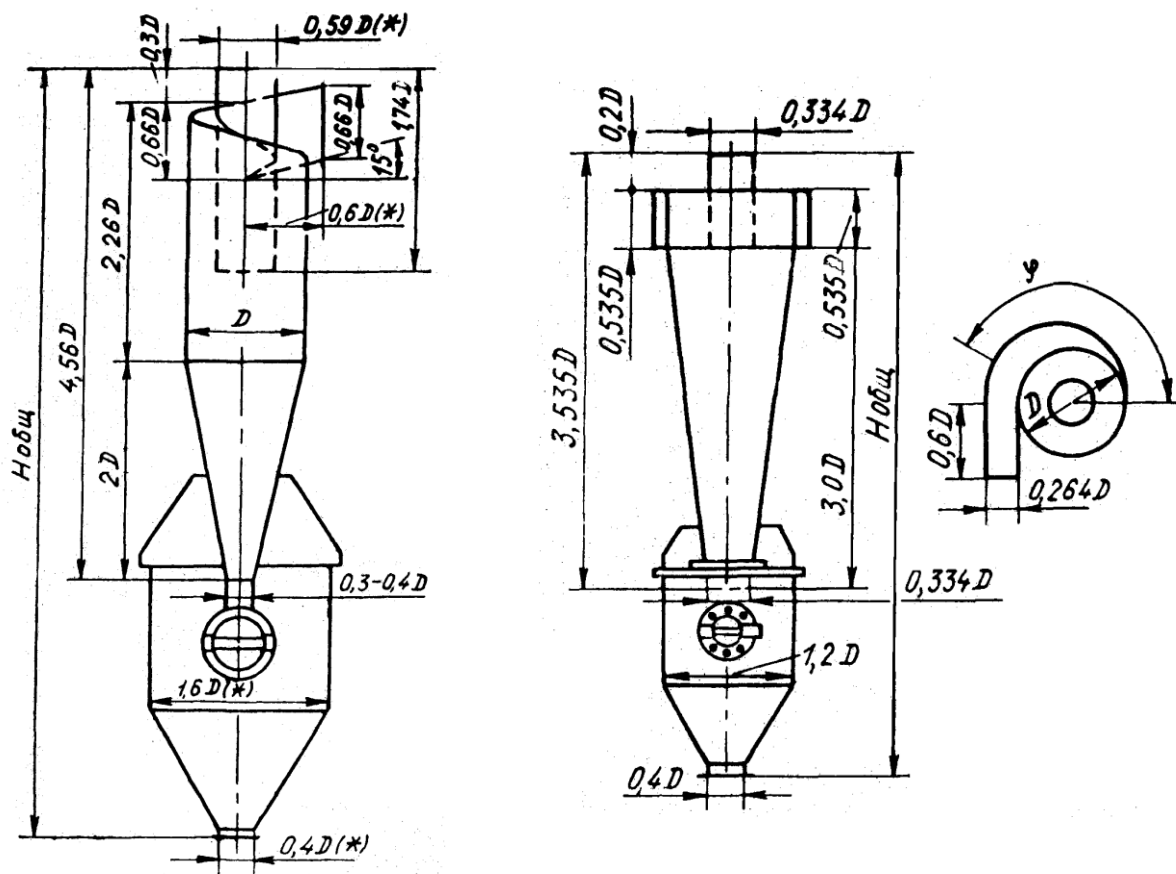
Широкое применение для сухой механической очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими 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, конструктивные схемы которых представлены на рис.1[1]. Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра аппарата.

Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. На частицы пыли действуют - сила тяжести, сила сопротивления среды и центробежная сила.

Центробежная сила направлена по радиусу к стенкам циклона и определяется по формуле:

$$F_{цб} = \frac{\pi d_{ч}^3}{6} \frac{W_{тр}^2}{R} (\rho_{ч} - \rho_{г})$$

где $d_{ч}$ - диаметр частиц, $W_{тр}$ - тангенциальная составляющая скорости газа, R - радиус циклона, $\rho_{ч}$ - плотность частиц пыли, $\rho_{г}$ - плотность газа.



а) цилиндрический

б) конический

Рис. 1 Схемы циклонов

Эффективность циклона выше, чем больше диаметр частиц пыли, её удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенках циклона пылевой слой, который постепенно опускается в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер происходит при повороте газового потока в бункере на 180 градусов. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит через выходную трубу. Циклоны не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

Циклоны НИИОГаз подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК ЦН-33, СК ЦН 34, ЦН-1 1 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1 м они обеспечивают степень очистки 85-95% при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15 занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности. В таблице 1 приведены характеристики, определяющие эффективность применяемых циклонов.

При выборе и расчете циклона необходимо учитывать свойства пыли - абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа следует выбирать циклоны, исходя из наименьших значений скорости газа. При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (менее 0,8 м), которые склонны к залипанию. Так для очистки газов от сажи применяются конические циклоны серии СК, которые обладают высокой эффективностью за счет более высокого гидравлического сопротивления.

2. Расчет циклона

Для расчета циклона необходимы следующие исходные данные:

- количество очищаемого газа при рабочих условиях Q , м³/с;
- плотность газа при рабочих условиях ρ , кг/м³;
- динамическая вязкость газа при рабочей температуре μ , Па·с;
- дисперсный состав пыли, задаваемый двумя параметрами d_m , мкм - медианный
- размер частиц пыли, и $\lg \delta_q$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли;
- запыленность газа $C_{вх}$, г/м³;
- плотность частиц ρ_q , кг/м³;
- требуемая эффективность очистки газа η .

