

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

0153

УДК 627.3(073)

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров

Кафедра охраны окружающей среды и рационального использования
природных ресурсов

Техника защиты атмосферного воздуха

Методическое пособие
для выполнения контрольных работ

Факультет - заочный

Специальность – 280201 «Охрана окружающей среды и рациональное
использование природных ресурсов»

Санкт-Петербург

2007
СПб ГУРП
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР
С-Петербург, ул.Ивана Черных, 4

УДК 502.3(075)

Техника защиты атмосферного воздуха: методическое пособие для выполнения контрольных работ / сост. Т.И. Буренина, И.А. Крашенинникова, О.А. Шанова; ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2007. 20 с.

Контрольные работы в методическом пособии составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Технология защиты атмосферного воздуха».

Предназначается для студентов заочной формы обучения по специальности 280201 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

Рецензенты: профессор кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПбГТУРП, канд. техн. наук Л.М. Исянов.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов ГОУВПО СПбГТУРП (протокол № 4 от 12.12.06).

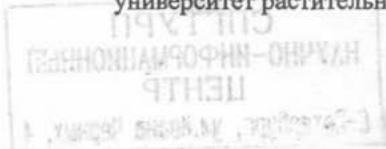
Утверждено к изданию методической комиссией инженерно-экологического факультета ГОУВПО СПбГТУРП (протокол № 6 от 15.04.07).

Редактор и корректор Т.А. Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Подп. к печати 13.02.07. Формат 60 X 84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Объем 1,25 п.л.; 1,25 уч.-изд. л. Тираж 100 экз.
Изд. № 70. Цена «С». Заказ 1529.

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного
технологического университета растительных полимеров, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

© ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных полимеров, 2007



Перечень контрольных вопросов*

1. Дать сравнение цилиндрических и конических циклонов по диапазону условных скоростей, d_{50} , ξ , а также циклонных элементов батарейных циклонов по этим же параметрам.
2. Дать описание сущности процесса пылеулавливания и обосновать преимущества мокрых пылеуловителей типа ПВМ по сравнению с другими аппаратами мокрой очистки.
3. Привести классификацию тканевых фильтров и указать скорости фильтрации для различных фильтровальных тканей.
4. Привести и описать схему очистки дымовых газов содорегенерационного котла в электрофильтре.
5. Привести и описать схему очистки парогазовых выбросов растворителя плава содорегенерационного котла.
6. Привести и описать схему очистки дымовых газов содорегенерационных печей.
7. Дать характеристику пылей, образующихся при обработке древесных материалов (по операциям).
8. Описать основные решения по очистке вентиляционных выбросов от процессов деревообработки.
9. Привести описание способов и схем золоулавливания, применяемых при сжигании твердого топлива в котельных.
10. Привести основные стадии технологии пылеулавливания и раскрыть их основное содержание.

* Студенты выбирают для ответа по два вопроса. Например, шифр зачетной книжки 916-104. Следует ответить на вопрос 4.

Задание 1. Выбор циклона для очистки вентиляционных выбросов или дымовых газов. Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант	V , м ³ /ч	Загрязняющее вещество	d_m , мкм	σ_q	ρ_q , кг/м ³	Z_1 , г/м ³	$\eta_{гр.}$, %	ПДВ, г/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1040	Абразивно-металлическая пыль	42	3	1200	14,2	98	
2	4000	Абразивная пыль	27	2,2	3400	1,8	95	
3	3700	Цементная пыль	28	2,1	2600	8	95	
4	6000	Абразивно-металлическая пыль	34	2,4	1200	6,6	90	
5	5800	Зола	42	2,5	1800	10	90	
6	14100	Абразивно-металлическая пыль	46	3,1	1200	16	92	
7	4000	Цементная пыль	24	2,7	2600	7,8	90	
8	3300	Тальк	46	3,8	1800	2,6	92	
9	4800	Абразивно-металлическая пыль	40	3,5	1200	2	92	
10	8600	Цементная пыль	25	3	2600	18,5	92	
11	4800	Абразивно-металлическая пыль	28	3,2	1200	2,2	90	
12	4000	Абразивная пыль	26	2,9	3400	1,8	90	
13	6000	Абразивно-металлическая пыль	48	3,4	1200	10	96	
14	9000	Формовочная земля	34	4	2000	4	90	
15	6000	Песок	30	2,6	1600	6,6	90	
16	8800	Абразивно-металлическая пыль	52	2,3	1200	12	98	
17	2000	Абразивная пыль	32	3,3	3400	0,9		0,05
18	3600	Абразивно-металлическая пыль	27	2,9	1200	1,55		0,14
19	6200	Зола	40	3,6	1800	11,5		0,8
20	8000	Аммофос	50	3,7	2000	2,98		0,55
21	4600	Песок	36	2,6	1700	4,7		0,4
22	3200	Абразивная пыль	37	3,9	3200	1,99		0,12
23	2800	Цементная пыль	38	2,8	2400	4,25		0,1
24	2000	Абразивная пыль	30	3,5	3400	0,65		0,02
25	4600	Песок	44	3,9	1600	4,32		0,35

Пример расчета.

