

Задание

- 1) Рассчитать и спроектировать скруббер Вентури, базируясь на типоразмерные ряды труб Вентури типа ГВПВ и циклонов-каплеулавителей типа КЦТ;
- 2) Рассчитать и спроектировать гидрозатвор для отвода жидкости из пылеулавителя.
- 3) Скруббер Вентури предназначен для очистки дымовых газов до заданной эффективности и орошается водой из оборотной системы водоснабжения, температура которой соответствует точке росы газов на входе в аппарат.

Параметры дымовых газов, оборотной воды и улавливаемой пыли

Состав газов, % объемн.:

$N_2 - 60$

$CO_2 - 10$

$O_2 - 3$

$H_2O - 27$

Объемный расход газов при нормальных условиях $V, \text{нм}^3/\text{ч}$

Температура газов на входе в аппарат $t, ^\circ\text{C}$

Избыточное давление (разрежение) газов перед трубой Вентури $P, \text{Па}$

Давление оборотной воды $P_{\text{с}}, \text{МПа}$

Удельное орошение $m, \text{л}/\text{м}^3$

Медианный диаметр частиц пыли $d_m, \text{мкм}$

Среднеквадратичное отклонение размеров частиц пыли $lg\sigma_{\text{с}}$

Плотность пыли $\rho_{\text{с}}, \text{кг}/\text{м}^3$

Требуемая эффективность пылеулавливания $\eta, \%$

Таблица 1 – Варианты заданий (выбираются по списку в журнале)

№ вар	Объемный расход газов при нормальных условиях, $V, \text{нм}^3/\text{ч}$	Температура газов на входе в аппарат, $t^\circ\text{C}$	Избыточное давление (разрежение) газов перед трубой Вентури $P, \text{Па}$	Давление оборотной воды $P_{\text{в}}, \text{МПа}$	Удельное орошение, $m, \text{л}/\text{м}^3$	Медианный диаметр частиц пыли $d_m, \text{мкм}$	Средне-квадратичное отклонение размеров частиц пыли $lg\sigma_{\text{ч}}$	Плотность пыли $\rho_{\text{ч}}, \text{кг}/\text{м}^3$	Эффективность пылеулавливания, $\eta, \%$
1	10000	110	-100	0,4	0,55	5	0,2	2500	97
2	12000	120	-120	0,45	0,60	10	0,25	2700	98
3	14000	130	-140	0,5	0,65	15	0,3	2900	99
4	16000	140	-160	0,4	0,7	20	0,2	3100	97
5	18000	150	-180	0,45	0,75	25	0,25	3300	98
6	20000	160	-200	0,5	0,8	5	0,3	3500	99
7	8000	170	-110	0,3	0,5	10	0,35	2600	97
8	9000	180	-130	0,35	0,55	15	0,4	2800	98
9	10000	190	-150	0,4	0,6	20	0,5	3000	99
10	11000	200	-170	0,45	0,65	25	0,2	3200	97
11	12000	150	-190	0,5	0,7	5	0,25	3400	98
12	13000	160	-200	0,55	0,75	10	0,3	2500	99
13	14000	170	-150	0,6	0,8	15	0,35	2600	97
14	15000	180	-160	0,3	0,85	20	0,4	2700	98
15	16000	110	-170	0,35	0,9	25	0,45	2800	99
16	17000	120	-180	0,4	0,5	5	0,5	2900	97
17	18000	130	-190	0,45	0,6	10	0,2	3000	98
18	19000	140	-200	0,5	0,7	15	0,3	3100	99
19	20000	150	-210	0,55	0,8	20	0,4	3200	98
20	21000	160	-220	0,6	0,9	25	0,5	3300	99
21	22000	120	-230	0,4	0,5	10	0,2	3100	97
22	23000	130	-240	0,5	0,6	15	0,3	3200	98
23	24000	140	-250	0,6	0,7	20	0,4	3300	99
24	25000	150	-200	0,4	0,8	25	0,5	3400	97
25	26000	160	-210	0,5	0,9	30	0,6	3500	98

Порядок расчета

- 1) Определение размера частицы, который в данном аппарате с данными параметрами будет улавливаться с эффективностью 50%, d_{50}

По табл. вероятности распределения частиц пыли для требуемой эффективности пылеулавливания η определяется параметр x .

