

А.В. Шибашов, А.С. Шуваева

Сборник практических работ по дисциплине
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»

Учебное пособие

Иваново

2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

А.В. Шибашов, А.С. Шуваева

**СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»**

Учебное пособие

Иваново 2019

УДК 504 (076)

Шибашов, А.В. Сборник практических работ по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»: учебное пособие. / А.В. Шибашов, А.С. Шуваева; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2019. –76 с.

Учебное пособие включает 10 практических работ, посвященных расчету аппаратов и процессов очистки воздуха, сточных вод и рациональной утилизации твердых отходов. Каждая работа содержит теоретическое введение, методику расчета аппарата или процесса, а также необходимый справочный материал и варианты индивидуальных заданий. Порядок представленных работ согласуется с изложением курса лекций «Процессы и аппараты защиты окружающей среды».

Предназначено студентам направлений подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Техносферная безопасность» и «Химическая технология».

Табл. 37. Ил. 21. Библиогр.: 8 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

доктор технических наук А.И. Сокольский (Ивановский государственный энергетический университет);

доктор технических наук С.В. Федосов (Ивановский государственный политехнический университет)

©Шибашов А.В., Шуваева А.С.,2019

©ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2019

Оглавление

1. Практическая работа №1. Расчет циклонов.....	4
2. Практическая работа №2. Расчет рукавного фильтра.....	10
3. Практическая работа №3. Расчет электрофильтра.....	17
4. Практическая работа №4. Расчет скруббера Вентури.....	21
5. Практическая работа №5. Расчет процессов и аппаратов адсорбции газов.....	25
6. Практическая работа №6. Оборудование для механической очистки сточных вод. Расчет песколовки и отстойников.....	30
7. Практическая работа №7. Определение расчетной массовой концентрации загрязнений в сточных водах.....	38
8. Практическая работа №8. Расчет фильтров различных типов конструкции для очистки сточных вод.....	44
9. Практическая работа №9. Биохимическая очистка сточных вод. Расчет аэротенка.....	57
10. Практическая работа №10. Расчет полигона ТКО.....	63
Контрольные вопросы.....	68
Список библиографических источников.....	70
Приложение.....	71

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1.

РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

Цель работы: ознакомление с работой основных типов циклонов, приобретение практических навыков по расчету газоочистных аппаратов (циклонов).

Общая характеристика и принцип действия циклонов

Очистка газов может осуществляться с помощью мокрых и сухих пылеуловителей. Широкое применение для сухой очистки газов получили циклоны различных типов (рис. 1.1). Принцип действия циклонов заключается в следующем. Газовый поток вводится в циклон через патрубок 2 по касательной к внутренней поверхности корпуса 1 и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к конической части циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа через патрубок выхода пыли попадает в бункер для приема пыли 4.

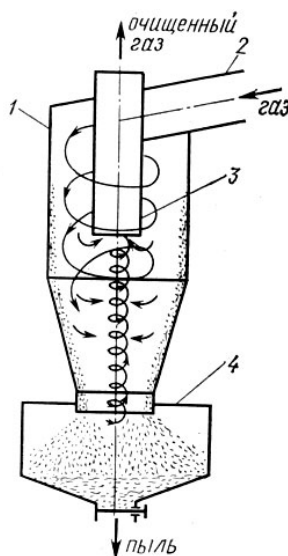


Рис.1.1 Схема циклона

1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба; 4 – бункер

Отделение частицы газа, попавшего в бункер, от пыли происходит при повороте газового потока в бункере на 180° . Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу 3. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если бункер не герметичен, то из-за подсоса наружного

воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.

Все практические задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются цилиндрическими и коническими циклонами. К цилиндрическим относят циклоны типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24. Отличительной особенностью этой группы аппаратов является наличие удлиненной цилиндрической части, наклон крышки и входного патрубка соответственно α 11°, 15° и 24° и одинаковое соотношение диаметра выхлопной трубы – d к диаметру циклона $D=d/D=0,59$. К коническим относятся циклоны типа СК-ЦН-33, СДК-ЦН-34. Они отличаются удлиненной конической частью, спиральным входным патрубком и малым отношением диаметров выхлопной трубы к корпусу циклонов $d/D=0,33$ и $0,34$ соответственно.

Циклоны предназначены для очистки газов от пыли со средним размером частиц 10...20мкм. Избыточное давление газов, поступающих в циклон, не должно превышать 2500Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30...50°С выше температуры точки росы, а по условиям прочности конструкции – не выше 400°С. Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с ростом последнего.

Цилиндрические циклоны серии ЦН предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов при начальной запыленности до 400 г/м³ и устанавливать перед фильтрами и электрофильтрами. Конические циклоны серии СК, предназначенные для очистки газов от сажи, обладают повышенной эффективностью по сравнению с циклонами типа ЦН за счет большего гидравлического сопротивления.

Методика расчета

Расчет циклонов введут методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задаются типом циклона и определяют оптимальную скорость газа $\omega_{\text{опт}}$ в сечении циклона диаметром D по данным табл. 1.1:

Таблица 1.1. Оптимальная скорость движения газа $\omega_{\text{опт}}$ в зависимости от типа

ЦИКЛОНА

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
$\omega_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

2. Определяют диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\omega_{\text{опт}}\pi N}}, \quad (1)$$

где Q – объемный расход очищаемого газа, м³/с, N – число циклонов.

Полученное значение D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона. Если расчетный диаметр циклона превышает его максимально допустимое значение, то необходимо применить два или более параллельно установленных циклона.

Для циклонов принят следующий ряд внутренних диаметров D , мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000.

3. По выбранному значению диаметра находят действительную скорость движения газа в циклоне:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi ND^2}. \quad (2)$$

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15%. В случае большего отклонения следует изменить количество параллельно работающих циклонов N и пересчитать диаметр циклона.

4. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона:

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{500}, \quad (3)$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 1.2); K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 1.3); ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 1.4).

Для вариантов 1–12 – при выхлопе в атмосферу, 13–25 – при выхлопе в гидравлическую сеть.

Таблица 1.2. Значения K_1 для различных диаметров D и типов циклонов

Тип циклона	D, мм				
	150	200	300	450	>500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,9	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и 34М	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 1.3. Значения K_2 в зависимости от входной концентрации пыли $C_{вх}$

Тип циклона	$C_{вх}, \text{г/м}^3$						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	–
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-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 1.4. Значения коэффициента гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм, ξ_{500}

Тип циклона	Выхлоп в:		Тип циклона	Выхлоп в:	
	атмосферу	гидр. сеть		атмосферу	гидр. сеть
ЦН-11	245	250	СДК-ЦН-33	520	600
ЦН-15	155	163	СК-ЦН-34	1050	1150
ЦН-24	75	80	СК-ЦН-34М	–	2000

5. Рассчитывают гидравлическое сопротивление циклона:

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вых} = \frac{\xi \rho_r \omega^2}{2}, \quad (4)$$

где ρ_r – плотность очищаемого газа.

6. Определяют эффективность очистки газа в циклоне:

$$\eta = \frac{1 + \Phi(x)}{2}, \quad (5)$$

где $\Phi(x)$ – табличная функция от параметра x , равного:

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^T}\right)}{\sqrt{\lg^2(\sigma_\eta) - \lg^2(\sigma_\chi)}}. \quad (6)$$

Здесь параметры d_{50}^T и $\lg(\sigma_\eta)$ соответствуют условиям работы типового циклона диаметром $D_T = 0,6$ м. Значения этих параметров приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Значения параметров пыли d_{50}^T и $lg(\sigma_\eta)$

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
d_{50}^T	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$lg(\sigma_\eta)$	0,308	0,352	0,352	0,364	0,308	0,308

Ввиду того, что значения d_{50}^T и $lg(\sigma_\eta)$ определены по условиям работы типового циклона, необходимо учесть влияние отклонений условий работы от типовых на величину d_{50} , мкм:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D \cdot \rho_{чТ} \cdot \mu_T \cdot \omega_T}{D_T \cdot \rho_ч \cdot \mu \cdot \omega}}, \quad (7)$$

где $\rho_ч$ – плотность частицы пыли, кг/м³; μ – вязкость очищаемого газа, Па·с; ω – действительная скорость газа в циклоне, м/с; $D_T=600$ мм; $\rho_{чТ}=1930$ кг/м³; $\mu_T=22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\omega_T=3,5$ м/с (индекс «Т» означает типовое значение параметра).

Определив по формуле (6) значение x , находят функцию $\Phi(x)$ по данным табл. 1.6.

Таблица 1.6. Значение $\Phi(x)$ в зависимости от параметра x

x	-2,7	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2
$\Phi(x)$	0,004	0,023	0,036	0,055	0,081	0,115	0,159	0,212	0,274	0,345	0,421
x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\Phi(x)$	0,5	0,579	0,655	0,726	0,788	0,841	0,885	0,919	0,964	0,964	0,977

Затем по формуле (5) определяют расчетное значение эффективности очистки газа циклоном.

7. Рассчитывают конструкционные размеры циклона (рис. 1.2, табл. 1.7) в соответствии с диаметром D выбранного циклона:

$$m = k \cdot D, \quad (8)$$

где m – параметр циклона (диаметр, ширина, высота и т.д.); k – коэффициент пропорциональности (табл. 1.7).

Радиус улитки:

$$\rho = \frac{D}{2} + b \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (9)$$

Где b – ширина входного патрубка; $\varphi=135^\circ=2,35$ рад

Таблица 1.7. Значение коэффициента пропорциональности k

Параметр, мм	Тип циклона					
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
1	2	3	4	5	6	7
Диаметр выхлопной трубы d	0,59			0,334	0,34	0,22
Диаметр пылевывпускного отверстия d_1	0,3–0,4			0,334	0,23	0,18
Диаметр входного патрубка b	0,2			0,264	0,214	0,18
Длина входного патрубка l	0,6					
Высота входного патрубка a	0,48	0,66	1,11	0,535	0,515	0,4
Высота выхлопной трубы (ВТ) h_r	1,56	1,74	2,11	0,535	0,515	0,4
Высота внешней части (ВТ) h_b	0,3	0,3	0,4	0,2–0,3		
Высота цилиндрической части $H_{ц}$	2,06	2,06	2,11	0,535	0,515	0,4
Высота конуса H_k	2,0	2,0	1,75	3,0	2,11	2,6
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1					
Общая высота циклона H	4,38	4,56	4,26	3,835	2,925	3,3

8. Начертить схему циклона и проставить конструктивные размеры в миллиметрах.

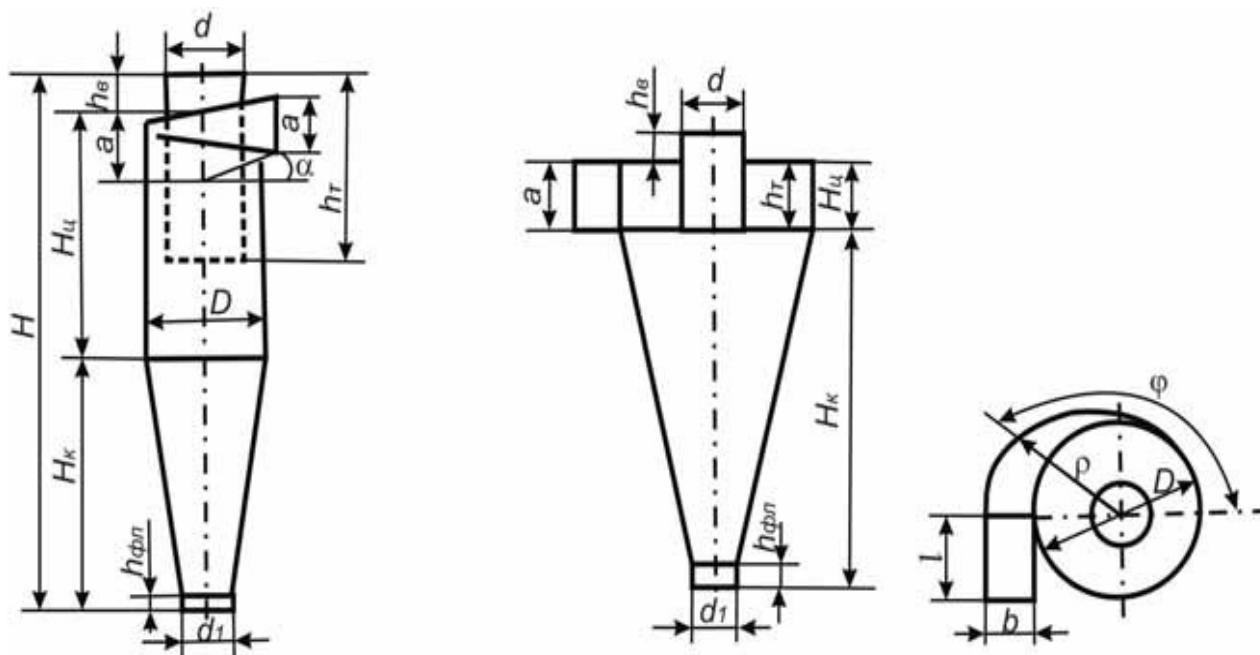


Рис. 1.2. Схемы циклонов

Задание

В соответствии с заданным вариантом рассчитать основные геометрические размеры циклона, определить его гидравлическое сопротивление и эффективность очистки газа в циклоне. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8. Исходные данные для расчета по вариантам