1. Принимаем тип циклона – ЦН, а марку – ЦН-15.
2. Рассчитываем диаметр циклона D , при этом выбираем скорость циклона
 $- W_{\text{отт.}} = 3,5 \text{ м/с.}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega_0 \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3700}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3600 \cdot 1}} = 0,66 \text{ м}$$

Из типоразмерного ряда выбираем - $D = 0,6 \text{ м.}$

3. Определяем скорость в рабочем сечении при принятом диаметре циклона:

$$\omega = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2 \cdot n} = \frac{4 \cdot 3700}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 3600 \cdot 1} = 3,64 \text{ м/с}$$

Для воздуха при температуре 20°C динамическая вязкость составляет:

$$\mu = 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

4. Для циклона ЦН-15 по таблице выбираем значение $d_{50}^T = 4,5 \text{ мкм}$; затем $\lg \sigma_\eta = 0,352$; $D^T = 0,6 \text{ м}$; $W_0^T = 3,5 \text{ м/с}$; $\rho_q^T = 1930 \text{ кг/м}^3$; $\mu^T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с.}$

Пересчитаем величину d_{50}^T на рабочие условия:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \rho_q^T \cdot \mu \cdot \omega_0^T}{D^T \cdot \rho_q \cdot \mu^T \cdot \omega}} = 4,5 \cdot \sqrt{\frac{0,6 \cdot 1930 \cdot 17,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5}{0,6 \cdot 2300 \cdot 22,2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,64}} = 3,59 \text{ м/с}$$

5. Определяем параметр x :

$$x = \frac{\lg(d_m / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_v}} = \frac{\lg(26 / 3,59)}{\sqrt{\lg^2 2,8 + 0,352^2}} = \frac{\lg 7,26}{\sqrt{0,447^2 + 0,124}} = \frac{0,86}{\sqrt{0,324}} = 1,511$$

По таблице находим $\Phi(x)$:

$$\Phi(1,50) = 0,9332; \Phi(1,52) = 0,9357$$

Методом интерполяции находим: $\Phi(1,51) = 0,9345 > \eta_{\text{гр.}} = 0,92.$

Перечень контрольных вопросов*

1. Сравните гидродинамические режимы в насадочных и тарельчатых абсорберах. Определите рабочие режимы, характерные для абсорберов и тип абсорбера, для которого рабочий режим является более стабильным. Оцените область применения насадочных и тарельчатых абсорберов, приведите параметры, по которым это можно сделать.
2. В чём отличие насадочного абсорбера и абсорбера со взвешенным слоем насадки (ВН). Дайте характеристику абсорбера ВН.
3. Конструкции барботажных абсорберов. В чём их отличие, каковы преимущества и недостатки?
4. Характеристика конструкций вертикального и кольцевого абсорберов. Область их применения. Объясните причины различных областей применения абсорберов.
5. Дайте характеристику схемы адсорбционной очистки с рекуперацией уловленных веществ. Оцените область применения данной схемы.
6. Дайте характеристику адсорбционно-каталитического метода очистки выбросов в атмосферу. Оцените область применения метода и схемы очистки.
7. Дайте характеристику основных параметров, используемых при выборе и расчете абсорберов.
8. Дайте характеристику конструкции каталитического реактора типа ТКВР.
9. Объясните, в чём заключается различие схем каталитического дожигания низкоконцентрированных (меньше $2 - 3 \text{ г/м}^3$) и высококонцентрированных выбросов. Нарисуйте для этих условий две схемы с пояснениями.
10. Какие катализаторы используют для обезвреживания выбросов? Приведите их химический состав; от каких факторов зависит активность и область применения катализаторов?

* - Студенты выбирают для ответа по два вопроса. Например, шифр зачетной книжки 916-104. Следует ответить на вопрос 4.