Для скрубберов Вентури $\lg \sigma_\eta = 0,29$.

По формуле (1) для расчета параметра x определяем искомую величину:

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\varphi}} \quad (1)$$

Затем зная величину d_{50} , определяем энергетические затраты K_φ , кДж/1000 м³ газов:

$$d_{50} = 5945 \cdot K_\varphi^{-0,645} \cdot \rho_\varphi^{-0,5} \quad (2)$$

- 2) Определение влагосодержания газов

В составе запыленного газа находится 27% об. H_2O , следовательно, зная расход газа при нормальных условиях, определяем расход влаги при нормальных условиях:

$$V_{H_2O}^{н.у.} = 0,27 \cdot V_{г.}^{н.у.} \quad (3)$$

Из объемного расхода влаги при нормальных условиях найдем массовый расход влаги при нормальных условиях, г/ч:

$$m_{H_2O}^{н.у.} = \rho_{H_2O}^{н.у.} \cdot V_{H_2O}^{н.у.} \quad (4)$$

Найдем влагосодержание влажного газа при нормальных условиях, г/м³:

$$x = \frac{m_{H_2O}^{н.у.}}{V_{г.}^{н.у.}} \quad (5)$$

По табл. влагосодержания газов отыщем температуру точки росы газа на выходе из трубы Вентури для рассчитанного значения x .

- 3) Определение плотности газов при температуре точки росы

Найдем плотность газов при нормальных условиях:

$$\rho_0 = a_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + a_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} + a_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + a_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$$

Затем приведем плотность газов к реальным условиям, которые соответствуют температуре точки росы и заданному разрежению перед трубой Вентури:

$$\rho''_{z.} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{\text{бар}} + P)}{(273 + t''_{z.}) \cdot 101325} \quad (6)$$

4) Определение объемного расхода газа на выходе

Найдем массу газов:

$$m_{z.} = V'_{z.0} \cdot \rho_0$$

Поскольку масса газов в процессе очистки не меняется, то

$$V''_{z.} = \frac{m_{z.}}{\rho''_{z.}}$$

Приведем объемный расход газов на выходе к нормальным условиям, нм³/ч:

$$V''_{z.0} = \frac{0,0027 \cdot V''_{z.} \cdot (P_{\text{бар}} + P)}{(273 + t''_{z.})} \quad (7)$$

5) Определение гидравлического сопротивления трубы Вентури, Па

$$K_q = \Delta p_p + P_g \cdot m$$

$$\Delta p_p = K_q - P_g \cdot m$$

6) Определение скорости газов в горловине

Гидравлическое сопротивление скрубберов Вентури складывается из гидравлических сопротивлений трубы Вентури и каплеуловителя. Гидравлическое сопротивление трубы Вентури при подаче в нее орошающей жидкости:

$$\Delta p_p = \Delta p_{z.} + \Delta p_{ж.}, \quad (8)$$

где $\Delta p_{z.}$ – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное движением газов без подачи орошения;

$\Delta p_{ж.}$ – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное вводом орошающей жидкости.

Гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури определяется по формуле

$$\Delta p_{z.} = \zeta_{\text{сх.}} \cdot \frac{v_{z.}^2 \cdot \rho''_{z.}}{2}, \quad (9)$$

где $\zeta_{\text{сyx}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури; $v_{\text{г}}$ – скорость газов в горловине при условиях по температуре и давлению на выходе из трубы Вентури;

$\rho''_{\text{г}}$ – плотность газов при тех же условиях.

Для трубы Вентури с круглой и прямоугольной горловиной длиной $0,15 \cdot d_{\text{г}}$ принимают $\zeta_{\text{сyx}} = 0,12 \div 0,15$.