№вар.	Тип циклона	Q, м ³ /с	C _{вх} , г/м ³	ρ _г , кг/м ³	ρ _ч , кг/м ³	μ·10 ⁶ , Па·с	lg(σ _ч)	η
1, 11	ЦН-11	12	40	1,34	1930	22,2	0,5	0,95
2, 12	ЦН-11	15	120	1,35	2230	22,1	0,6	0,65
3, 13	ЦН-15	17	80	1,36	1650	22,0	0,5	0,75
4, 14	ЦН-15	20	10	1,37	1700	21,9	0,4	0,95
5, 15	ЦН-24	25	20	1,38	1750	21,8	0,7	0,90
6, 16	ЦН-24	30	40	1,39	1900	21,7	0,5	0,85
7, 17	СДК-ЦН-33	8	150	1,33	2130	21,6	0,5	0,65
8, 18	СК-ЦН-34	5	80	1,32	2050	21,5	0,3	0,75
9, 19	СК-ЦН-34м	1	40	1,31	2100	21,4	0,6	0,75
10, 20	ЦН-11	10	80	1,24	1900	21,2	0,4	0,90

Q - расход очищаемого газа, м³/с; ρ_г - плотность газа при рабочих условиях, кг/м³; μ - вязкость газа при рабочей температуре, Па·с; ρ_ч - плотность частиц пыли, кг/м³; C_{вх} - входная концентрация пыли, г/м³; lg(σ_ч) - дисперсность пыли; η - требуемая эффективность очистки.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. РАСЧЕТ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА

Цель работы: приобретение навыков и знаний по расчету и конструкции тканевых рукавных фильтров для очистки газовых выбросов от пыли.

Общая характеристика и принцип действия рукавных фильтров

Рукавные тканевые фильтры – широко распространенные и эффективные аппараты пылеулавливания, их применяют для отделения пыли от газов и воздуха в различных отраслях промышленности: в черной и цветной металлургии, химической и нефтяной промышленности, промышленности строительных материалов и т.д.

Рукавные фильтры представляют собой аппараты с корпусами прямоугольной или круглой формы (рис.2.1). Внутри корпусов подвешены рукава диаметром от 100 до 300 мм высотой от 0,5 до 10 м. Фильтрация воздуха

или газа осуществляется пропусканием запыленной среды через ткань рукава. В рукавных фильтрах разной конструкции газ может перемещаться в направлении рукава наружу или наоборот. После того, как гидравлическое сопротивление достигает предельно допустимой величины, производят регенерацию рукавов (сбрасывание в бункер накопившегося слоя пыли). Для регенерации используют обратную импульсную и струйную продувку, которая может применяться в сочетании с механическим встряхиванием.

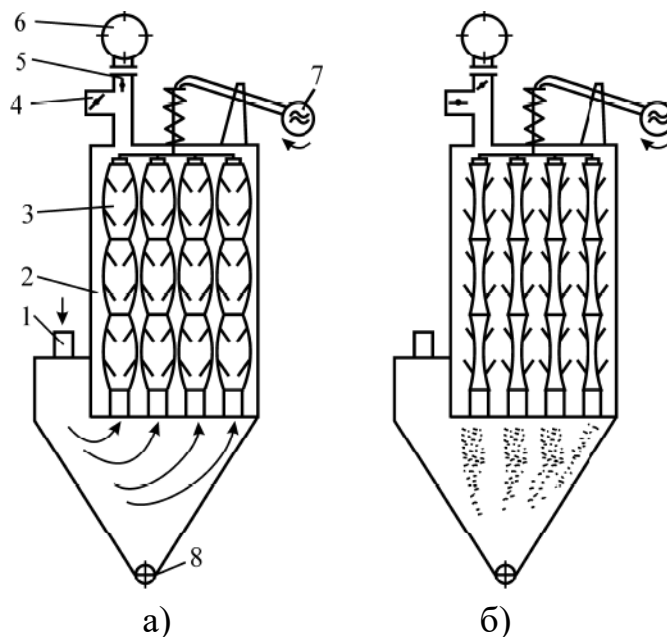


Рис. 2.1 Схема рукавного фильтра с обратной продувкой и встряхиванием: а – режим фильтрования, б – режим регенерации. 1- входной патрубок; 2 – корпус фильтра; 3 – рукав; 4 – продувочный клапан; 5 – выпускной клапан; 6 – коллектор очищенного газа; 7 – вал механизма встряхивания; 8 – пылевывозное устройство

Помимо способа регенерации, рукавные фильтры различаются площадью фильтрующей поверхности, допустимой величиной рабочего давления (разрежения), количеством секций, формой, диаметром, высотой и конструктивными особенностями рукавов (наличие каркаса, колец по высоте рукава и т.д.).

Рукавные фильтры обеспечивают очистку воздуха и газов от пыли (в том числе высокодисперсной) эффективностью до 99% и выше.

Степень очистки газа в рукавном фильтре определяется дисперсностью и другими свойствами улавливаемой пыли, качеством фильтровального материала, способом и режимом регенерации, величиной удельной газовой нагрузки, гидравлического сопротивления и др.

Пропускная способность рукавного фильтра зависит от площади фильтрующей поверхности и удельной газовой нагрузки, определяемой по эксплуатационным и опытным данным.

Методика расчета

1. Определяют расчетную допустимую газовую нагрузку при заданных условиях, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{мин})$:

$$q_{\phi} = q_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (1)$$

где q_n – нормативная газовая нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{мин})$ (определяется по данным таблицы 2.1)

Таблица 2.1. Нормативная удельная газовая нагрузка

№ п/п	Вид пыли	$q_n, \text{м}^3/(\text{м}^2\text{мин})$
1	Комбикорм, мука, зерно, жмыховая смесь, пыль кожи, опилки, табак, картонная пыль	3,5
2	Асбест, волокнистые целлюлозные материалы, пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки, соль, песок	2,6
3	Глинозем, цемент, керамические красители, уголь, резина, каолин, известняк, сахар	2,0
4	Кокс, летучая зола, окислы металлов, крахмал, пластмассы	1,7
5	Активированный уголь, моющие средства, порошковое молоко, возгоны цветных и черных металлов	1,5

Коэффициенты K_i выбираются из следующих условий:

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние особенностей регенерации фильтровальных элементов, определяется по данным табл. 2.2.

K_2 – коэффициент учитывающий концентрацию пыли, определяется по формуле: $K_2 = 0,983 \cdot e^{-0,00169C_n}$, (2)

где C_n – концентрация пыли в очищаемом газе, $\text{г}/\text{м}^3$.

K_3 – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли, его значение зависит от среднего медианного размера частиц пыли d_m (табл. 2.3);

K_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры очищаемого газа, определяется по формуле:

$$K_4 = 1,058 \cdot e^{-0,00353t_r}, \quad (3)$$

где t_r – температура газа, °С.

K_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки:

$K_5 = 1$, при $C_k > 30$ мг/м³, и $K_5 = 0,95$, при $C_k \leq 30$ мг/м³, где C_k – концентрация пыли в газе после очистки.

Таблица 2.2. Значение скорости фильтрации и коэффициента K_1 для некоторых фильтрующих материалов.

Материал	Способ регенерации	Скорость фильтрации ω_ϕ , м/мин	K_1
Стеклоткань	Обратная продувка	0,3 – 0,8	0,63
Лавсан	Обратная продувка с встряхиванием	0,5 – 0,9	0,84
Нетканый материал	Импульсная продувка	1,6 – 3,5	1
Шерсть	Обратная продувка с встряхиванием	0,7 – 0,9	0,84
Нитрон	Струйная продувка	3,0 – 6,0	1,1
Полифен	Струйная продувка	3,0 – 6,0	1,1

Таблица 2.3. Значение коэффициента K_3

d_m , мкм	> 100	50 - 100	10 - 49	3 - 9	<3
K_3	1,3	1,1	1,0	0,9	0,75

2. Рассчитывают гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки с учетом пыли, осевшей на ней после регенерации, кПа:

$$\Delta P_1 = \frac{\mu_r \omega_\phi A}{60000}, \quad (4)$$

где μ_r – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с; ω_ϕ – скорость фильтрации, м/с;

$$A = \frac{0,67 \cdot 10^{-3} (1 - \varepsilon_\Pi)^2 \varepsilon_{TK}^3 (h_0 \cdot 10^3)^{0,67}}{(d_m \cdot 10^{-6})^{1,75} \varepsilon_\Pi^3}, \quad (5)$$

где h_0 – удельное гидравлическое сопротивление ткани, отнесенное к толщине ткани 1 м, при скорости воздуха 1 м/с, кПа (табл.2.4); d_m – средний медианный диаметр частиц пыли, мкм; ε_{TK} – пористость ткани (табл.2.4); ε_Π – пористость слоя пыли осевшей на фильтре.

$$\varepsilon_\Pi = 1 - 79d_m^{0,47}, \quad (6)$$

Таблица 2.4. Значения пористости $\varepsilon_{\text{тк}}$ и удельного гидравлического сопротивления h_0 для некоторых тканей

Материал	$\varepsilon_{\text{тк}}$	h_0 , кПа
Стеклоткань	0,52	2700
Лавсан	0,75	189
Нетканый материал	0,35	9200
Шерсть	0,88	84
Нитрон	0,83	180
Полифен	0,66	880

3. Рассчитывают гидравлическое сопротивление слоя пыли, осевшего на перегородку, кПа:

$$\Delta P_2 = 10^6 \cdot \mu_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{ц}} \cdot C_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{ф}}^2, \quad (7)$$

где $\tau_{\text{ц}}$ – продолжительность фильтровального цикла, с (принимается $\tau_{\text{ц}}=600\text{с}$).

4. Определяют гидравлическое сопротивление корпуса фильтра, кПа:

$$\Delta P_{\text{к}} = \xi \frac{\rho_{\text{г}} \omega_{\text{вх}}^2}{2}, \quad (8)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления корпуса фильтра (принимается $\xi = 1,5 - 2,5$); $\omega_{\text{вх}}$ – скорость газа во входном патрубке фильтра (принимается $\omega_{\text{вх}} = 10 - 15 \text{ м/с}$).

5. Рассчитывают полное гидравлическое сопротивление фильтра, кПа:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{\text{к}}. \quad (9)$$

Гидравлическое сопротивление фильтра не должно превышать 2500 – 3000 Па, если это условие не выполняется, то необходимо снизить скорость фильтрации и выбрать другой тип фильтрующей ткани.

6. Определяют площадь фильтрующей поверхности аппарата, м^2 :

$$F_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{г}}}{60q_{\text{ф}}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{г}}$ – объемный расход газа, поступающего на очистку, $\text{м}^3/\text{ч}$.

7. Определяют фильтрующую поверхность, отключаемую на регенерацию:

$$F_{\text{р}} = F_{\text{ф}} \frac{\tau_{\text{р}} n_{\text{р}}}{3600}, \quad (11)$$

где $\tau_{\text{р}}$ – время регенерации секции, с ($\tau_{\text{р}} = 5 - 10 \text{ с}$); $n_{\text{р}}$ – число циклов регенерации в течение часа, ч^{-1} ($n_{\text{р}} = 5 - 8$).

8. Рассчитывают количество воздуха, идущего на продувку при регенерации фильтра, м³/ч:

$$V_p = 60 \cdot F_p \cdot \omega_\phi \cdot \quad (12)$$

9. Рассчитывают общую Рабочую поверхность фильтра

$$F = \frac{V_r + V_p}{60q_\phi} + F_p \cdot \quad (13)$$

По полученному значению площади поверхности F производят выбор фильтра по табл. 2.5, при этом выбирают фильтр с ближайшей большей стандартной поверхностью F_{ст}.