Таблица 2

Вариант	Объем выбросов $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Концентрация загрязняющего вещества, $\text{г}/\text{м}^3$		Высота слоя угля, м	Характеристика угля				Температура адсорбции, К	Растворитель	Коэффициент аффинности, β	Плотность газового потока $\rho_{\text{г}}, \text{ кг}/\text{м}^3$
		нач., c_0	кон., c		диаметр гранулы, мм	средняя длина гранулы, мм	удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$	насыпная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$				
1	15000	0,70	0,035	1,5	4	8	1600	480	310	этилацетат	1,13	1,23
2	19000	0,50	0,050	0,5	4	8	1690	560	300	пропанол	0,84	1,31
3	21000	0,75	0,075	0,7	2	6	1630	550	305	бутанол	0,95	1,50
4	30000	0,80	0,080	1,5	4	8	1720	580	303	бензин	0,85	1,30
5	29000	0,91	0,045	1,6	2	8	1560	550	307	этанол	0,61	1,25
6	15700	0,48	0,048	0,6	2	6	1630	550	305	этанол	0,61	1,20
7	26000	1,50	0,150	2,0	2	4	1720	500	311	пропанол	0,84	1,37
8	40000	0,90	0,090	2,5	4	6	1600	480	307	стирол	1,19	1,29
9	25000	1,00	0,050	1,8	2	6	1560	550	308	бензин	0,95	1,30
10	30000	1,00	0,100	1,5	2	6	1680	490	303	ацетон	0,88	1,29

Задание № 2. Определить продолжительность адсорбции активным углем паров растворителей из вентиляционных выбросов. Выбрать тип адсорбера (вертикальный или кольцевой), рассчитать размеры адсорбера и число адсорберов.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 2. Для вариантов 1 – 5 принять, что сопротивление процессу массопередачи сосредоточено в газовой фазе; для вариантов 6 – 10 – в порах адсорбента.

Для всех заданий диаметр пор адсорбента - $4 \cdot 10^{-9}$ м.

Принять динамическую вязкость газового потока для всех вариантов равной $\mu_r = 0,19 \cdot 10^{-4}$ Па·с.

Пример расчета:

Объем выбросов $Q_r = 19000$ м³/ч.

Концентрация ЗВ (пропанола): $c_0 = 0,50$ г/м³; $c = 0,05$ г/м³.

Высота слоя угля $L = 0,5$ м.

Характеристика активированного угля:

диаметр гранулы $d = 4$ мм;

средняя длина гранулы $l = 8$ мм;

диаметр пор адсорбента $d_p = 4 \cdot 10^{-9}$ м;

насыпная плотность $\rho_n = 540$ кг/м³;

удельная поверхность 690 м²/м³.

Температура адсорбции $T = 300$ К.

1. Продолжительность адсорбции τ для прямолинейного участка изотермы Лэнгмюра (при концентрации ЗВ до 1 г/м³) определяется выражением

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{a_0 \cdot L}{c_0 \cdot \omega}} - b \cdot \sqrt{\frac{a_0}{c_0 \cdot K_y}},$$

где a_0 – величина адсорбции, равновесная концентрации c_0 , г/м³ адсорбента;

ω – линейная скорость газового потока в сечении адсорбера, м/с;

K_y – коэффициент массопередачи, с⁻¹;

b – коэффициент, зависящий от соотношения c/c_0 (см. табл. 3):

Таблица 3

c/c_0	0,005	0,010	0,030	0,050	0,100	0,200	0,300	0,400
b	1,84	1,67	1,35	1,19	0,94	0,63	0,42	0,23

L – высота слоя адсорбента, м;

c_0 – начальная концентрация ЗВ, г/м³.

Необходимо рассчитать a_0 и K_y .

Для определения величины адсорбции a_0 , соответствующей начальной концентрации c_0 паров пропанола в выбросах, необходимо построить изотерму адсорбции данного вещества на выбранном адсорбенте.

Изотерму адсорбции паров пропанола строят на основе изотермы паров бензола как стандартного вещества, на том же адсорбенте и при той же температуре.

Используя равновесные значения $a_{0б}$ и $c_{0б}$ для бензола, рассчитывают соответствующие значения $a_{0п}$ и $c_{0п}$ для пропанола по следующим формулам:

$$a_{0п} = a_{0б} / \beta; \lg c_{0п} = \lg c_{0пн} - \beta_n \cdot \frac{T_б}{T_n} \cdot \lg \frac{c_{0пб}}{c_{0б}},$$

где $c_{0пн}$, $c_{0пб}$ – концентрации пропанола и бензола, соответствующие состоянию насыщения, г/м³; β – коэффициент подобия (аффинности).

Концентрацию ЗВ (кг/м³) в состоянии насыщения при соответствующей температуре можно определить по формуле:

$$c_{0п} = \frac{p_n \cdot M_k}{R \cdot T},$$

где p_n – давление насыщенного пара ЗВ, Па;

M_k – молекулярная масса ЗВ, кг/кмоль;

R – универсальная газовая постоянная, Па·м³/кмоль·К;

T – температура, К.

