

**Министерство образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Тульский государственный университет**

Кафедра «Санитарно-технические системы»

Методические указания

на курсовую работу
по дисциплине
«Охрана воздушного бассейна»

Направление подготовки: 08.03.01 – «Строительство»
профиль: «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Формы обучения – заочная

Методические указания составлены Ковалевым Р.А. и обсуждены на заседании кафедры СТС.

протокол № 1 от « 30 » 08 2019г.

Зав. кафедрой _____ Р.А.Ковалев

ЗАДАНИЕ:

Рассчитать циклон, определив диаметр элемента и их количество в группе при использовании нескольких циклонов, эффективность его работы исходя из задания и исходных данных, приведенных в таблице №8. Приложить к пояснительной записке на формате А3 чертежи циклона и (или) группы с приведением основных размеров. Сделать вывод о соответствии с заданным значением коэффициента очистки и при необходимости дать предложения о приведении в соответствии с требуемым уровнем очистки от загрязнения твердыми частицами (производственной пылью).

*Для консультации возможно использовать интернет ресурс:
<http://www.stroipostaffka.ru/tsiklony/tsiklon-siot-m1/>*

Инерционные пылеуловители сухого типа

Сепарация пылевых частиц в циклоне осуществляется на основе использования центробежной силы. Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов во всех отраслях народного хозяйства. Можно утверждать, что циклоны являются наиболее распространенным видом пылеулавливающего оборудования. Их широкое распространение в значительной мере объясняется тем, что они имеют многие преимущества — простота устройства, надежность в эксплуатации при сравнительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах. Надежность циклонов обусловлена, в частности, тем, что в их конструкции нет сложного механического оборудования.

Капитальные и эксплуатационные затраты на пылеулавливающие установки, оборудованные циклонами, значительно меньше соответствующих расходов для установок с рукавными фильтрами, а тем более электрофильтрами. Циклоны делятся на циклоны большой производительности и циклоны высокой эффективности. Первые имеют обычно большой диаметр и обеспечивают очистку значительных количеств воздуха. Вторые — сравнительно небольшого диаметра (до 500—600 мм). Очень часто применяют групповую установку этих циклонов, соединенных параллельно по воздуху.

Циклоны, как правило, используют для грубой и средней очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли. Принято считать, что они обладают сравнительно небольшой фракционной эффективностью в области фракций пыли размером до 5—10 мкм, что является основным их недостатком. Однако циклоны, особенно циклоны высокой эффективности, улавливают не такую уж малую часть пыли размером до 10 мкм — до 80 и более процентов. Но фракционная, да и общая эффективность даже самых совершенных циклонов часто оказывается недостаточной.

В современных высокоэффективных циклонах, в конструкции которых учтены особенности улавливаемой пыли, удалось существенно повысить общую и фракционную эффективность очистки. Отмеченный выше недоста-

ток обусловлен особенностями работы циклонов, в частности, турбулизацией потока запыленного воздуха, которая препятствует сепарации пыли.

Расчет циклонов.

Расчеты могут показать, что при заданных условиях невозможно обеспечить требуемое значение коэффициента очистки газов или для этого необходимы чрезмерные потери давления. В последнем случае только экономический расчет различных схем пылеулавливания может определить оптимальные аппараты.

Расчет циклонов проводится методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задавшись типом циклона, по табл. 2 или 3 определяют оптимальную скорость газа в аппарат $\omega_{\text{опт}}$.

2. Определяют необходимую площадь сечения циклонов, м^2 :

$$F = Q_p / \omega_{\text{опт}} \quad (1)$$

3. Определяют диаметр циклона, задаваясь количеством циклонов N :

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785N}}. \quad (2)$$

Диаметр циклона округляют до величины, рекомендуемой табл. 1.

Таблица 1.