Таблица 2.5. Технические характеристики рукавных фильтров

Марка фильтра	Площадь фильтровальной поверхности F _{ст} , м ²	Количество секций N, шт.	Количество рукавов в секции, шт.
ФР-6П	8	1	6
ФТ-2М	20	1	12
ФТНС-4М	12,4	1	4
ФТНС-8М	24,8	2	4
ФТНС-12М	37,2	3	4
ЦА-3804	4140	3	348
ФРУ	2,5; 19; 36; 50	1; 2; 34	14; 28; 42; 56
ФРН-20	20	2	32
ФРН-30	30	2	48
ФР-250	281	4	288
СМЦ-101А	50	2	36
РФГ	112	4	56
УРФМ	1610	14	588
Г4-1БФМ	30	2	36
Г4-2БФМ	60	4	72
ФР-518	518	6	72
ФР-5000	5000	8	504
ФРДО-6500	6500	10	212
ФРО-2400-1	2400	8	42
ФРО-6000-2	6000	10	54
ФРО-20300-3	20300	10	216
РФСП-П	370	4	22
РФСП-1580	1580	20	24
ФРКИ-30	30	1	36
ФРКИ-60	60	2	36
ФРКИ-90	90	3	36
ФРКИ-180	180	4	36
ФРКИ-360	360	8	36
ФРКИ-550	550	6	36
ФРКДИ	720	8	36
ФРКДИ-1100	1100	12	36

10. Определяют фактическую газовую нагрузку фильтра:

$$q'_{\phi} = \frac{\frac{V_{\Gamma}}{60} + F_c \cdot q_{\phi}}{F_{\text{ст}} - F_c}, \quad (14)$$

где F_c – площадь поверхности фильтрования в одной секции ($F_c = F_{\text{фак}}/N$); N – количество секций фильтра.

11. Определяют отклонение фактической и расчетной газовых нагрузок:

$$\Delta q_{\phi} = \frac{|q'_{\phi} - q_{\phi}|}{q_{\phi}} \cdot 100\%. \quad (15)$$

Задание

В соответствии с заданным вариантом рассчитать рабочую поверхность рукавного фильтра и его гидравлическое сопротивление. Исходные данные для расчета приведены в табл.2.6.

Таблица 2.6. Исходные данные для расчета по вариантам

№вар.	Вид пыли	Фильтрующий материал	V_{Γ} , м ³ /ч	$C_{\text{п}}$, г/м ³	t_{Γ} , °С	ρ_{Γ} , кг/м ³	$\mu_{\Gamma} \cdot 10^6$, Па·с	d_m , мкм
1, 11	Пыль кожи	Стеклоткань	3600	20	15	1,24	22,2	0,5
2, 12	Опилки	Лавсан	4800	40	18	1,25	22,1	2
3, 13	Асбест	Нетканый материал	3900	30	25	1,26	22,0	3
4, 14	Гипс	Шерсть	4200	20	25	1,27	21,9	5
5, 15	Песок	Нитрон	5500	10	20	1,28	21,8	2
6, 16	Уголь	Полифен	6900	20	100	1,09	21,7	10
7, 17	Резина	Стеклоткань	8000	50	60	1,13	21,6	1
8, 18	Кокс	Лавсан	7200	40	150	1,02	21,5	4
9, 19	Активированный уголь	Нетканый материал	4900	20	25	1,21	21,4	8
10, 20	Порошковое молоко	Лавсан	10000	30	16	1,24	21,2	6

V_{Γ} - расход очищаемого газа, м³/ч; ρ_{Γ} - плотность газа при рабочих условиях, кг/м³; μ_{Γ} - вязкость газа при рабочей температуре, Па·с; $C_{\text{п}}$ - концентрация пыли в газе, поступающем на очистку, г/м³; d_m – медианный диаметр частиц пыли, мкм; t_{Γ} – температура очищаемого газа, °С.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Цель работы: изучение устройства и методики расчета электрофильтров.

Общая характеристика и принцип действия электрофильтров

В металлургии, химической промышленности, на ТЭЦ и в ряде других отраслей широко применяются электрофильтры, обеспечивающие степень улавливания пыли 99,5 %. В электрофильтре рабочей частью является активная зона (активный объем), в которой создается электрическое поле под действием напряжения. Напряжение подается на коронирующие электроды (от отрицательного полюса выпрямителя) и на осадительные электроды (от положительного полюса). Общий вид электрофильтра представлен на рис.3.1. Горизонтальный пластинчатый двухполюсный электрофильтр(рис.3.1, а) состоит из бункера, встряхивателя электродов, полосы встряхивания, газораспределительной решетки, изоляторных коробок, осадительного и коронирующего электродов, привода механизма встряхивания электродов. Перечисленные узлы смонтированы в корпусе электрофильтра.

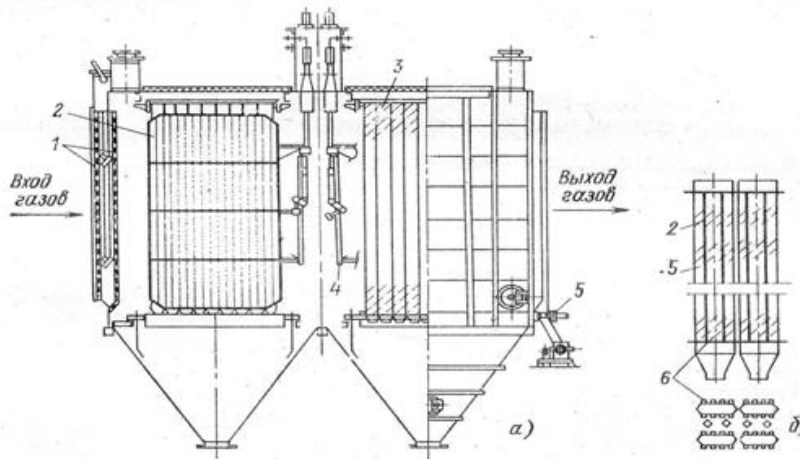


Рис. 3.1 Горизонтальный пластинчатый двухполюсный электрофильтр:

а – схема электрофильтра; б – схема осадительных электродов.

1 – газораспределительная решетка; 2 – коронирующие электроды;
3 – осадительные электроды; 4 – механизм встряхивания коронирующих

электродов; 5 – механизм встряхивания осадительных электродов; 6 – карманы осадительных электродов

Электрическая фильтрация основана на зарядке взвешенных частиц и осаждении заряженных частиц на осадительных электродах под действием электрических сил. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения. При достаточно большом напряжении, приложенном к электродам, у поверхности коронирующего электрода возникает интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающаяся возникновением коронного разряда (короны). Коронный разряд – это явление ударной ионизации газа под действием движущихся электронов или ионов вблизи коронирующего электрода.

Взвешенные частицы, поступающие в зону между электродами, адсорбируют на своей поверхности ионы, приобретая электрический заряд. Заряженные частицы под действием электрического поля движутся в сторону электрода с зарядом противоположного знака и оседают на коронирующем и осадительном электродах. Электрофильтр питается от источника высокого напряжения (20-90кВ).

Методика расчета

1. Определяют плотность очищаемого газа при рабочих условиях, кг/м³:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_0 \frac{(P_{\text{атм}} - B) \cdot 273}{P_0(273 + t)}, \quad (1)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление; P_0 – давление при нормальных условиях ($P_0 = 760$ мм рт.ст.); B – вакуум в системе; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; t – температура газа, °С.

2. Рассчитывают объемный расход газа в рабочих условиях:

$$V_{\Gamma} = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{3600 \cdot \rho_{\Gamma}}. \quad (2)$$

3. Находят необходимую площадь сечения электрофильтра, м²:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{\omega_{\Gamma}}, \quad (3)$$

где ω_{Γ} – скорость потока газа в электрофилт্রে, м/с.

В промышленных электрофилтрах скорость газа составляет 0,75 – 1,5 м/с при трубчатой конструкции и 0,5 – 1,0 м/с при пластинчатой конструкции.

4. На основании рассчитанной площади сечения выбирают тип электрофилтра с ближайшей большей площадью активного сечения филтра F_{ϕ} (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Характеристики и условия работы электрофилтров

Тип	Условия применения	Рабочее напряжение, U_p , кВ	Площадь активного сечения F_{ϕ} , м ²	Число колебанй	Активная длина поля L, м	Общая площадь осаждения F_0 , м ²
УГ1-3-10	Сухие газы $t < 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$	70-90	10	3	2,51	630
УГ1-3-15			15	3	2,51	940
УГ2-3-26			26	3	2,51	1690
УГ2-3-37			37	3	2,51	2360
УГ3-3-88			88	3	3,95	9200
УГ3-4-115			115	4	3,95	16100
УГ3-4-177			177	4	3,95	24600
УГ3-4-230			230	4	3,95	32200
УВ-2x10	Сухие дымовые газы ($t < 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$) Аспирационный воздух	70-90	21	1	7,4	1200
УВ-3x10			32	1	7,4	1800
УВ-1x16			16	1	7,4	900
УВ-2x16			32	1	7,4	1800
УВ-2x24			48	1	7,4	2600
УВВ-8	Влажные газы	40-50	8	1	6,2	285
УВВ-12			12	1	6,2	430
УВВ-16			16	1	6,2	570
УВВ-2x12			24	1	6,2	870

Определяют фактическую скорость газа в выбранном типе электрофилтра:

$$\omega_{\text{фак}} = \frac{V_{\Gamma}}{F_{\phi}}. \quad (4)$$

5. Определяют относительную плотность газа:

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{(P_{\text{атм}} - B)(273 + t_{\text{ст}})}{P_{\text{ст}}(273 + t)}. \quad (5)$$

где $P_{\text{ст}}$ – давление при стандартных условиях ($P_{\text{ст}} = 760$ мм рт.ст.); $t_{\text{ст}}$ – температура при стандартных условиях ($t_{\text{ст}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

6. Рассчитывают критическую напряженность электрического поля, В/м:

$$E_{кр} = 3,04 \cdot 10^6 \left(\rho_{отн} + 0,0311 \sqrt{\frac{\rho_{отн}}{R_1}} \right), \quad (6)$$

где R_1 – радиус коронирующего электрода (принимается $R_1 = 0,002 - 0,003$ м).

7. Находят величину средней напряженности электрического поля:

$$E_{ср} = \frac{U_p}{H}, \quad (7)$$

где U_p – рабочее напряжение электрофильтра, В (табл. 3.1); H – расстояние между осадительным и коронирующим электродами ($H = 0,15$ м).

8. Рассчитывают скорость дрейфа частиц загрязнений в электрическом поле, м/с:

$$\omega_э = 1,18 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{ср}^2}{\mu} \cdot r, \quad (8)$$

где μ – динамическая вязкость газа, Па·с; r – средний радиус частиц загрязнений, м.

9. Определяют удельную площадь осаждения, $м^2$:

$$f = \frac{F_0}{V_r}, \quad (9)$$

где F_0 – общая площадь осаждения электрофильтра, $м^2$ (табл. 3.1).

10. Вычисляют фактический коэффициент степени пылеочистки:

$$\eta = 1 - e^{-\omega_э \cdot f} \quad (10)$$

Задание

В соответствии с заданным вариантом рассчитать площадь сечения электрофильтра, выбрать тип электрофильтра и определить степень пылеочистки газа в фильтре выбранного типа. Исходные данные для расчета приведены в табл.3.2.

Исходные данные	Варианты заданий								
	1, 10	2, 11	3, 12	4, 13	5, 14	6, 15	7, 16	8, 17	9, 18
$V_0, м^3/ч$	50000	60000	70000	80000	90000	40000	55000	85000	60000
$\rho_0, кг/м^3$	1,25	1,3	1,22	1,18	1,26	1,34	1,24	1,28	1,21
$\mu \cdot 10^6, Па \cdot с$	18,1	19,4	22,1	18,5	19	20,1	22	20,5	18,6
$B, мм рт.ст$	3	5	7	9	5	4	6	8	2
$r, мкм$	20	35	15	25	20	30	25	20	35

t, °С	150	130	140	150	120	160	130	180	140
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 3.2. Исходные данные для расчета по вариантам
 V_0 - расход очищаемого газа при нормальных условиях, м³/ч; ρ_0 - плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; μ - вязкость газа при рабочей температуре, Па·с; B – вакуум в аппарате, мм рт.ст; r – средний радиус частиц загрязнений, мкм; t – температура газа, °С.

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4.

РАСЧЕТ СКРУББЕРА ВЕНТУРИ

Цель работы: изучение конструкции скруббера Вентури, приобретение навыков расчета аппаратов мокрой очистки газовых выбросов.