Коэффициент подобия (аффинности) можно найти в справочной литературе, либо по формуле:

$$\beta = v_n / v_б,$$

где v_n , $v_б$ – мольные объёмы, соответственно, пропанола и бензола в жидком состоянии, мл/моль.

$$v = M_k / \rho,$$

где ρ – плотность вещества в жидком состоянии.

Необходимые данные для расчета представлены в табл. 4:

Таблица 4

ЗВ	M_k , кг/кмоль	ρ , г/мл	$P_{нв}$ мм рт. ст.	$D_{ор} \cdot 10^4$, м ² /с при 0°C
Бензол	78	0,879	75,0	0,0770
Пропанол	88	0,900	73,0	0,0850
Этилацетат	60	0,803	14,5	0,0720
Бутанол	74	0,812	6,4	0,0703
Бензин	101	0,751	32,4	0,0700
Этанол	46	0,789	44,0	0,1020
Ацетон	58	0,791	180,0	0,0820
Стирол	104	0,906	4,5	0,0670

Точки, вычисленные для построения изотермы адсорбции паров пропанола, приведены в табл.5:

Таблица 5

Координаты точек, взятых на изотерме адсорбции паров бензола (t = 20 °C)		Координаты точек, рассчитанных для построения изотермы адсорбции паров пропанола	
$a_{0б}$, кг/м ³	$c_{0б} \cdot 10^3$, кг/м ³	$a_{0п}$, кг/м ³	$c_{0п} \cdot 10^3$, кг/м ³
109,0	0,854	129,8	0,400
134,2	2,560	159,8	1,000
139,8	5,125	166,4	1,700
143,0	9,390	170,2	2,800
147,3	17,060	175,2	4,600

В качестве примера произведён расчет одной из точек: $a_{0б} = 109 \text{ кг/м}^3$,

$$c_{0б} = 0,854 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

$$\beta = \frac{60 \cdot 0,879}{0,803 \cdot 78} = 0,84; \quad a_{0п} = 109,0 / 0,84 = 129,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$c_{0пб} = \frac{75 \cdot 133,3 \cdot 78}{8314,4 \cdot 300} = 0,31 \text{ кг/м}^3; \quad c_{0пп} = \frac{14,5 \cdot 133,3 \cdot 60}{8314,4 \cdot 300} = 0,05 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lg c_{0п} = \lg 0,05 - 0,84 \cdot \frac{293}{300} \cdot \lg \frac{0,31}{0,854 \cdot 10^{-3}} = -3,4; \quad c_{0п} = 0,0004 \text{ кг/м}^3.$$

Строим изотерму адсорбции паров пропанола на активированном угле (рис.1).

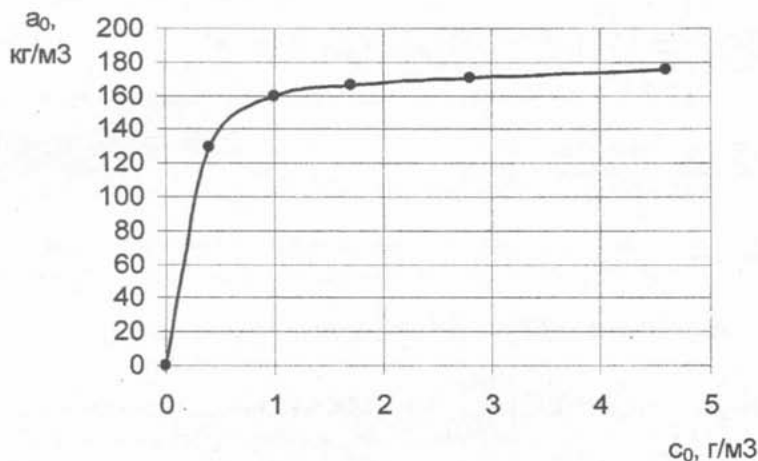


Рис.1. Изотерма паров пропанола на активированном угле

Согласно изотерме при $c_0 = 0,5 \text{ г/м}^3$ величина $a_0 = 144 \text{ кг/м}^3$.

Далее определяем коэффициент массопередачи из уравнения аддитивности фазовых сопротивлений.

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_n}$$

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе:

$$\beta_y = 0,725 \cdot \text{Re}_s^{0,47} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot D_r / d_s^2 \quad (\text{при } \text{Re} < 30)$$

$$\beta_y = 0,395 \cdot \text{Re}_s^{0,64} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot D_r / d_s^2 \quad (\text{при } \text{Re} > 30),$$

$$\text{где } \text{Re}_s = \frac{\omega \cdot d_s \cdot \rho_r}{\mu_r},$$

ρ_r – плотность газового потока, кг/м^3 ;

μ_r – динамическая вязкость газового потока, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

d_s – эквивалентный диаметр гранулы угля, м.