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное вводом орошающей жидкости, рассчитывается по формуле

$$\Delta p_{\text{ж.}} = \zeta_{\text{ж.}} \cdot \frac{v_{\text{г.}}^2 \cdot \rho_{\text{ж.}}}{2} \cdot m, \quad (10)$$

где $\zeta_{\text{ж.}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий ввод в трубу Вентури орошающей жидкости; m – удельный расход орошающей жидкости; $\rho_{\text{ж.}}$ – плотность орошающей жидкости.

Коэффициент $\zeta_{\text{ж.}}$ определяется из выражения:

$$\zeta_{\text{ж.}} = 0,63 \cdot \zeta_{\text{сyx}} \cdot m^{-0,3} \quad (11)$$

Подставляя все известные величины в формулу для определения гидравлического сопротивления скруббера Вентури, решим уравнение относительно скорости газов в горловине.

7) Определение диаметра горловины трубы Вентури, м.

$$V''_{\text{г.}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{горл.}}^2}{4} \cdot v_{\text{г.}} \quad (12)$$

8) Выбор трубы Вентури из типоразмерного ряда

По диаметру горловины $d_{\text{горл.}}$ и расходу орошающей жидкости $V_{\text{ж.}}$ выбираем трубу Вентури ГВПВ (таблица 2) (газопромыватель Вентури, прямоточный, высоконапорный).

Труба Вентури (круглого сечения) включает в себя: диффузор, горловину, конфузор и штуцера подвода орошающей жидкости с цельнофакельными форсунками, устанавливаемые над конфузором под углом к оси трубы, равным 60° . Предназначена для очистки газов с температурой до 400°C и начальной

концентрацией пыли до 30 г/м^3 , содержание взвеси в оборотной воде, подаваемой на орошение, не должно превышать 500 мг/л .

9) Расчет каплеуловителя

Скорость газа в свободном сечении аппарата принимают в интервале $3,5 \div 5 \text{ м/с}$.

Определяем диаметр каплеуловителя:

$$d_{\text{капл.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V''_{\text{г.}}}{3600 \cdot \pi \cdot v_{\text{г.}}}} \quad (13)$$

Гидравлическое сопротивление каплеуловителя рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = \zeta_{\text{г.}} \cdot \frac{v_{\text{г.}}^2 \cdot \rho''_{\text{г.}}}{2}, \quad (14)$$

где $\zeta_{\text{г.}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления каплеуловителя;

$v_{\text{г.}}$ – скорость газов в каплеуловителе при условиях по температуре и давлению на выходе из трубы Вентури;

$\rho''_{\text{г.}}$ – плотность газов при тех же условиях.

Для каплеуловителя типа КЦТ принимают $\zeta_{\text{г.}} = 18$

10) Выбор каплеуловителя из типоразмерного ряда

По диаметру каплеуловителя $d_{\text{капл}}$ выбираем каплеуловитель КЦТ из типоразмерного ряда (таблица 3).

Каплеуловитель представляет собой малогабаритный прямоточный циклон с входным патрубком прямоугольного сечения и выходным патрубком круглого сечения.

11) Расчет гидрозатвора

Расход орошающей жидкости:

$$V_{\text{ж.}} = m \cdot V''_{\text{г.}} \quad (15)$$

Оптимальная скорость слива жидкости из аппарата – $0,2 \div 0,3 \text{ м/с}$.

Находим диаметр сливной трубы:

$$d_{\text{сл.тр.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{ж.}}}{3600 \cdot \pi \cdot v_{\text{ж.}}}} \quad (16)$$

Если пренебречь гидравлическими потерями при движении жидкости по гидрозатвору, необходимая высота гидрозатвора равна:

$$h = \frac{P_{\text{бар.}} - P_{\text{з.}}}{g \cdot \rho_{\text{ж.}}} \quad (17)$$

$$P_{\text{з.}} = P_{\text{бар.}} - \Delta p_{\text{ан.}} = 101325 - (\Delta p_{\text{е}} + \Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{ex.}}) \quad (18)$$

Список рекомендуемой литературы

- 1) Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под общ. ред. А.А. Русанова. М., Энергоатомиздат, 1983 г.
- 2) Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. “Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы” М., МГУИЭ, 2004 г.
- 3) Газоочистное оборудование. Каталог. МП “НИИОГАЗ – Фильтр”, М., 1992 г.
- 4) Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 201 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 3 - Техническая характеристика типоразмерного ряда каплеуловителей