Общая характеристика и принцип действия скруббера Вентури

Скруббер Вентури (рис.4.1) включает трубу Вентури и прямоточный циклон-каплеуловитель. Труба Вентури состоит из конфузора, служащего для увеличения скорости газа, горловины, где происходит осаждение пыли на каплях воды, и диффузора, в котором протекают процессы коагуляции. Подача газа в каплеуловителе осуществляется тангенциально. При этом происходит вращение газового потока. За счет центробежных сил смоченные и укрупненные частицы пыли отбрасываются на стенки и удаляются непрерывно в виде шлама. Скорость газа в циклоне должна быть в пределах 2,5-4,5 м/с. Работа скрубберов Вентури основана на дроблении воды турбулентным газовым потоком, захвате каплями воды частиц пыли, последующей их коагуляции и осаждении в каплеуловителе.

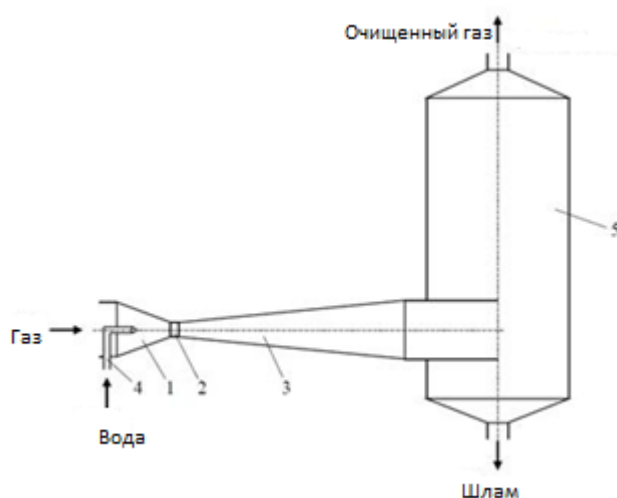


Рис. 4.1 Скруббер Вентури

1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – оросительное устройство;
5 – каплеуловитель

Скрубберы Вентури работают с высокой эффективностью $\eta = 96 - 98\%$ на пылях со средним размером частиц 1-2 мкм. Начальная концентрация пылей в газе может составлять от 0,05 до 100 г/м³. Скорость газа в горловине должна поддерживаться в пределах 30-150 м/с, а удельный расход воды - в пределах 0,25-1,25 дм/м³. Большой удельный расход воды применяют при очистке газа, содержащего мелкодисперсную пыль. Для очистки газа от частиц пыли крупнее 5 мкм используют низконапорные трубы с гидравлическим сопротивлением менее 5 кПа. Для очистки газа от мелкодисперсной пыли применяют высоконапорные трубы Вентури с сопротивлением 5-25 кПа. Полная длина трубы может достигать нескольких метров.

Методика расчета

1. Определяют необходимую эффективность работы аппарата:

$$\eta = 1 - \frac{x_2}{x_1}, \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – соответственно концентрация пыли в газе до и после очистки, мг/м³.

2. Находят число единиц переноса

$$N_n = \ln\left(\frac{1}{1 - \eta}\right), \quad (2)$$

3. Удельную энергию, затрачиваемую на пылеулавливание, определяют по формуле, Дж/(1000м³ газа):

$$K_T = \sqrt[n]{N_n/B}, \quad (3)$$

значения коэффициентов B и n зависят от физико-химических свойств и дисперсного состава пыли (табл.4.1)

Таблица 4.1. Характеристика некоторых видов пылей

Вид пыли	B	n
Конверторная пыль	0,0988	0,4663
Тальк	0,206	0,3506
Ваграночная пыль	0,0135	0,621
Мартеновская пыль	0,0192	0,5688
Доменная пыль	0,0066	0,891

Пыль известковых печей	0,0007	1,053
Пыль печей, выплавляющих латунь	0,0234	0,5371
Пыль закрытых электропечей	0,0069	0,67
Пыль каолинового производства	0,0002	1,115

4. Рассчитывают общее гидравлическое сопротивление скруббера Вентури, Па:

$$\Delta P = K_T - P_B \cdot m, \quad (4)$$

где P_B – давление воды, поступающей на орошение, Па; m – удельный расход воды на орошение газа, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

5. Определяют плотность газа на входе в трубу Вентури при рабочих условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_T = \rho_0 \frac{(P_{\text{атм}} - P_T) \cdot 273}{P_0(273 + t_T)}, \quad (5)$$

где ρ_0 – плотность газ при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$; $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, мм рт.ст.; P_T – разряжение перед газоочисткой, мм рт.ст.; P_0 – давление при нормальных условиях ($P_0 = 760$ мм рт.ст.); t_T – температура газа перед очисткой, °С.

6. Рассчитывают расход газа при рабочих условиях, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_T = V_0 \frac{\rho_0}{3600 \cdot \rho_T}, \quad (6)$$

где V_0 – расход газа при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{ч}$.

7. Вычисляют расход орошающей воды, $\text{кг}/\text{с}$:

$$G_B = V_T \cdot m, \quad (7)$$

8. Температуру газа на выходе из скруббера определяют по формуле, °С:

$$t_K = (0,133 - 0,041m)t_T + 35. \quad (8)$$

9. Плотность газа на выходе из скруббера, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_K = \rho_0 \frac{(P_{\text{атм}} - P_T - \Delta P) \cdot 273}{P_0(273 + t_K)}. \quad (9)$$

10. Объемный расход газа на выходе из скруббера, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_K = V_0 \frac{\rho_0}{3600 \cdot \rho_K}. \quad (10)$$

11. Рассчитывают диаметр циклона-каплеуловителя, м:

$$D_{\text{ц}} = 1,13 \sqrt{\frac{V_{\text{к}}}{w_{\text{ц}}}}, \quad (11)$$

где $w_{\text{ц}}$ – скорость газа в циклоне ($w_{\text{ц}} = 2,5 - 5,0$ м/с)

12. Определяют высоту циклона-каплеуловителя, м:

$$H = D_{\text{ц}} \cdot K_{\text{ц}}, \quad (12)$$

где $K_{\text{ц}}$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости газа в циклоне (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Значения коэффициента $K_{\text{ц}}$

$w_{\text{ц}}, \text{ м/с}$	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-5
$K_{\text{ц}}$	2,5	2,8	3,8	4,5

13. Гидравлическое сопротивление циклона-каплеуловителя, Па:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \frac{\rho_{\text{к}} w_{\text{ц}}^2}{2}, \quad (13)$$

где $\xi_{\text{ц}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления, принимаемый для прямоточного циклона в пределах $\xi_{\text{ц}} = 33 - 35$.

14. Гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Па:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P - \Delta P_{\text{ц}}. \quad (14)$$

15. Рассчитывают диаметр горловины трубы Вентури, м:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{V_{\text{г}}}{w_{\text{г}}}}, \quad (15)$$

где $w_{\text{г}}$ – скорость газа в горловине, м/с.

$$w_{\text{г}} = \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{т}}}{\xi_{\text{с.тр}}\rho_{\text{г}} + \xi_{\text{в}}\rho_{\text{в}}m}}, \quad (16)$$

где $\xi_{\text{с.тр}}$ – коэффициент сопротивления сухой трубы ($\xi_{\text{с.тр}} = 0,1 - 0,2$); $\xi_{\text{в}}$ – коэффициент сопротивления трубы при вводе воды.

$$\xi_{\text{в}} = 0,63 \xi_{\text{с.тр}} \left(\frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{г}}} \cdot \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^{-0,3}, \quad (17)$$

где $G_{\text{г}}$ – массовый расход газа, кг/с; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при $t = 20$ °С.

$$G_{\text{г}} = \frac{V_0 \rho_0}{3600}. \quad (18)$$

16. Длина горловины определяется по формуле, м:

$$l = 0,15d. \quad (19)$$

Задание

В соответствии с заданным вариантом рассчитать основные геометрические размеры и гидравлическое сопротивление скруббера Вентури. Исходные данные для расчета приведены в табл.4.3.

Таблица 4.3. Исходные данные для расчета по вариантам

№ вар.	Вид загрязненных газов	$V_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$t_r, \text{ }^\circ\text{C}$	$P_r, \text{ мм рт.ст}$	$\rho_0, \text{ кг/м}^3$	$P_v, \text{ кПа}$	$m \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$x_1, \text{ мг/м}^3$	$x_2, \text{ мг/м}^3$
1, 11	Конверторная пыль	3600	60	15	1,24	300	1,2	1000	20
2, 12	Тальк	4800	70	12	1,25	320	1,35	1600	25
3, 13	Ваграночная пыль	3900	75	18	1,26	290	1,4	2000	40
4, 14	Мартеновская пыль	4200	80	20	1,27	400	1,55	900	15
5, 15	Доменная пыль	5500	65	14	1,28	350	1,0	1500	30
6, 16	Пыль известковых печей	6900	80	17	1,09	250	1,1	1400	35
7, 17	Пыль печей, выплавляющих латунь	8000	60	15	1,13	380	1,15	1100	20
8, 18	Пыль закрытых электропечей	7200	90	16	1,02	300	1,2	850	15
9, 19	Пыль каолинового производства	4900	85	10	1,21	410	1,25	1200	40
10, 20	Конверторная пыль	2000	70	19	1,24	380	1,3	550	10

V_0 - расход очищаемого газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t_r – температура очищаемого газа, $^\circ\text{C}$; P_r – разряжение перед газоочисткой, мм рт.ст.; ρ_0 - плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3 ; P_v – давление воды поступающей на орошение, Па; m – удельный расход воды на орошение газа, $\text{м}^3/\text{м}^3$; x_1 и x_2 – соответственно концентрация пыли в газе до и после очистки, мг/м^3

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5.

РАСЧЕТ АППАРАТОВ АДСОРБЦИИ ГАЗОВ

Цель работы: применение приобретенных знаний при расчете процесса адсорбции и аппарата адсорбера.

Общая характеристика и принцип действия адсорбера газов

Процесс адсорбции происходит на поверхности твердого пористого тела – адсорбента, где ненасыщенные поверхностные силы вступают во взаимодействие с силовыми полями адсорбируемых молекул. Адсорбенты, используемые в системах очистки отходящих газов, должны удовлетворять

следующим требованиям: иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при небольших концентрациях их в газовых смесях, обладать высокой селективностью, иметь высокую механическую прочность, обладать способностью к регенерации и иметь низкую стоимость. На практике нашли применение следующие адсорбенты: активные угли, силикагели, алюмогели и цеолиты.

Для очистки газов используют адсорберы периодического и непрерывного действия. К аппаратам периодического действия относятся вертикальные, горизонтальные, кольцевые адсорберы, а также выполненные в виде трубчатого теплообменника. Вертикальные адсорберы изготавливают нескольких модификаций. Адсорберы с верхним вводом исходной смеси (рис. 5.1) выполняют из стального листа толщиной 8...10 мм.

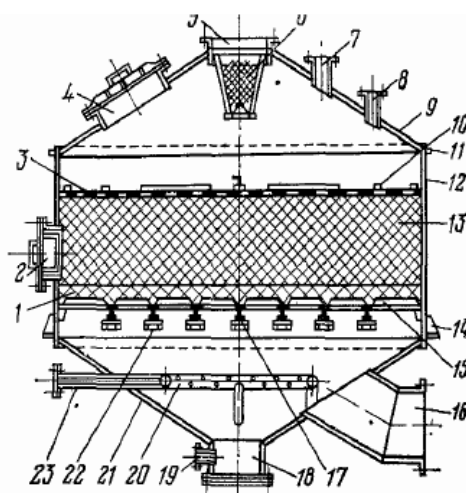


Рис. 5.1. Адсорбер с неподвижным слоем поглотителя:

1 – гравий; 2 – разгрузочный люк; 3, 6 – сетка; 4 – загрузочный люк; 5 –штуцер для подачи исходной смеси; 7 – штуцер для отвода паров при десорбции; 8 - штуцер для предохранительного клапана; 9 – крышка; 10 – грузы; 11 – кольцо жесткости; 12 – корпус; 13 – адсорбент; 14 – опорное кольцо; 15 – колосниковая решетка; 16 – штуцер для отвода очищенного газа; 17 – балки; 18 – смотровой люк; 19 – штуцер для отвода конденсата и подачи воды; 20 – барботер; 21 – днище; 22 – опоры балок; 23 – штуцер для подачи водяного пара через барботер

Цилиндрическая обечайка при высоте до 2,2 м может иметь диаметр 2; 2,5 и 3 м в зависимости от требуемой производительности. Днище и крышка — конические. Высота слоя сорбента выбирается в интервале от 0,5 до 1,2 м. Адсорбент в этих аппаратах помещается на разборных колосниковых решетках, которые располагаются на балках. Последние устанавливают на опоры, приваренные к стенке корпуса адсорбера. Для регенерации адсорбента чаще всего применяют насыщенный водяной пар, который поступает в угольную шихту снизу под решетку. При использовании в качестве подложки слоя гравия для его нагрева требуется значительное дополнительное тепло, поэтому выгоднее применять подложку из сеток. Для предотвращения уноса угля слой сорбента покрывают сверху сеткой с ячейками.