$$d_s = 0,6 \left(\frac{d \cdot l}{\frac{d}{2} + l} \right) = 0,6 \left(\frac{4,0 \cdot 8,0}{2 + 8} \right) = 1,92 \text{ мм} = 1,92 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$Re_s = \frac{0,3 \cdot 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot 1,31}{0,19 \cdot 10^{-4}} = 39,71$$

$$\text{Величина } Pr = \frac{\mu_r}{\rho_r \cdot D_r},$$

где D_r – коэффициент диффузии ЗВ в воздухе, м²/с.

$$D_r = D_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,5} = 0,085 \cdot 10^{-4} \left(\frac{300}{273} \right)^{1,5} = 0,098 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$Pr = \frac{0,19 \cdot 10^{-4}}{1,31 \cdot 0,098 \cdot 10^{-4}} = 1,48.$$

Так как $Re > 30$, то

$$\beta_y = 0,395 \cdot 39,71^{0,64} \cdot 1,48^{0,33} \cdot 0,098 \cdot 10^{-4} / (1,92 \cdot 10^{-3})^2 = 10,9 \text{ с}^{-1}.$$

Рассчитаем коэффициент массоотдачи в порах:

$$\beta_n = \frac{10 \cdot D_n}{d},$$

где d – диаметр гранул, м;

D_n – коэффициент диффузии пропанола в порах, определяется по формуле:

$$D_n = \frac{0,625 \cdot D_r}{2} \cdot \left\langle 1 - \exp \left[- \left(\frac{4 \cdot r_n}{3 \cdot D_r} \right) \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{M_k}} \right] \right\rangle,$$

r_n – средний радиус пор адсорбента, м.

$$D_n = \frac{0,625 \cdot 0,098 \cdot 10^{-4}}{2} \cdot \left\langle 1 - \exp \left[- \left(\frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 0,098 \cdot 10^{-4}} \right) \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 8314 \cdot 300}{60}} \right] \right\rangle =$$

$$= 4,45 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\text{тогда } \beta_n = \frac{10 \cdot 4,45 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 10^{-3}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Пересчитаем размерность коэффициента массоотдачи в порах из м/с в с⁻¹:

$$\beta_n = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1125 = 1,24 \text{ с}^{-1}.$$

$a = 1125 \text{ м}^2/\text{м}^3$ – внешняя удельная поверхность адсорбента.

Тогда:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{10.9} + \frac{1}{1.24} = 0.895; K_y = 1.12 \text{ с}^{-1}.$$

Продолжительность адсорбции

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{144 \cdot 0.5 \cdot 1000}{0.5 \cdot 0.3}} - 0.94 \sqrt{\frac{144 \cdot 1000}{0.5 \cdot 1.12}} = 216.1;$$

$$\tau = 46699.21 \text{ с} = 13.0 \text{ часов.}$$

2. Расчет диаметра адсорбера вертикального типа:

$$D = \sqrt{\frac{Q_r \cdot 4}{\omega \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{19000 \cdot 4}{3600 \cdot 0.3 \cdot 3.14}} = 4.73 \text{ м.}$$

Диаметр вертикального адсорбера может быть не больше 3 м. Примем число адсорберов равным двум и уточним их диаметр:

$$D = \sqrt{\frac{19000 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 0.3 \cdot 3.14}} = 3.35 \text{ м.}$$

Так как $D > 3$ м, примем число адсорберов равным трём, тогда

$$D = \sqrt{\frac{19000 \cdot 4}{3 \cdot 3600 \cdot 0.3 \cdot 3.14}} = 2.73 \text{ м.}$$

Принимаем $D = 3$ м.

Вывод: для очистки вентвыбросов от паров пропанола следует установить три адсорбера вертикального типа диаметром 3 м.

Задание № 3. Рассчитать абсорбер для поглощения ЗВ из газовых выбросов.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 6.

Пример: рассчитать насадочный абсорбер для поглощения SO_2 из газовых выбросов содовым раствором.

Объем выбросов $Q_r = 36000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Концентрация ЗВ (SO_2): $c_0 = 2,9 \text{ г}/\text{м}^3$.

Требуемая эффективность очистки $\eta = 95 \%$.

Константа фазового равновесия $m_c = 0,012$.

Плотность газового потока $\rho_r = 0,94 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Плотность абсорбента (Na_2CO_3) $\rho_{abc} = 1102 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Динамическая вязкость газового потока $\mu_r = 0,114 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Динамическая вязкость абсорбента $\mu_{abc} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Расчет предусматривает определение геометрических размеров абсорбера – диаметра, объема и высоты рабочей части.