Рекомендации по компоновке циклонов ЦН в группы

Диаметр циклона, мм	Количество циклонов в группе, шт						
	Группы прямоугольной компоновки				Группы круглой компоновки		
	2	4	6	8	10	12	14
200	П	П	П	П	-	-	-
300	О	О	О	О	-	-	-
400	П	П	П	П	-	-	-
500	О	О	О	О	-	-	-
600	П	П	П	П	П	П	П
700	О	О	О	О			
800	П	П	П	П	П	П	П
900	П	П	П	П			
1000	П	П	П	П	П	П	П
1200	П	П	-	-	-	-	-
1400	П	П	-	-	-	-	-

Примечание: П – группы, рекомендуемые для преимущественного применения; О – группы ограниченного применения (по возможности не применять).

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне, м/с:

$$\omega = Q_p / 0,785ND^2. \quad (3)$$

Скорость газа в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15%.

5. Принимают по табл. 3 или 4 коэффициент гидравлического сопротивления, соответствующий заданному типу циклона. Для циклонов НИИО-Газ (одиночных или групп) вводят уточняющие поправки по формуле

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{ц500}^{c.n.} + K_3, \quad (4)$$

где $\zeta_{ц500}^{c.n.}$ — коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм, принимаемый по табл. 4. Индекс «с» означает, что циклон работает в гидравлической сети, а «п» — без сети, т. е. прямо на выхлоп в атмосферу; K_1 — поправочный коэффициент на диаметр циклона, определяемый по табл. 5; K_2 — поправочный коэффициент на запыленность газа, определяемый по табл. 6; K_3 — коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу, определяемый по табл. 7.

Для одиночных циклонов $K_3 = 0$. Для одиночных циклонов других конструкций (табл. 3) поправки не разработаны.

Таблица 2

Параметры, определяющие эффективность циклонов НИИОГАЗ

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

Таблица 3.

Параметры, определяющие эффективность циклонов конструкции ВЦНИИОТ и Гипродревпром

Параметры	Марка циклона			
	СИОТ	ВЦНИИОТ	Ц	Клайпеда
d_{50}^T , мкм	2,6	8,6	4,12	3,1
$\lg \sigma_\eta^T$	0,28	0,32	0,34	0,25
$\omega_{опт}$, м/с	1,00	4,00	3,3	1,1
ζ	1400	75	210	1300

Примечания: Значения d_{50}^T , приведенные в таблице, соответствуют следующим условиям работы циклонов: средняя скорость газа в циклоне $\omega_T = 3$ м/с; диаметр циклона $D_T = 0,6$ м; плотность частиц $\rho_{ч.T} = 1930$ кг/м³; динамическая вязкость газа $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Таблица 4.

**Значения коэффициентов сопротивления циклонов
(D=500 мм, $\omega_T = 3$ м/с)**

Марка циклона	d/D	Без дополнительных устройств		С вы- ходной улиткой $\zeta_{у500}^c$	С отводом 90° R/d=1,5	
		$\zeta_{у500}^c$	$\zeta_{у500}^n$		$l/d = 0 \div 12, \zeta_{у500}^c$	$l/d > 12, \zeta_{у500}^c$
ЦН-11	0,59	245	250	235	245	250
ЦН-15	□	155	163	150	155	160
ЦН-15У	□	165	170	158	165	170
ЦН-24	□	75	80	73	15	80
СКД-ЦН-33	0,33	520	600	500	□	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	□	□	□
СК-ЦН-34М	0,22	□	2800	□	□	□

Таблица 5.

**Поправочный коэффициент K_1
на влияние диаметра циклона**

D, мм	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15 ЦН-15У ЦН-24	СКД-ЦН-33 СК-ЦН-34 СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Таблица 6.

**Значения поправочных коэффициентов
 K_2 на запыленность (D=500 мм)**

Марка циклона	Запыленность 10^3 кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СКД-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	□	□	□

Таблица 7.