Методика расчета

1. Выбирают рабочую температуру (минимально возможную) и тип сорбента. Выбор сорбента проводится по изотерме адсорбции при данных t и C_0 . В данной расчетной работе параметры сорбента приведены в таблице исходных данных (вариантов).

2. Рассчитывают коэффициент диффузии примеси в воздухе D , м²/с:

$$D = \frac{0,00435 \cdot T^{1,5}}{P(V_{mA} + V_{mB})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} - \frac{1}{M_B}}, \quad (1)$$

где T – температура потока, К; P – давление (атмосферное), Па; V_{mA} , V_{mB} , M_A и M_B – мольные объемы (см³/моль) и массы (кг/кмоль) соответственно примеси (А) и воздуха (В). Мольные объемы определяют как сумму атомных объемов элементов. Мольные массы определяют как сумму атомных масс элементов. Для воздуха: $V_{mB}=29,9$ см³/моль; $M_B=29$ кг/кмоль.

3. Рассчитывают значение коэффициента массопередачи K , 1/с:

$$K = 1,6 \cdot \frac{D}{d_3^{1,46}} \cdot \left(\frac{v_0}{\nu}\right)^{0,54}, \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии, м²/с; ν – кинематическая вязкость очищаемого газа, м²/с (для воздуха, при 20 °С $\nu=16 \cdot 10^{-6}$ м²/с, плотность $\rho=1,2$ кг/м³); d_3 – размер зерна сорбента, м.

4. Определяют время процесса адсорбции τ , с:

$$\tau = \left(\sqrt{\frac{C \cdot H}{v_0 \cdot C_0}} - b \sqrt{\frac{C}{K \cdot C_0}} \right)^2, \quad (3)$$

где $C = \alpha \cdot \rho_n$ – концентрация адсорбируемого вещества в адсорбенте, равновесная с концентрацией потока, кг/м³; H – высота слоя адсорбента, принимаем $H=1\text{м}$; v_0 – скорость газового потока, поступающего в адсорбер ($v_0=0,4 - 0,8$ м/с). Коэффициент b определяется в зависимости от концентрации примеси на входе адсорбера C_0 , и требуемой концентрации примеси на выходе адсорбера C_1 (табл. 5.1), принимаем $C_1 = 0,5$ г/м³ = $0,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Таблица 5.1. Значения коэффициента b

C_1/C_0	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,014	0,030
b	1,84	1,80	1,76	1,73	1,70	1,67	1,62	1,58	1,35

5. Определяют минимально необходимую массу сорбента m , кг:

$$m = \frac{Q \cdot C_0 \cdot \tau}{\alpha} K_3, \quad (4)$$

где α – статическая поглотительная способность сорбента в рабочих условиях, кг/кг; $K_3=1,2$ – коэффициент запаса.

6. Коэффициент формы зерен, учитывающий неравную доступность всей поверхности зерна обдуваемому потоку:

$$K_\phi = \frac{1,5 \cdot d_3 \cdot l_3}{(l_3 + 0,5 \cdot d_3) \cdot (1,5 \cdot d_3^2 \cdot l_3)^{1,3}}, \quad (5)$$

где d_3 и l_3 – диаметр и длина зерен, мм.

7. Пористость слоя сорбента:

$$\Pi = \frac{\rho_k - \rho_n}{\rho_k}, \quad (6)$$

где ρ_k и ρ_n – кажущаяся и насыпная плотность сорбента, кг/м³.

8. Эквивалентный диаметр зерен d_3 , м:

$$d_3 = \frac{\Pi \cdot d_3 \cdot l_3}{(1 - \Pi) \cdot (0,5 \cdot d_3 + l_3)^{1,3}}. \quad (7)$$

9. Критерий Рейнольдса, учитывающий характер потока:

$$Re = \frac{v_0 \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{Г}}}{\mu_{\text{Г}}}, \quad (8)$$

где $v_0=0,5$ м/с; $\rho_{\text{Г}}=1,2$ кг/м³; $\mu_{\text{Г}}=19,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

10. Коэффициент гидравлического сопротивления:

при $Re < 50$ $R=220/Re$, при $50 \leq Re < 7200$ $R=11,6/Re^{0,25}$.

11. Определяют скорость потока газа v (м/с) через адсорбер в зависимости от падения давления, параметров сорбента и газа:

$$v = \left(\frac{4 \cdot K_{\phi} \cdot \Delta P \cdot d_{\text{э}} \cdot \Pi \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot Q}{3 \cdot R \cdot \rho_{\text{Г}} (1 - \Pi) \cdot m} \right)^{0,33}, \quad (9)$$

где ΔP – падение давления, Па.

12. Диаметр адсорбера $D_{\text{а}}$, м:

$$D_{\text{а}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v \cdot \Pi}}. \quad (10)$$

13. Длина (высота) слоя сорбента L , м:

$$L = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot D_{\text{а}}^2}. \quad (11)$$

14. Высота аппарата: $H=(1,2 \dots 1,5)D_{\text{а}}$.

15. Начертить конструктивную схему аппарата с размерами (рис. 5.2).

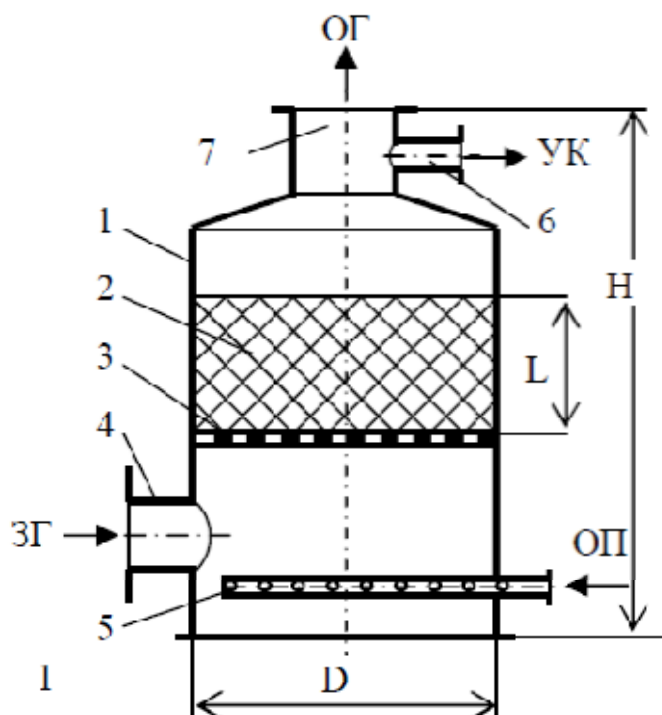


Рис. 5.2. Схема адсорбера: 1 – корпус; 2 – адсорбент; 3 – решетка; 4 – патрубок входной для ЗГ (загрязненный газ); 5 - приспособления для подачи ОП (острый пар); 6 – патрубок вывода УК (уловленный компонент) при десорбции; 7 – патрубок вывода ОГ (очищенный газ)

Задание

В соответствии с заданным вариантом определить необходимую массу адсорбента и рассчитать основные геометрические размеры адсорбера для очистки воздуха. Исходные данные для расчета приведены в табл.5.2.

Таблица5.2. Исходные данные для расчета по вариантам

№ вар.	Адсорбируемое вещество	Q, м ³ /ч	V _{мА} , см ³ /моль	C ₀ , г/м ³	α, кг/кг	ρ _п , кг/м ³	ρ _к , кг/м ³	ΔP _в , кПа	d _з , мм	l _з , мм
1, 11	CO	600	26,4	90	0,45	500	750	1,5	4	10
2, 12	SO ₂	800	37,1	60	0,26	450	700	1,6	8	16
3, 13	NO	900	25,5	70	0,23	400	650	0,9	9	20
4, 14	NH ₃	1200	28,3	85	0,32	350	550	1,8	3	9
5, 15	H ₂ S	500	35,6	55	0,25	550	800	1,6	7	15
6, 16	Cl ₂	900	38,5	40	0,29	600	750	2,1	7	14
7, 17	C ₆ H ₆	400	29,2	60	0,28	500	700	1,9	4	11
8, 18	NO ₂	700	36,8	90	0,3	400	650	1,7	3	8,5
9, 19	I ₂	650	40,1	70	0,35	500	750	2,2	5	12
10, 20	CH ₃ Cl	1000	34,7	80	0,33	350	800	2,0	2	5,5

Q – объемный расход очищаемого газа (воздуха), м³/с; C₀ – концентрация примеси, кг/м³; свойства очищаемого газа (температура, плотность, вязкость); ΔP – перепад давления отходящих газов, кПа.

6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. РАСЧЕТ ПЕСКОЛОВКИ И ОТСТОЙНИКОВ

Цель работы: приобретение навыков выбора и расчета песколовки и отстойников.

Общая характеристика и принцип действия отстойников

Отстаивание – наиболее простой, дешевый и широко применяемый в практике метод выделения из сточных вод взвешенных веществ, а также получения определенного качества осветленной воды. В зависимости от требуемой степени очистки сточных вод отстаивание применяют или в целях

предварительной их обработки перед очисткой на других сооружениях, или как единственный способ очистки, если по местным санитарным условиям требуется выделить из сточных вод только нерастворенные примеси.

В зависимости от назначения отстойников в технологической схеме очистной станции их подразделяют на первичные и вторичные. Первичными называют отстойники, устраиваемые перед сооружениями для биохимической очистки сточных вод; вторичными – устраиваемые для осветления сточных вод, прошедших биохимическую очистку.

Наиболее широко применяемыми типами отстойников являются горизонтальные, радиальные и вертикальные.

Горизонтальный отстойник(рис. 6.1) представляет собой прямоугольный резервуар коридорного типа с иловым приемком, расположенным в начале резервуара. Сточная вода движется прямолинейно и горизонтально. Отстойник оборудован скребковым механизмом, сдвигающим выпавший осадок к приемку. Осадок из приемка удаляется насосами, гидроэлеваторами, грейферами или под гидростатическим давлением.

Горизонтальные отстойники менее чувствительны, по сравнению с другими типами отстойников, к гидравлическим перегрузкам и изменениям температуры осветляемой жидкости, коэффициент использования объема – 0,5.

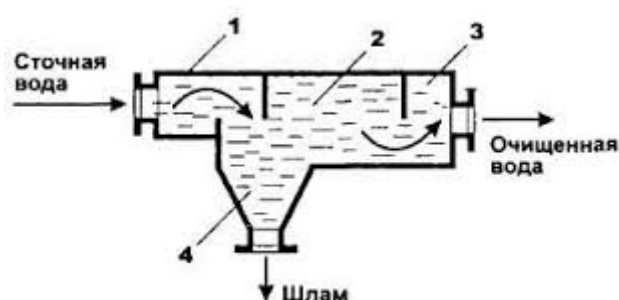


Рис. 6.1. Схема горизонтального отстойника:

1 – входной лоток; 2 – зона отстаивания; 3 – выходной поток; 4 – приемок

Вертикальные отстойники– это круглые в плане резервуары с коническим дном или квадратные с дном в виде пирамидальных приемков (рис. 6.2). В вертикальных отстойниках сточная жидкость подается в нижнюю часть

отстойника, вода движется вертикально вверх, а взвешенные частицы оседают на дно. Для эффективной работы вертикальных отстойников необходимо, чтобы скорость подъема воды была ниже скорости свободного осаждения взвешенных веществ. Вертикальные отстойники могут отличаться конструкцией впускных и выпускных устройств, от чего зависят коэффициент использования объема отстойника и соответственно его производительность. Наиболее распространенный тип впускного устройства – центральная труба с раструбом и отражательным щитом.

Отстойники с вертикальным движением воды получили довольно большое распространение в практике очистки сточных вод благодаря меньшей необходимой площади и большей высоте, которая обеспечивает некоторый запас в общей вертикальной схеме очистных сооружений, а также удобству удаления из них осадка, выпуск которого из конусной части производится по иловой трубе под гидростатическим давлением.