Объем активной (рабочей) части абсорбера, необходимый для обеспечения заданной эффективности очистки, определяется по формуле:

$$V = \frac{Q_r \cdot N_{or}}{3600 \cdot K_y}, \text{ м}^3,$$

где N_{or} – число единиц переноса;

K_y – коэффициент массопередачи, с^{-1} ;

Q_r – объем выбросов, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Высота активной части абсорбера $H = \frac{V}{S}$, м,

где S – поперечное сечение абсорбера, м^2 .

Диаметр абсорбера можно определить из следующего выражения:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_r}{3600 \cdot \omega \cdot \pi}}, \text{ м},$$

где ω – скорость, соответствующая устойчивому режиму работы абсорбера, $\text{м}/\text{с}$.

1. Принимаем для насадочного абсорбера насадку из керамических колец Рашига $50 \times 50 \times 5$.

Характеристика насадки:

эквивалентный диаметр насадки $d_{эв} = 0,027 \text{ м}$;

Таблица 6

Вариант	Объем выбросов, Q, м ³ /ч	Загрязняющее вещество	Концентрация ЗВ, с ₀ , г/м ³	Эффективность, η	Абсорбер	Характеристика насадки			Абсорбент	l, л/м ³	w, м/с	m _c	ρ _{p-pa} , кг/м ³	ρ _г , кг/м ³	μ _{p-pa} [*] , 10 ³ , Па·с	μ _г [*] , 10 ⁴ , Па·с	α
						a, м ⁻¹	ε	d _{экв} , м									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	15000	SO ₂	1,0	0,90	насадочный	110	0,74	0,025	Na ₂ CO ₃	4,0	**	0,012	1100	1,12	1,2	0,11	25
2	19000	NO ₂	0,5	0,90	насадочный	110	0,74	0,025	NaOH	6,0	**	0,990	1109	1,37	1,6	0,20	5,4
3	21000	NO ₂	1,5	0,85	барботажный с провальными тарелками	-	-	-	NaOH	2,0	2	0,990	1345	1,28	1,5	0,18	5,4
4	30000	NH ₃	0,88	0,90	барботажный с провальными тарелками	-	-	-	H ₂ O	1,5	1,7	0,00057	1000	1,07	1,1	0,19	-
5	29000	H ₂ S	1,3	0,93	насадочный	110	0,85	0,027	NaOH	10,0	**	0,360	1010	1,3	1,4	0,2	12
6	15700	MM	1,0	0,90	насадочный	90	0,79	0,035	NaOH	8,0	**	0,126	1087	1,17	1,3	0,17	15
7	26000	SO ₂	1,2	0,91	барботажный с провальными тарелками	-	-	-	Ca(OH) ₂	1,3	2,5	0,012	1075	1,21	1,2	0,14	20
8	40000	NH ₃	0,9	0,90	насадочный	140	0,78	0,022	H ₂ O	7,0	**	0,00057	1000	1,32	1,1	0,16	-
9	25000	SO ₂	1,7	0,90	барботажный с провальными тарелками	-	-	-	H ₂ O	2,5	1,9	0,024	1000	1,11	1,1	0,13	-
10	30000	H ₂ S	1,8	0,80	барботажный с провальными тарелками	-	-	-	NaOH	2,4	2,2	0,360	1109	1,08	1,2	0,125	12

*) - метилмеркаптан

**) - определить расчетным путем

доля свободного объема насадки $\varepsilon = 0,735$;

удельная поверхность $a = 110 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Скорость в сечении абсорбера рассчитывается по следующей методике. Сначала определяют скорость газа в точке инверсии (точке обращения фаз):

$$\lg \left[\frac{\omega_{\text{инв}}^2 \cdot a}{g \cdot \varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_{\text{абс}}} \cdot (1000 \cdot \mu_{\text{абс}})^{0,2} \right] = b - c \left(\frac{\overline{L}_j}{Q_r} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{абс}}} \right)^{0,125},$$

где b, c – коэффициенты, зависящие от типа и размеров насадки;

$$b = -0,073; c = 1,75;$$

$\overline{L}_j, \overline{Q}_r$ – массовые расходы поглотительного раствора и газового потока, кг/ч.

Примем удельный расход поглотительного раствора $l_0 = 3 \text{ л/м}^3$, тогда расход поглотительного раствора (абсорбента) равен:

$$L_j = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = 108 \text{ м}^3/\text{ч}; \overline{L}_j = L_j \cdot \rho_{\text{абс}} = 108 \cdot 1102 = 119016 \text{ кг/ч.}$$

$$\overline{Q}_r = Q_r \cdot \rho_r = 36000 \cdot 0,94 = 33840 \text{ кг/ч.}$$

$$\lg \left[\frac{\omega_{\text{инв}}^2 \cdot 110}{9,8 \cdot 0,735^3} \cdot \frac{0,94}{1102} \cdot (1000 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3})^{0,2} \right] = -0,073 - 1,75 \left(\frac{119016}{33840} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{0,94}{1102} \right)^{0,125}$$

$$\lg (\omega_{\text{инв}}^2 \cdot 0,026) = -0,917;$$

$$2 \lg \omega_{\text{инв}} + \lg 0,026 = -0,917; 2 \lg \omega_{\text{инв}} = 0,67; \lg \omega_{\text{инв}} = 0,335; \omega_{\text{инв}} = 2,16 \text{ м/с.}$$