Значения поправочных коэффициентов K_3 для групп циклонов ЦН

Характеристика группового циклона	K_3
Круговая компоновка, нижний организованный подвод	60
Прямоугольная компоновка, циклонные элементы расположены в одной плоскости. Отвод из общей камеры чистого газа	35
То же, но улиточный отвод из циклонных элементов	28
Прямоугольная компоновка. Свободный подвод в общую камеру	60

6. Определяют потери давления в циклоне

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (5)$$

Если потери давления Δp оказались приемлемыми, переходят к расчету полного коэффициента очистки газа в циклоне. При этом принимается, что коэффициент очистки газов в одиночном циклоне и в группе циклонов одинаков. В действительности коэффициент очистки газов в группе циклонов

может оказаться несколько ниже, чем в одиночном циклоне. Это объясняется возможностью возникновения перетоков газа через общий бункер, снижающих коэффициент очистки газов в группе циклонов.

7. Приняв по табл. 2 или 3 два параметра (d_{50}^T и $\lg \sigma_\eta^T$), характеризующих эффективность выбранного типа циклона, определяют значение параметра d_{50}^T при рабочих условиях (диаметр циклона, скорость потока, плотность пыли, динамическая вязкость газа) по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D/D_T) \rho_{q,T} / \rho_q (\mu/\mu_T) \omega_T / \omega}. \quad (6)$$

8. Определяют параметр x по формуле

$$x = \frac{\lg d_m / d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_q}}. \quad (7)$$

9. Определяют по табл. 10 значение $\Phi(x)$, представляющее собой полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

По окончании расчета полученное значение η сопоставляется с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, необходимо выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления.

Для ориентировочных расчетов необходимого значения ζ_u рекомендуется следующая зависимость:

$$\zeta_{u_2} = \zeta_{u_1} \left(\frac{100 - \eta_p}{100 - \eta} \right)^2 \frac{\omega_1 D_2}{\omega_2 D_1}, \quad (8)$$

где индекс 1 относится к расчетным, а индекс 2 — к требуемым значениям параметров циклона.

Таблица 8.

Исходные данные для расчетов

№ вар- та	Марка циклона	Q , м ³ /ч	$t_{yx.z.}$, °C	Треб-е значение η	$\rho_{ч.}$, кг/м ³	№ вар-та	Марка циклона	Q , м ³ /ч	$t_{yx.z.}$, °C	Треб-е значение η	$\rho_{ч.}$, кг/м ³
1	ЦН-11	1000	20	50	1800	16	ВЦНИИОТ	5500	20	65	1900
2	ЦН-15	2000	50	65	1850	17	Ц	3670	50	75	1950
3	ЦН-15У	3000	40	75	1900	18	ВЦНИИОТ	5560	40	80	2030
4	ЦН-24	4500	150	90	1950	19	ЦН-11	7780	150	55	2070
5	СКД-ЦН-33	6700	200	85	2030	20	ЦН-15	2235	200	60	2010
6	СИОТ	3500	70	55	2070	21	ЦН-15У	12547	70	50	1800
7	ВЦНИИОТ	5000	80	60	2010	22	ЦН-24	1000	80	90	1850
8	Ц	500	25	50	2150	23	СКД-ЦН-33	2000	25	85	1975
9	Клайпеда	11000	125	65	2200	24	СИОТ	3000	125	55	1870
10	ЦН-11	5500	75	75	1795	25	ВЦНИИОТ	4500	75	60	1650
11	ЦН-15	3670	91	90	2250	26	Ц	6700	91	50	1790
12	ЦН-15У	5560	65	85	1650	27	Клайпеда	3500	65	50	2250
13	ЦН-24	7780	78	55	1790	28	ЦН-11	5000	78	65	1650
14	СКД-ЦН-33	2235	178	60	1870	29	ЦН-15	500	178	75	2200
15	СИОТ	12547	140	50	1975	30	ЦН-15У	11000	140	90	1795

№ вар- та	lg d _m	lg $\sigma_{ч}$
1.	18,5	0,851
2.	21,4	0,921
3.	19,2	0,706
4.	19,5	0,851
5.	20,4	0,921
6.	19,8	0,706
7.	18,9	0,834
8.	20,4	0,821
9.	19,9	0,790
10.	17,5	0,751
11.	20,4	0,991
12.	21,2	0,806
13.	22,5	0,951
14.	21,4	0,941
15.	19,2	0,746
16.	19,5	0,871
17.	21,4	0,921
18.	19,2	0,786
19.	18,5	0,851
20.	21,4	0,981
21.	21,2	0,786
22.	19,5	0,881
23.	21,4	0,921
24.	22,2	0,886

Таблица 9.