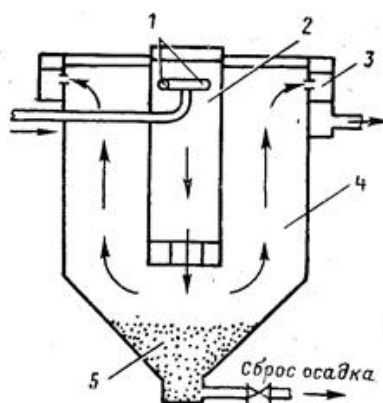


Рис. 6.2. Схема вертикального отстойника:

- 1 – ввод суспензии; 2 – центральная труба; 3 – водосборные желоба; 4 – зона осаждения; 5 – зона накопления осадка

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар, сточная вода подается по центральной трубе и движется от центра к периферии (рис. 6.3). Осветленная сточная жидкость отводится через водослив в круговой периферийный лоток. Коэффициент использования объема в радиальных отстойниках 0,45. Осадок из радиального отстойника удаляется насосами из центрально расположенного илового приемка, куда сдвигается с помощью

илоскребов. Радиальные отстойники применяются при производительности очистной станции более 20000 м³/сут.

Особенностью гидравлического режима работы радиальных отстойников является то, что величина скорости движения воды в них изменяется от максимального ее значения в центре отстойников до минимального у периферии.

Радиальные отстойники применяют как в качестве первичных, так и вторичных. Отношение диаметра отстойника к его глубине у периферийного водосборного лотка может быть от 6 до 10.

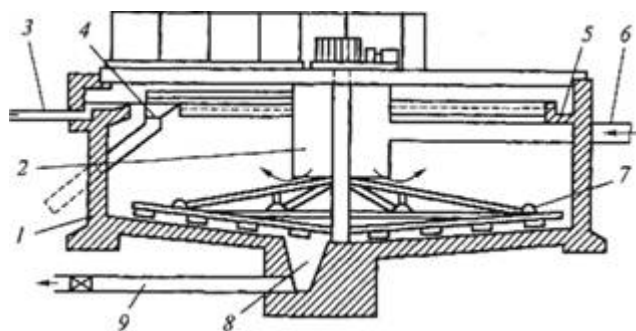


Рис.6.3.Радиальный отстойник:

1– ограждающие конструкции; 2– распределительный стакан; 3,6– отвод и подача сточной воды; 5 – сборный лоток; 7 – вращающаяся ферма со скребками; 8– приямок для сброса осадка; 9– сброс осадка

Методика расчета

Упражнение 1. Расчет горизонтальной песколовки

1. Площадь сечения песколовки определяется по формуле, м²:

$$F = \frac{Q}{v \cdot N}, \quad (1)$$

где Q – расход сточных вод, м³/с; v – средняя скорость движения воды, принимаем 0,2 м/с; N– количество отделений.

2. Длину песколовки вычисляют по формуле, м:

$$L = k \cdot \frac{h_1}{u_0} \cdot v, \quad (2)$$

где h_1 – глубина проточной части, м; u_0 – гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, м/с (табл. 6.1); k – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других факторов на работу песколовки:

$$k = \frac{u_0}{\sqrt{u_0^2 - 0,0025v^2}} \quad (3)$$

3. Рассчитывают ширину песколовки, м:

$$B = \frac{F}{h_1} \quad (4)$$

4. Общая высота песколовки, м:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где h_1 , h_2 , h_3 и h_4 – соответственно высота проточной части, слоя песка, надводной части и приямки (принимаем: $h_4 = h_1$; $h_2 = h_3 = h_1/2$).

5. Уклон днища для сползания слоя песка к приямку принимают 0,2-0,4.

6. Начертить схему песколовки (рис.6.4).

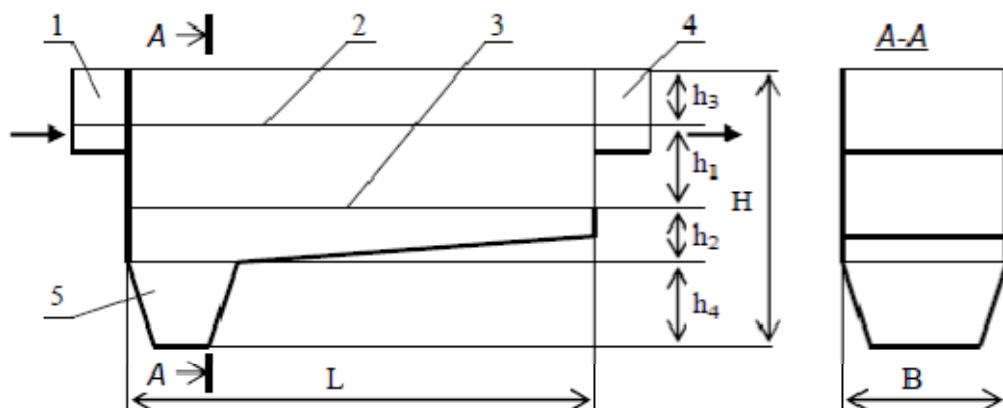


Рис. 6.4. Схема горизонтальной песколовки:

1 – лоток подающий; 2 – уровень воды; 3 – слой песка; 4 – лоток отводящий; 5 – приямок

Таблица 6.1. Исходные данные для расчета песколовки по вариантам

№ варианта	Q, м ³ /ч	N	h ₁ , м	u ₀ , мм/с
1, 10	500	1	0,5	25
2, 11	400	2	0,7	30
3, 12	300	1	0,6	28
4, 13	100	2	0,4	41
5, 14	200	1	0,8	34
6, 15	600	2	1,0	29
7, 16	1000	1	0,5	39

8, 17	450	2	0,4	40
9, 18	800	1	0,6	22

Упражнение 2. Расчет отстойника.

1. Рассчитывают скорость осаждения шарообразных частиц для ламинарного режима ($Re < 2$; $\xi = 24/Re$), м/с:

$$\omega_{oc} = g \cdot d_{ч}^2 \cdot \frac{(\rho_{ч} - \rho_{ж})}{18 \cdot \mu_{ж}}, \quad (5)$$

где $d_{ч}$ – эквивалентный диаметр частицы, м; $\rho_{ч}$ – плотность частицы, кг/м³; $\mu_{ж}$ – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с.

Если плотности смешиваемых компонентов отличаются более чем на 30 %, то плотность жидкости рассчитывают по формуле, кг/м³:

$$\rho_{ж} = \frac{1}{\frac{x_{ч}}{\rho_{ч}} + \frac{(1-x_{ч})}{\rho_{в}}}, \quad (6)$$

где $\rho_{в}$ – плотность воды при данной температуре, кг/м³; $x_{ч}$ – массовая доля твердой фазы в очищаемой жидкости.

2. Проверяют режим осаждения:

$$Re = \frac{\omega_{oc} \cdot d_{ч} \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}}, \quad (7)$$

Если число Рейнольдса меньше двух ($Re < 2$); то $\xi = 24/Re$.

Если число Рейнольдса больше двух ($Re > 2$), то необходимо провести перерасчёт скорости осаждения, м/с:

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d_{ч} \cdot (\rho_{ч} - \rho_{с})}{3 \cdot \xi \cdot \rho_{с}}}. \quad (8)$$

Для переходного режима ($2 < Re < 500$) $\xi = 18,5/Re^{0,65}$;

Для турбулентного режима ($Re > 500$) $\xi = 0,44$.

3. Рассчитывают скорость стесненного осаждения, м/с:

$$\omega_{oc}^* = \omega_{oc} \cdot \varepsilon, \quad (9)$$

где ε – поправочный коэффициент, учитывающий объёмную концентрацию φ (в долях),

$$\varphi = \frac{x_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ч}}}, \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{(1 - \varphi)^2}{(1 + 2,5\varphi + 7,35\varphi^2)}. \quad (11)$$

4. Определяют массовую производительность отстойника по осветляемой жидкости:

$$G_{\text{осв}} = G_{\text{с}} - G_{\text{осд}}, \quad (12)$$

где $G_{\text{с}}$ – производительность по суспензии, кг/с; $G_{\text{осд}}$ – производительность отстойника по влажному осадку, кг/с.

Производительность по твёрдой фазе, поступающей с суспензией:

$$G_{\text{т.ф.}} = G_{\text{с}} \cdot x_{\text{ч}}. \quad (13)$$

Количество получаемого из суспензии влажного осадка:

$$G_{\text{осд}} = \frac{G_{\text{т.ф.}}}{1 - U}. \quad (14)$$

где U – влажность осадка.

5. Вычисляют объёмную производительность отстойника по осветлённой жидкости, м³/с:

$$V_{\text{ос}} = F \cdot \omega_{\text{ос}}^*, \quad (14)$$

где F – площадь осаждения отстойника, м²:

$$F = 1,3 \cdot G_{\text{с}} \frac{\left(1 - \frac{x_{\text{ч}}}{1-U}\right)}{\rho_{\text{ж}} \cdot \omega_{\text{ос}}^*}. \quad (15)$$

6. Чтобы устранить перемешивание жидкости у свободной поверхности, высоту зоны свободного осаждения в отстойнике принимают равной $h_1 = 0,45 \dots 0,75$ м, при этом наибольшее значение выбирают для более концентрированных суспензий.

7. Высота зоны осаждения, м:

$$h_2 = \frac{m_{\text{т.ф.}}}{\rho_{\text{ч}}}, \quad (14)$$

где $m_{\text{т.ф.}}$ – масса твёрдой фазы, осаждающейся в единицу времени ($\tau = 1$ ч) на единице свободной поверхности отстойника, кг:

$$m_{\text{т.ф.}} = \frac{G_c \cdot x_c \cdot \tau}{3600 \cdot F} \quad (15)$$

8. Высоту зоны расположения лопастей мешалки определяют исходя из наклона лопастей, равного приблизительно 0,146 м на 1 длины. Высота этой зоны, м:

$$h_3 = 0,073 \cdot D, \quad (16)$$

где – диаметр отстойника D, м $D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$. (17)

9. Общая высота отстойника: $H = h_1 + h_2 + h_3$. (18)

10. Начертить схему отстойника (рис.6.5).

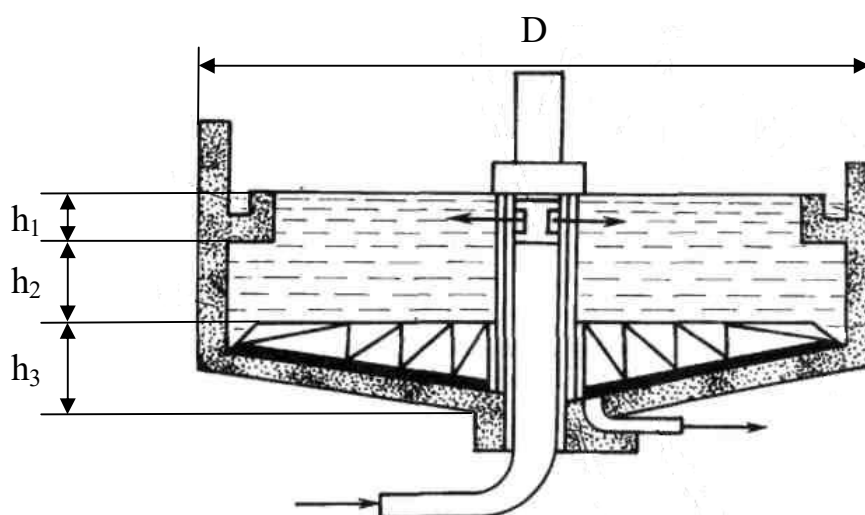


Рис. 6.5. Схема отстойника

Задание

В соответствии с заданным вариантом определить основные геометрические размеры песколовки и радиального отстойника для очистки воды от механических примесей. Исходные данные для расчета приведены в табл.6.1. и табл. 6.2.

Таблица 6.2. Исходные данные для расчета отстойника по вариантам

№ варианта	$d_{\text{ч}}$, мкм	G_c , кг/ч	x_c	$\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³	t , °С	U , %
1, 10	80	30000	0,04	1600	25	70
2, 11	75	30000	0,045	1550	20	65
3, 12	70	25000	0,05	1750	30	75
4, 13	65	25000	0,055	1400	25	60
5, 14	60	20000	0,06	1450	20	70
6, 15	55	20000	0,065	1600	15	65
7, 16	40	15000	0,07	1550	25	75

8, 17	35	15000	0,075	1700	20	60
9, 18	30	10000	0,08	1650	30	70

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Цель работы: приобретение навыков расчета массовой концентрации загрязнений в различных системах канализаций.

Общая характеристика загрязнений сточных вод

Сточные воды являются основным источником микробного загрязнения объектов окружающей среды, в т.ч. поверхностных пресных и морских вод, подземных водоносных горизонтов, питьевой воды и почвы.

Сточные воды подразделяются на три основные категории:

- бытовые;
- производственные;
- атмосферные (дождевые и талые).

Для бытовых сточных вод характерно относительно стабильное качество (при соблюдении норм водопользования). Эти стоки отличаются высоким уровнем микробного загрязнения на фоне значительной концентрации взвешенных частиц и органических веществ. Поэтому перед обеззараживанием необходима их механическая и биологическая очистка.