Для устойчивой работы абсорбера выбираем промежуточный режим (плёночный – барботажный).

$$\text{При этом } \omega/\omega_{\text{инв}} = 0,45 \div 0,85, \text{ тогда } \omega = \omega_{\text{инв}} \cdot 0,63 = 1,36 \text{ м/с.}$$

Площадь сечения насадочного абсорбера:

$$S = \frac{Q_r}{3600 \cdot \omega} = \frac{36000}{3600 \cdot 1,36} = 7,4 \text{ м}^2$$

$$\text{Отсюда } D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,4}{3,14}} = 3,0 \text{ м.}$$

Проверяем условие смачиваемости насадки:

$U_{\text{смч}} = \gamma \cdot a = 0,1 \cdot 110 = 11 \text{ м}^2/\text{м}^3 \cdot \text{ч}$ – величина оптимальной смачиваемости насадки.

$\gamma = 0,1 \div 0,2$ – коэффициент.

Определяем нашу величину смачиваемости насадки:

$$U = L_{\text{ж}} / S = 108 / 7,4 = 14,6 \text{ м}^2/\text{м}^3 \cdot \text{ч}.$$

$U > U_{\text{смач}}$ – условие выполняется, то есть вся насадка смачивается поглотительным раствором.

2. Определение числа единиц переноса.

$$N_{\text{ор}} = \ln \frac{c_0}{c},$$

где c – конечная концентрация ЗВ, $\text{г}/\text{м}^3$;

$$c = 2,9 - 2,9 \cdot 0,95 = 0,15 \text{ г}/\text{м}^3.$$

$$N_{\text{ор}} = \ln \frac{2,90}{0,15} = 2,96 \approx 3.$$

3. Определение коэффициента массопередачи.

Для нахождения коэффициента массопередачи воспользуемся уравнением аддитивности фазовых сопротивлений:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta'_x},$$

где β_y – коэффициент массоотдачи в газовой фазе;

β'_x – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе при хемосорбции, $\beta'_x = \beta_x \cdot \alpha$;

α – коэффициент ускорения массоотдачи в жидкой фазе вследствие химической реакции.

Коэффициенты массоотдачи в насадочных абсорберах могут быть рассчитаны по формулам:

$$Nu_r = 0,407 \cdot Re_r^{0,655} \cdot Pr_r^{0,33};$$

$$\text{где } Re_r = \frac{\omega \cdot d_{\text{эв}} \cdot \rho_r}{\varepsilon \cdot \mu_r} = \frac{1,36 \cdot 0,027 \cdot 0,94}{0,735 \cdot 0,114 \cdot 10^{-4}} = 4119;$$

μ_r – динамическая вязкость газового потока; $\mu_r = 0,114 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

$$Pr_r = \frac{\mu_r}{\rho_r \cdot D_r} = \frac{0,114 \cdot 10^{-4}}{0,94 \cdot 0,14 \cdot 10^{-4}} = 0,866,$$

D_r – коэффициент диффузии ЗВ в воздухе, m^2/c .

Значения коэффициента диффузии для некоторых ЗВ приведены в табл. 7.

Таблица 7

ЗВ	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	MM	NH ₃
$D_r, m^2/c$	$0,140 \cdot 10^{-4}$	$0,136 \cdot 10^{-4}$	$0,144 \cdot 10^{-4}$	$0,126 \cdot 10^{-4}$	$0,201 \cdot 10^{-4}$

$$Nu_r = 0.407 \cdot 4119^{0,655} \cdot 0.866^{0,33} = 90.5;$$

С другой стороны, $Nu_r = \frac{\beta_y \cdot d_{экр}}{D_r}$, следовательно,

$$\beta_y = \frac{Nu_r \cdot D_r}{d_{экр}} = \frac{90.5 \cdot 0,14 \cdot 10^{-4}}{0,027} = 0,047 \text{ м/с.}$$

Таким образом рассчитали коэффициент массотдачи в газовой фазе. Теперь найдем коэффициент масоотдачи в жидкой фазе.

$$Nu_{ж} = 0.407 \cdot Re_{ж}^{0,75} \cdot Pr_{ж}^{0,5};$$

$$Re_{ж} = \frac{4 \cdot U}{a \cdot \nu_{ж}},$$

где $\nu_{ж}$ – кинематическая вязкость поглотительного раствора, m^2/c .