Значения нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,00	0,1587	0,12	0,5478	1,26	0,8962
-2,60	0,0047	-0,98	0,1635	0,14	0,5557	1,28	0,8997
-2,50	0,0062	-0,96	0,1685	0,16	0,5636	1,30	0,9032
-2,40	0,0082	-0,94	0,1736	0,18	0,5714	1,32	0,9066
-2,30	0,0107	-0,92	0,1788	0,20	0,5793	1,34	0,9099
-2,20	0,0139	-0,90	0,1841	0,22	0,5871	1,36	0,9131
-2,10	0,0179	-0,88	0,1894	0,24	0,5948	1,38	0,9162
-2,00	0,0228	-0,86	0,1949	0,26	0,6026	1,40	0,9192
-1,98	0,0239	-0,84	0,2005	0,28	0,6103	1,42	0,9222
-1,96	0,0250	-0,82	0,2061	0,30	0,6179	1,44	0,9251
-1,94	0,0262	-0,80	0,2119	0,32	0,6255	1,46	0,9279
-1,92	0,0274	-0,78	0,2177	0,34	0,6331	1,48	0,9306
-1,90	0,0288	-0,76	0,2236	0,36	0,6406	1,50	0,9332
-1,88	0,0301	-0,74	0,2297	0,38	0,6480	1,52	0,9357
-1,86	0,0314	-0,72	0,2358	0,40	0,6554	1,54	0,9382
-1,84	0,0329	-0,70	0,2420	0,42	0,6628	1,56	0,9406
-1,82	0,0344	-0,68	0,2483	0,44	0,6700	1,58	0,9429
-1,80	0,0359	-0,66	0,2546	0,46	0,6772	1,60	0,9452
-1,78	0,0375	-0,64	0,2611	0,48	0,6844	1,62	0,9474
-1,76	0,0392	-0,62	0,2676	0,50	0,6915	1,64	0,9495
-1,74	0,0409	-0,60	0,2743	0,52	0,6985	1,66	0,9515
-1,72	0,0427	-0,58	0,2810	0,54	0,7054	1,68	0,9535
-1,70	0,0446	-0,56	0,2877	0,56	0,7123	1,70	0,9554
-1,68	0,0465	-0,54	0,2946	0,58	0,7190	1,72	0,9573
-1,66	0,0485	-0,52	0,3015	0,60	0,7257	1,74	0,9591
-1,64	0,0505	-0,50	0,3085	0,62	0,7324	1,76	0,9608
-1,62	0,0526	-0,48	0,3156	0,64	0,7389	1,78	0,9625
-1,60	0,0548	-0,46	0,3228	0,66	0,7454	1,80	0,9641
-1,58	0,0571	-0,44	0,3300	0,68	0,7517	1,82	0,9656
-1,56	0,0594	-0,42	0,3372	0,70	0,7580	1,84	0,9671
-1,54	0,0618	-0,40	0,3446	0,72	0,7642	1,86	0,9686
-1,52	0,0643	-0,38	0,3520	0,74	0,7703	1,88	0,9699
-1,50	0,0668	-0,36	0,3594	0,76	0,7764	1,90	0,9713
-1,48	0,0694	-0,34	0,3669	0,78	0,7823	1,92	0,9726
-1,46	0,0721	-0,32	0,3745	0,80	0,7881	1,94	0,9738
-1,44	0,0749	-0,30	0,3821	0,82	0,7939	1,96	0,9750
-1,42	0,0778	-0,28	0,3897	0,84	0,7995	1,98	0,9761
-1,40	0,0808	-0,26	0,3974	0,86	0,8051	2,00	0,9772
-1,38	0,0838	-0,24	0,4052	0,88	0,8106	2,10	0,9821
-1,36	0,0869	-0,22	0,4129	0,90	0,8159	2,20	0,9861
-1,34	0,0901	-0,20	0,4207	0,92	0,8212	2,30	0,9893
-1,32	0,0934	-0,18	0,4286	0,94	0,8264	2,40	0,9918
-1,30	0,0968	-0,16	0,4364	0,96	0,8315	2,50	0,9938
-1,28	0,1003	-0,14	0,4443	0,98	0,8365	2,60	0,9953
-1,26	0,1038	-0,12	0,4522	1,00	0,8413	2,70	0,9965
-1,24	0,1075	-0,10	0,4602	1,02	0,8461		
-1,22	0,1112	-0,08	0,4681	1,04	0,8508		
-1,20	0,1151	-0,06	0,4761	1,06	0,8554		
-1,18	0,1190	-0,04	0,4840	1,08	0,8599		
-1,16	0,1230	-0,02	0,4920	1,10	0,8643		
-1,14	0,1271	-0,00	0,5000	1,12	0,8686		
-1,12	0,1314	0,00	0,5000	1,14	0,8729		
-1,10	0,1357	0,02	0,5080	1,16	0,8770		
-1,08	0,1401	0,04	0,5160	1,18	0,8810		
-1,06	0,1446	0,06	0,5239	1,20	0,8849		
-1,04	0,1492	0,08	0,5319	1,22	0,8888		
-1,02	0,1539	0,10	0,5398	1,24	0,8925		