Состав и свойства городских смешанных сточных вод (промышленно-бытовых) определяются соотношением хозяйственно-бытовых и промышленных стоков и спецификой предприятий, формирующих эти стоки. Дополнительные трудности при их обеззараживании возникают в связи с тем, что микробное загрязнение этих вод сочетается с разнообразными органическими и неорганическими веществами, которые сами по себе могут быть как дополнительными бактерицидами и бактериостатиками, так и служить благоприятной средой для размножения микроорганизмов.

Для атмосферных вод характерна неравномерность объема по сезонам года, а уровень микробного загрязнения зависит от степени благоустройства территории.

Загрязнения делятся на минеральные, органические, бактериальные и биологические, в сточных водах они присутствуют в нерастворенном (коллоидальном) и растворенном состояниях.

Взвешенные твердые вещества, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Концентрация взвешенных частиц связана с сезонными факторами и режимом стока, зависит от пород, слагающих русло, а также от антропогенных факторов, таких как сельское хозяйство, горные разработки и т.п.

Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды и на проникновение в нее света, на температуру, состав растворенных компонентов поверхностных вод, адсорбцию токсичных веществ, а также на состав и распределение отложений и на скорость осадкообразования. Вода, в которой много взвешенных частиц, не подходит для рекреационного использования по эстетическим соображениям.

Нефтепродукты – неполярные и малополярные углеводороды (алифатические, ароматические, алициклические), составляющие главную и наиболее характерную часть нефти и продуктов ее переработки.

Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Нефть и продукты ее переработки представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и разнообразную смесь веществ (низко- и высокомолекулярные предельные, непредельные алифатические, нафтеновые, ароматические углеводороды, кислородные, азотистые, сернистые соединения, а также ненасыщенные гетероциклические соединения типа смол, ангидридов, асфальтеновых кислот). Понятие «нефтепродукты» в гидрохимии условно ограничивается только

углеводородной фракцией (алифатические, ароматические, алициклические углеводороды).

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) представляют собой обширную группу соединений, различных по своей структуре, относящихся к разным классам. Эти вещества способны адсорбироваться на поверхности раздела фаз и понижать вследствие этого поверхностную энергию (поверхностное натяжение).

СПАВ используются при добыче и переработке нефти, газа, в металлургии, текстильной, химической и других областях промышленности в качестве моющих и чистящих средств, эмульгаторов, присадок. Значительные количества СПАВ используются в быту, а также в составе пестицидов, используемых для различных целей в сельском хозяйстве.

Методика расчета

Упражнение 1. Определение расчётной массовой концентрации загрязнений в раздельной системе канализаций

1. Концентрация взвешенных веществ.

В хозяйственно-бытовых сточных водах, г/м³:

$$b_{\text{быт}} = \frac{10^3 b}{n}, \quad (1)$$

где b – масса взвешенных веществ на одного жителя, г/сут; 1000 – переводной коэффициент из литров в м³; n – норма среднесуточного водоотведения на одного жителя, л/сут.

В сточных водах промышленных предприятий концентрация взвешенных веществ $b_{\text{пр}}$ г/м³ принимается по технологическому заданию, представленному в табл. 7.3.

В общем стоке, г/м³:

$$b_{\text{общ}} = \frac{b_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + b_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{быт}} + Q_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – суточный приток сточных вод от группы предприятий, м³; $b_{\text{быт}}$ и $b_{\text{пр}}$ – концентрации взвешенных веществ в бытовых и производственных

сточных водах, г/м^3 ; $Q_{\text{быт}}$ – средний суточный расход бытовых сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$.

$$Q_{\text{быт}} = \frac{N \cdot n}{1000}, \quad (3)$$

где N – расчётное население города, чел.; 1000 – переводной коэффициент из литров в м^3 .

2. Концентрация БПКполн

В хозяйственно-бытовых сточных водах, г/м^3 :

$$L_{\text{быт}} = \frac{l \cdot 10^3}{N}, \quad (4)$$

где l – БПК_{полн} осветлённой сточной жидкости на одного жителя, г/сут ; 1000 – переводной коэффициент из литров в м^3 .

В сточных водах промышленных предприятий концентрации БПКполн $L_{\text{пр}}$ (г/м^3) принимается по технологическому заданию, представленному в табл. 7.3.

В общем стоке, г/м^3 :

$$L_{\text{общ}} = \frac{L_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + L_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{быт}} + Q_{\text{пр}}}. \quad (5)$$

3. Содержание нефтепродуктов

В производственных сточных водах содержание нефтепродуктов $C_{\text{пр}}$, г/м^3 принимается по технологическому заданию, представленному в табл. 7.3.

В общем стоке, г/м^3 :

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{быт}} + Q_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

4. Содержание синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в хозяйственно-бытовых сточных водах, г/м^3 :

$$K_{\text{быт}} = \frac{k \cdot 10^3}{n}, \quad (7)$$

где k – масса СПАВ на одного жителя, г/сут .

В производственных сточных водах содержание синтетических поверхностно – активных веществ $K_{пр}$, г/м³ принимается по технологическому заданию, представленному в табл. 7.3.

В общем стоке, г/м³:

$$K_{общ} = \frac{K_{быт} \cdot Q_{быт} + K_{пр} \cdot Q_{пр}}{Q_{быт} + Q_{пр}} \quad (8)$$

Упражнение 2. Определение расчётной массовой концентрации загрязнений в общесплавной системе канализации

Концентрация загрязнений в дождевых водах принята в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»: для взвешенных веществ $b_d = 300$ мг/л; для БПК_{полн} $L_d = 50$ мг/л. Содержание нефтепродуктов $C_d = 10$ мг/л.

Концентрация загрязнений в стоке в сухую погоду принята по вышеприведенному расчету.

1. Концентрация загрязнений взвешенных веществ в общем стоке, поступающем на очистку, мг/л:

$$b_{общ1} = \frac{b_{общ} \cdot Q_{сух} + b_d \cdot Q_d}{Q_{сух} + Q_d}, \quad (9)$$

где b_d – концентрация взвешенных веществ в дождевых водах, мг/л; $Q_{сух}$ – расход сточных вод в сухое время года, л/с, рассчитываемый по формуле:

$$Q_{сух} = q_{быт} + q_{пр}, \quad (10)$$

где $q_{быт}$ – средний секундный расход бытовых вод, л/с, рассчитываемый по формуле:

$$q_{быт} = \frac{N \cdot n}{86400}, \quad (11)$$

где $q_{пр}$ – средний секундный расход в смену наибольшего водопотребления промышленного предприятия, л/с, рассчитываемый по формуле:

$$q_{пр} = \frac{Q_{max.см}}{T \cdot 3,6}, \quad (12)$$

где $Q_{max.см}$ – наибольший расход воды в смену (м³/смен), сумма всех притоков за смену от 8 до 16 часов. Определяется по таблицам притока сточных вод от

промышленных предприятий в городскую канализацию по часам суток. Выбор нужной таблицы производится по заданному суточному притоку сточных вод от группы предприятий; T – продолжительность смены, включая обеденный перерыв; 3,6 – переводной коэффициент.

Расход дождевых вод, поступающих на очистные сооружения, л/с:

$$Q_d = n_0 \cdot Q_{\text{сух}}, \quad (13)$$

где n_0 – коэффициент разбавления на ливнеспуске, устраиваемом у очистных сооружений, равный 0,75.

2. Концентрация загрязнений БПК_{полн} в общем стоке, поступающем на очистку, мг/л:

$$L_{\text{общ1}} = \frac{L_{\text{общ}} \cdot Q_{\text{сух}} + L_d \cdot Q_d}{Q_{\text{сух}} + Q_d}. \quad (14)$$

3. Концентрация загрязнений нефтепродуктов в общем стоке, поступающем на очистку, мг/л:

$$C_{\text{общ1}} = \frac{C_{\text{общ}} \cdot Q_{\text{сух}} + C_d \cdot Q_d}{Q_{\text{сух}} + Q_d}. \quad (15)$$

4. Концентрация загрязнений БПК_{полн} в общем стоке, поступающем на очистку, мг/л:

$$K_{\text{общ1}} = \frac{K_{\text{общ}} \cdot Q_{\text{сух}}}{Q_{\text{сух}} + Q_d}. \quad (16)$$

Задание

В соответствии с заданным вариантом рассчитать массовую концентрацию загрязнений в сточных водах отдельной и общесплавной систем канализации. Сравнить концентрации в общем стоке: по взвешенным веществам; БПК_{полн}; по нефтепродуктам; по синтетическим поверхностно-активным веществам. Исходные данные для расчета приведены в табл.7.1.

Таблица 7.1. Исходные данные для расчета по вариантам

№ варианта	Параметры		
	n, л/сут	$N \cdot 10^{-3}$, чел	$Q_{\text{цр}}$, м ³
1, 10	150	140	22800
2, 11	200	230	24000

3, 12	360	315	28800
4, 13	440	400	36200
5, 14	560	450	36200
6, 15	630	500	60000
7, 16	700	610	60000
8, 17	250	360	28800
9, 18	340	415	36200

Таблица 7.2.Количество загрязняющих воду веществ на одного жителя

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут
Взвешенные вещества	65
БПК _{полн} осветленной жидкости	40
Синтетические поверхностно-активные вещества	2,5

Таблица 7.3.Содержание загрязняющих веществ в сточных водах промышленных предприятий при t = 22°С

Показатель	Содержание загрязняющих веществ, г/м ³
Взвешенные вещества	$b_{np} = 250$
БПК ₂₀	$L_{np} = 140$
Нефтепродукты	$C_{np} = 20$
Синтетические поверхностно-активные вещества	$K_{np} = 22$

8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8.

РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: ознакомление с принципами работы и порядком расчета фильтров различных типов конструкции для очистки сточных вод.

Общая характеристика и конструктивные особенности зернистых фильтров

Фильтрование – процесс разделения суспензий или аэрозолей при помощи фильтровальных перегородок, пропускающих жидкость или газ, но задерживающих твёрдые частицы, осуществляется в специальных аппаратах – фильтрах.

Фильтрационные сооружения и установки применяют для глубокой очистки (доочистки) городских и производственных сточных вод, прошедших биологическую или физико-химическую очистку. Они подразделяются на фильтры с зернистой загрузкой и сетчатые барабанные фильтры.

Фильтры с зернистой загрузкой классифицируются:

- по направлению потока: бывают с нисходящим (сверху вниз) и восходящим (снизу вверх) потоком, в отдельных случаях – с горизонтальным потоком;

- по конструкции: различают однослойные, двухслойные, аэрируемые и каркасно-засыпные;

- по виду фильтрующего материала: природные материалы (кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, доменный шлак, керамзит, антрацит, горелые породы, мраморная крошка) или искусственные материалы (полимеры – пенополиуретан, полистирол, полипропилен и др.).

Сетчатые барабанные фильтры, применяемые в качестве самостоятельных сооружений глубокой очистки, называют микрофильтры, а устанавливаемые перед зернистыми фильтрами глубокой очистки – барабанные сетки.

В результате доочистки сточных вод в загрузке фильтров задерживаются мелкодисперсные взвешенные частицы и активный ил, выносимые из отстойников или осветлителей, а также некоторые специфические компоненты, характерные для стоков отдельных промышленных предприятий (нефтепродукты, фосфор и др.).

Различают *рабочий режим* и *форсированный режим*, который возникает при выключении отдельных секций фильтров на промывку и ремонт. При форсированном режиме скорость фильтрования увеличивается.

Регенерацию зернистых фильтрующих материалов производят промывкой водой или водой и воздухом, синтетические материалы обычно отжимают для регенерации. Для промывки фильтров можно использовать водопроводную воду или воду после барабанных сеток и фильтров.

Фильтры с нисходящим потоком

Однослойные фильтры с нисходящим потоком воды используют для доочистки производственных стоков после механической очистки для задержания мелкодисперсных взвешенных частиц, а также биологически очищенных городских сточных вод (см. рис. 8.1).

Загрузку фильтра составляет кварцевый песок (крупностью до 2 мм и толщиной слоя (1,2–1,3 м) с поддерживающим слоем из гравия (с крупностью зерен 2–10 мм высотой слоя 0,5–0,7 м).

При наличии местного гранитного щебня загрузка фильтра может производиться щебнем крупностью 3–10 мм, толщиной слоя 1,2 м.