$$\nu_{ж} = \frac{\mu_{\text{погл.р-ра}}}{\rho_{\text{погл.р-ра}}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{1102} = 1,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с} = 4,57 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{ч.}$$

$$Re_{ж} = \frac{4 \cdot 14.6}{110 \cdot 4.57 \cdot 10^{-3}} = 116,2.$$

$$Pr_{ж} = \frac{\mu_{\text{погл.р-ра}}}{\rho_{\text{погл.р-ра}} \cdot D_{ж}},$$

где $D_{ж}$ – коэффициент диффузии ЗВ в жидкости, m^2/c .

Значения коэффициента диффузии для некоторых ЗВ приведены в табл. 8.

Таблица 8

ЗВ	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	MM	NH ₃
$D_{ж}, m^2/c$ (20 °C)	$1,47 \cdot 10^{-9}$	$1,73 \cdot 10^{-9}$	$1,80 \cdot 10^{-9}$	$1,40 \cdot 10^{-9}$	$1,76 \cdot 10^{-9}$

$$Pr_{ж} = \frac{1.4 \cdot 10^{-3}}{1102 \cdot 1.47 \cdot 10^{-9}} = 864,$$

$$Nu_{ж} = 0.407 \cdot 116.2^{0.75} \cdot 864^{0.5} = 1.76.$$

С другой стороны,

$$Nu_{ж} = \frac{\beta_x \cdot (v_{ж}^2 / g)^{0.33}}{D_{ж}}; \beta_x = \frac{Nu_{ж} \cdot D_{ж}}{(v_{ж}^2 / g)^{0.33}} = \frac{1.76 \cdot 1.47 \cdot 10^{-9}}{\left[(1.27 \cdot 10^{-6})^2 / 9.81 \right]^{0.33}} = 4.3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

$$\beta_x = 4.3 \cdot 10^{-5} \cdot 25 = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{0.047} + \frac{0.012}{0.0011} = 32,2, K_y = 0,031 \text{ м/с} = 0,031 \cdot 110 = 3,41 \text{ с}^{-1}.$$

$$V = \frac{36000 \cdot 3}{3600 \cdot 3.41} = 8,8 \text{ м}^3, H = 8,8/7,4 = 1,20 \text{ м.}$$

Принимаем с запасом высоту насадки $1,3 \cdot 1,20 = 1,56 \text{ м.}$

Для барботажных абсорберов с провальными тарелками коэффициенты массоотдачи, отнесенные к фактической поверхности контакта фаз, рассчитываются по уравнениям:

$$\beta_r = 0,12 \cdot Re_r^{0,7} \cdot Pr_r^{0,5} \cdot (d_n / 4)^{0,5} \cdot (D_r / d_n), \text{ м/с,}$$

$$Re_r = \frac{\omega \cdot d_n}{\Phi \cdot \nu_r},$$

где d_n – средний диаметр пузыря, м.

$$d_n = 0,00072 \cdot \omega^{-0,135} \cdot (\sigma / \mu_{ж})^{0,45}, \text{ м.}$$

σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м. ($\sigma = 0,072 \text{ Н/м}$).

Φ – газосодержание, $\Phi = 0,6 - 0,8$.

Для пересчета β_r из м/с в с^{-1} следует определить поверхность контакта фаз а:

$$a = 6 \cdot \Phi / d_n, \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

$$\beta_{ж} = 1,2 \cdot Re_{ж}^{0,7} \cdot Pr_{ж}^{0,5} \cdot (d_n / 4)^{0,5} \cdot (D_{ж} / d_n), \text{ м/с,}$$

$$Re_{ж} = \frac{U_{ж} \cdot d_n}{(1 - \Phi) \cdot \nu_{ж}}.$$

Библиографический список

Очистка и рекуперация промышленных выбросов / В.Ф. Максимов, И.В. Вольф, Т.А. Винокурова и др.: учебник для вузов.-М.: Лесная промышленность, 1989.- 416 с.

Григорьев Л.Н., Буренина Т.И. Охрана окружающей среды при проектировании (Атмосфера). Часть 1: учебное пособие / ГОУ ВПО СПб ГТУ РП. СПб., 2004.- 91 с.

Техника защиты окружающей среды. / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников.: учебник для вузов.-М.: Химия, 1989.- 512 с.

Справочник по пыле- и золоулавливанию. / Под общ. ред. А.А. Русанова.- Изд. 2-е, перераб. доп.-М.: Энергия, 1982.- 296 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Задание № 1.....	4
2. Задание № 2.....	8
3. Задание № 3.....	14
Библиографический список.....	20