Типоразмер каплеулови- теля	Диаметр аппарата, мм	Производитель- ность, м ³ /ч	Размеры, мм
КЦТ-400	400	1700	670× 670×1210
КЦТ-500	500	3100-3890	770× 770× 1750
КЦТ-600	600	3890-5600	770× 770× 1750
КЦТ-700	700	5600-7625	970× 970× 2220
КЦТ-800	800	7625—9960	1070× 1070× 2462
КЦТ-900	900	9960—12600	1180× 1180× 2754
КЦТ-1000	1000	12600—15560	1270× 1270× 3004
КЦТ-1200	1200	15560—22410	1480× 1480× 3557
КЦТ-1400	1400	22410—30500	1670× 1670× 4107
КЦТ-1600	1600	30500—39840	1870× 1870× 4607
КЦТ-1800	1800	39840—50420	2390× 2130× 5208
КЦТ-2000	2000	50420—62245	2570× 2320× 5758
КЦТ-2200	2200	62245—75315	2770× 2520× 6408
КЦТ-2400	2400	75315—84000	2970× 2720× 6908

Таблица 2 - Основные характеристики скрубберов Вентури типа ГВПВ

Типоразмер аппарата ГВПВ	Площадь сечения горловины трубы Вентури, м2	Диаметр горловины D , м	Производительность (по выходным параметрам газа), м3/с	Расход жидкости на орошение, л/с	Давление жидкости перед форсункой, кПа	Габариты, мм	Масса, кг
0,006	0,006	85	0,47...0,97	$\frac{0,33...1,89}{0,6...1,39}$	$\frac{180...370}{80...410}$	445× $\frac{560}{575}$ ×1850	$\frac{64}{70}$
0,010	0,010	115	0,86...1,81	$\frac{0,6...1,39}{1,33...3,5}$	$\frac{80...410}{63...400}$	540× $\frac{670}{685}$ ×2500	$\frac{117}{120}$
0,014	0,014	135	1,15...2,33	$\frac{0,8...1,33}{1,33...1,94}$	$\frac{80...410}{60...700}$	575× $\frac{700}{720}$ ×2940	$\frac{148}{150}$
0,019	0,019	155	1,55...3,15	$\frac{1,08...3,55}{3,61...6,31}$	$\frac{80...980}{420...710}$	645× $\frac{785}{795}$ ×3140	$\frac{178}{180}$
0,025	0,025	180	2,08...4,20	$\frac{1,44...3,61}{3,61...8,33}$	$\frac{150...980}{80...450}$	775× $\frac{925}{985}$ ×3790	$\frac{244}{257}$
0,030	0,030	200	2,59...5,25	$\frac{1,81...3,61}{3,61...10,50}$	$\frac{60...250}{100-910}$	790× $\frac{1325}{1355}$ ×4025	$\frac{305}{310}$
0,045	0,045	240	3,83...7,78	$\frac{8,33...15,56}{2,71...8,33}$	$\frac{60...570}{110...390}$	880×1420 × 4620	$\frac{400}{420}$
0,060	0,062	280	5,18...10,50	$\frac{3,61...8,33}{8,33...21,0}$	$\frac{100...570}{110...710}$	1075×1630×5425	$\frac{535}{560}$
0,080	0,080	320	6,52...13,22	$\frac{4,21...12,5}{12,5...26,44}$	$\frac{75...570}{110...500}$	1545×1480×5940	$\frac{645}{675}$
0,100	0,107	370	9,01...18,28	$\frac{6,28...12,5}{12,5...36,56}$	$\frac{80...32}{63...540}$	$\frac{1835}{1860}$ × $\frac{1835}{1860}$ ×7240	$\frac{935}{975}$
0,140	0,138	420	11,50...23,33	$\frac{8,0...12,5}{12,5...46,67}$	$\frac{130...320}{63...880}$	$\frac{2015}{2060}$ × $\frac{2015}{2060}$ ×8140	$\frac{1160}{1200}$