Таблица 10.

Основные физические свойства газов

Газ	Плотность (при 0 °С и 0,101 МПа) ρ , кг/м ³	Молекуляр- ная масса M , кг/кмоль	Газовая постоянная R , Дж/(кг·К)	Удельная теплоемкость при 20°С и 0,101 МПа, кДж/(кг·К)		Вязкость при 0 °С и 0,101 МПа	
				c_p	c_D	$\mu \cdot 10^8$ Па·с	Константа C
Азот	1,2507	28,02	297	1,04	0,745	17	114
Аммиак	1,771	17,03	488	2,24	1,67	9,18	626
Аргон	1,782	39,94	209	0,53	0,32	20,9	142
Ацетилен	1,171	26,04	320	1,68	1,35	9,35	198
Бензол	—	78,11	106	1,25	1,14	7,2	—
Бутан	2,673	58,12	143	1,91	1,73	8,1	377
Воздух	1,293	28,95	288	1,01	0,72	17,3	124
Водород	0,089	2,016	4130	1,42	1,01	8,42	73
Водяной пар	0,804	18,02	430	2,01	—	10,0	961
Гелий	0,1785	4,00	2080	5,27	3,18	18,8	78
Двуокись азота	—	46,01	180	0,802	0,614	—	—
Двуокись серы	2,927	64,07	130	0,631	0,501	11,7	396
Двуокись углерода	1,976	44,01	189	0,836	0,651	13,7	254
Кислород	1,4289	32	260	0,911	0,651	20,3	131
Метан	0,717	16,04	519	2,22	1,67	10,3	162
Окись углерода	1,250	28,01	297	1,05	0,753	16,6	100
н-Пентан	—	72,15	115	1,715	1,57	8,74	—
Пропан	2,020	44,1	189	1,86	1,65	—	278
Пропилен	1,914	42,8	198	1,63	1,432	—	322
Сероводород	1,539	34,08	244	1,06	0,801	11,66	—
Хлор	3,217	70,91	177	0,482	0,36	—	351
Хлористый метил	2,308	50,49	165	0,74	0,582	9,89	454
Этан	1,357	30,07	283	1,73	1,44	8,5	287
Этилен	1,261	28,05	296	1,53	1,22	9,85	241