Расчет циклона проводится методом последовательных приближений в следующем порядке.

Задавшись типом циклона, по таблице 1 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $\omega_{оп}$, м/с.

Диаметр частиц пыли должен быть ориентировочно $d_m > 2d_{50}^T$.

d_m - медианный размер частиц, который представляет такой размер, при

котором количество частиц крупнее d_m , равно количеству частиц мельче d_m .

Диаметр циклона вычисляется по формуле :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega_{оп}}} \quad (1)$$

где Q - количество очищаемого газа, m^3/c ; $\omega_{оп}$ - скорость движения газа в циклоне, m/c .

Таблица 1 - Параметры, определяющие эффективность циклонов

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

d_{50}^r - диаметр частиц осаждаемых с эффективностью 50%, μm ;

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

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона $D_{ц}$ (табл.2).

Таблица 2 - Типовые значения внутреннего диаметра циклона

$D_{ц}$, м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

$$\omega_p = \frac{4Q}{\pi D_{ц}^2} \quad (2)$$

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

$$100 \left| \frac{\omega_p - \omega_{оп}}{\omega_{оп}} \right| \leq 15\% .$$

При отклонении более чем 15% выбирают другой тип циклона.

Диаметр частиц реально осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях d_{50} определяется по формуле:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{ц} \times \rho_{чг} \times \mu}{D_T \times \rho_{ч} \times \mu_T} \times \frac{\omega_{оп}}{\omega_p}} . \quad (3)$$

При этом значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона:

$$\omega_{оп} = 3,5 \text{ М/с}$$

$$D_T = 0,6 \text{ м}$$

$$\rho_{чг} = 1930 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

С учетом этих значений формула (3) принимает вид :

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{ц} \times 1930}{0,6 \times \rho_{ч}} \times \frac{\mu}{22,2 \cdot 10^{-6}} \times \frac{3,5}{\omega_p}} , \quad (4)$$

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

Расчет параметра X ведут по формуле:

$$X = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_{\eta}^T + \lg^2 \delta_{\chi}}}, \quad (5)$$

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

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

Эффективность очистки газа в циклоне (η) определяются :

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}, \quad (6)$$

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

Определение концентрации пыли на выходе из циклона :

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} (1 - \eta), \quad (7)$$

Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона :

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{500}, \quad (8)$$

где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 3),

K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 4),

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

Таблица 3 - Поправочный коэффициент K_1 [3]

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

Таблица 4 - Поправочный коэффициент K_2 [3]

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

Таблица 5 - Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_{500} [2]

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

Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_p^2}{2},$$

где ρ - плотность газа, $кг/м^3$

ω_p - скорость газа в циклоне, $м/с$.

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

$$N = \frac{K_3 \Delta P Q}{\eta_m \eta_b}, \quad (9)$$

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

η_m - КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору ($\eta_m = 0,8$).

η_b - КПД вентилятора ($\eta_b = 0,8$).

3. Задание к работе

По заданному преподавателем варианту подобрать циклон для заданного источника выделения пыли. Расчетным путем определить размеры циклона, степень очистки газа, концентрацию пыли на выходе из аппарата и его гидравлическое сопротивление.

4. Пример расчета циклона

Исходные данные :

оборудование - вращающаяся цементная печь,

$$Q = 12 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\rho = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$d_m = 18 \text{ мкм}$$

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

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

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

Циклон: ЦН - 24

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

Определяем диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{3,14 \cdot 4,5}} = 1,84 \text{ м}$$

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

$$\omega_p = \frac{4 \cdot 12}{3,14 \cdot 1,8^2} = 4,72 \text{ м}/\text{с}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$N = \frac{1,2 \times 1002 \times 12}{0,8 \times 0,8} = 22545 \text{ Вт}$$

$$C_{\text{ВЫХ}} = 20(1 - 0,82) = 3,6 \text{ г/м}^3$$

Выводы :

ЦИКЛОН ЦН - 24 ;

$D_{\text{Ц}} = 1,8 \text{ м}$;

$\eta = 0,82$;

$N = 22545 \text{ Вт}$;

$C_{\text{ВЫХ}} = 3,6 \text{ г/м}^3$

5. Варианты заданий

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

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

ρ - плотность газа при рабочих условиях, кг/м^3 ;

μ - вязкость газа при рабочей температуре, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

d_m - медианный размер частиц пыли, мкм ;

$\lg \delta_{\text{ч}}$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли;

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

$\rho_{\text{ч}}$ - плотность частиц пыли, кг/м^3 ;

η - требуемая степень очистки газа.

6. Рекомендуемая литература

1. Очистка и рекуперация промышленных выбросов: Учебное пособие для вузов / В. Максимов, И.В. Вольф, Л.Н. Григорьев и др. - М.: Лесная промышленность, 1981, 640 с.
2. Охрана окружающей среды: Учебник для технических вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, АЛ. Зозьяков и др.- М.: Высшая школа, 1991, 319 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И.Мягков и др: Под ред. А.А. Русанова. - М.: Энергоатомиздат, 1983, 312 с.

Таблица 6. Исходные данные для расчета циклона

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