Для регенерации фильтров предусматривается водо-воздушная или водяная промывка восходящим потоком. Водо-воздушная промывка производится в четыре этапа:

- начальное взрыхление верхнего слоя загрузки механическим или гидравлическим способом;
- продувка воздухом для выравнивания гидравлического сопротивления по всей площади фильтра;
- водо-воздушная совместная промывка;
- дополнительная промывка водой для разрыхления загрузки и восстановления ее первоначальной пористости.

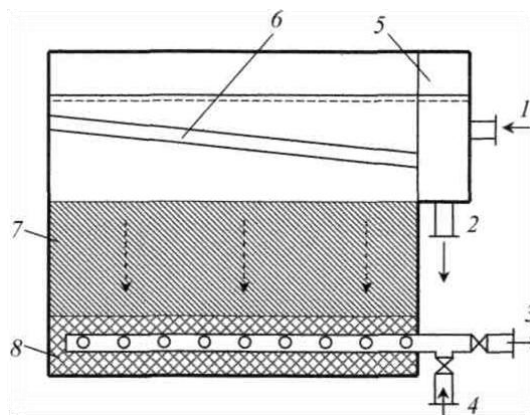


Рис. 8.1. Зернистый фильтр с нисходящим потоком:

1 – подвод воды; 2 – отвод промывочной воды; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача промывочной воды; 5 - распределительный карман; 6 – желоб для подачи исходной воды; 7 – песчаная загрузка; 8 – поддерживающий слой

Эффект доочистки для мелкозернистых фильтров по взвешенным веществам составляет 70–75 %, по БПК_{полн} – 50–60 %, для крупнозернистых (с загрузкой из щебня) соответственно 45–50 % и 35–40 %. Фильтроцикл составляет 12 ч.

Фильтры с восходящим потоком

Фильтрация воды снизу вверх значительно улучшает условия работы фильтра вследствие реализации принципа убывающей крупности зерен вдоль потока (см. рис. 8.2). В результате увеличивается грязеемкость фильтра, продолжительность фильтроцикла, исключается заиливание мелкозернистых слоев. Недостатком фильтров с восходящим потоком является заиливание дренажа, которое приводит к ненадежности их работы и осложнениям в эксплуатации.

Фильтрующая загрузка состоит из речного песка крупностью 1,2–2 мм и высотой слоя 1,5–2 м, а также подстилающего слоя гравия толщиной до 0,95 м.

Для регенерации фильтров предусматривается водо-воздушная промывка. Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70–85 %, по БПК_{полн} – 50–65 %.

Различают *рабочий режим* и *форсированный режим*, который возникает при выключении отдельных секций фильтров на промывку и ремонт. При форсированном режиме скорость фильтрования увеличивается.

Регенерацию зернистых фильтрующих материалов производят промывкой водой или водой и воздухом, синтетические материалы обычно отжимают для регенерации. Для промывки фильтров можно использовать водопроводную воду или воду после барабанных сеток и фильтров.

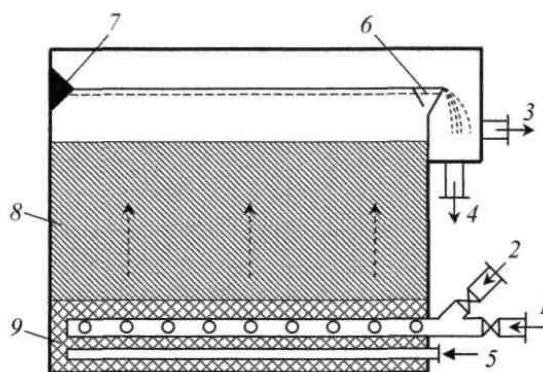


Рис. 8.2. Фильтр с восходящим потоком воды:

1 – подвод воды; 2 – подвод промывочной воды; 3 – отвод фильтрата; 4 – отвод промывочной воды; 5 – подача воздуха; 6 – пескоулавливающий желоб; 7 – струенаправляющий выступ; 8 – загрузка; 9 – поддерживающий слой

Двухслойные фильтры

В двухслойных фильтрах используется принцип фильтрования в направлении уменьшающейся крупности зерен при загрузке сверху вниз. Верхний слой загрузки толщиной 0,4–0,5 м состоит из кварцевого песка крупностью зерен 1,2–2 мм, нижний слой (кварцевый песок) имеет толщину 0,6–0,7 м и крупность зерен 0,7–1,6 мм.

Кроме кварцевого песка, в верхних слоях может быть использован дробленый антрацит или керамзит. Поддерживающий слой высотой 0,55–0,8 м состоит из гравия крупностью 2–400 мм (см. рис. 8.3).

Двухслойная загрузка обеспечивает более равномерное распределение загрязнений по высоте фильтра, увеличение продолжительности работы. Цикл фильтрования равен 24 ч. Промывка фильтров производится током воды снизу вверх.

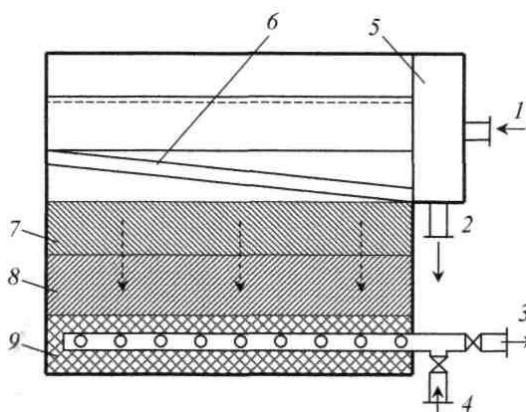


Рис. 8.3. Двухслойный фильтр:

1 – подача исходной воды; 2 – отвод промывной воды; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача промывной воды; 5 – распределительный карман; 6 – желоб для подачи исходной воды; 7 – загрузка из антрацита; 8 – загрузка из песка; 9 – поддерживающий слой

К недостаткам таких фильтров относится сложность создания двухслойной загрузки, завышенный строительный объем фильтра, возможность уноса зерен верхнего слоя загрузки. Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70–80 %, по БПК_{полн} – 60–70 %.

Аэрируемые фильтры

В аэрируемом зернистом фильтре в процессе фильтрации вводится и распределяется в толще загрузки сжатый воздух или кислород, что способствует интенсификации биохимического процесса внутри фильтра. Процесс очистки от загрязнений в аэрируемых фильтрах происходит в две ступени: первая служит для удаления взвешенных веществ, вторая – для растворенных и коллоидных органических загрязнений (см. рис. 8.4).

В качестве фильтрующей загрузки применяется кварцевый песок крупностью 1–1,8 мм при высоте слоя 1 м и гранитный щебень крупностью зерен 3–6 мм при высоте слоя 1–1,5 м. Поддерживающий слой состоит из гравия крупностью 2–32 мм и высотой 0,45 м.

При использовании таких фильтров достигается снижение взвешенных веществ в сточной воде на 80–90 %, БПК_{полн} – на 75–80 %.

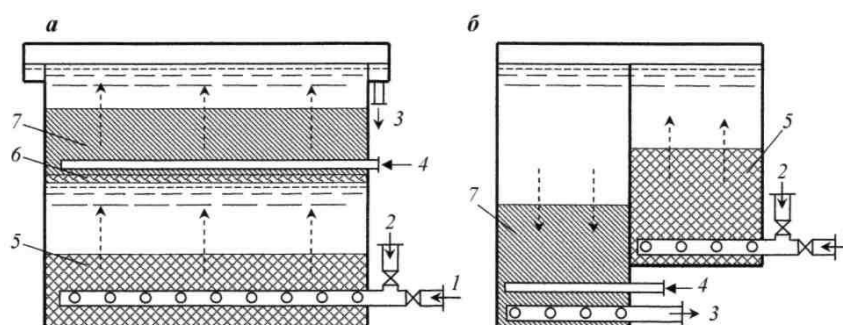


Рис. 8.4. Аэрируемые фильтры:

а – двухъярусный, **б** – двухступенчатый:

1 – подача исходной воды; 2 – подача промывной воды; 3 – отвод фильтрата и промывной воды; 4 – подача воздуха; 5 – загрузка первого яруса (ступени); 6 – дырчатая перегородка; 7 – загрузка второго яруса (ступени)

Каркасно-засыпные фильтры

Каркасно-засыпные фильтры (КЗФ) по конструкции представляют собой двухслойный фильтр с нисходящим потоком воды (рис. 8.5).

Загрузка каркасно-засыпного фильтра состоит из каркаса, в качестве которого используется гравий или щебень с размерами фракций 40–60 мм, и засыпки, состоящей из кварцевого песка крупностью 0,8–1 мм. Очищаемая вода

проходит сначала через слой каркаса, где очищается от основной массы загрязнений, а затем поступает для доочистки в нижние слои.

Преимуществами каркасно-засыпного фильтра являются:

- стабильность очистки воды при значительных колебаниях качества и количества исходной воды;
- возможность использования контактной коагуляции, которая позволяет при той же скорости фильтрования достичь концентраций взвешенных веществ 3 мг/л и нефтепродуктов 1–1,5 мг/л.

Продолжительность фильтроцикла составляет 20 ч.

Промывка фильтра может быть водо-воздушной или водяной. При водо-воздушной промывке воду в фильтре спускают до уровня песка, подают воздух и воду для промывки, затем следует дополнительная промывка водой.

Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70–80 %, по БПК_{полн} – 70 %.

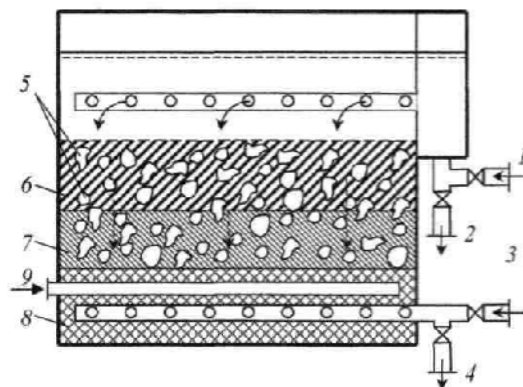


Рис. 8.5. Каркасно-засыпной фильтр:

1 – подвод воды; 2 – отвод промывочной воды; 3 – подача промывочной воды; 4 – отвод фильтрата; 5 – гравийный каркас; 6 и 7 – крупно- и мелкозернистая загрузка; 8 – поддерживающий слой; 9 – подача воздуха

Фильтры с плавающей загрузкой

В последнее время для фильтрования все более широко применяются полимерные материалы с пористостью до 95 %, которые позволяют существенно повысить скорость фильтрования, уменьшить продолжительность фильтроцикла и сократить затраты на очистку.

Преимуществами полимерных фильтров являются:

- очень высокая грязеемкость, которая составляет 40–200 кг/м³ загрузки;
- невысокие потери напора;
- увеличенная продолжительность фильтроцикла;
- простота конструкции, надежность работы.

Разработано несколько конструкций фильтров с загрузкой из измельченного пенополиуретана с размерами гранул 0,5–12 мм и пор 0,8–1,2 мм, из которых для доочистки сточных вод наиболее эффективными являются фильтры марок ФПЗ-3 и ФПЗ-4 (рис. 8.6).

Загрузка фильтров ФПЗ-3 и ФПЗ-4 состоит из гранул, крупность которых уменьшается по направлению движения воды, т.е. сверху вниз. Фильтр ФПЗ-4 работает до полной колюматации (закупорки) загрузки, после чего необходима ее регенерация.

Высота слоя загрузки составляет 1,0–1,2 м.

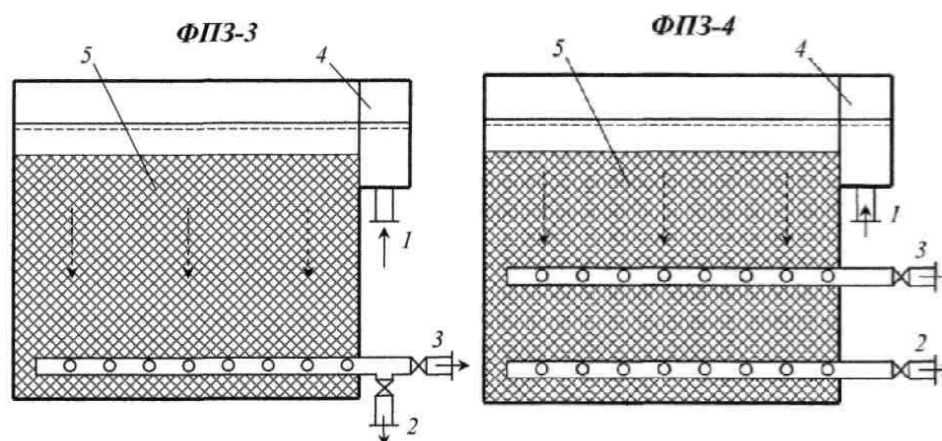


Рис. 8.6 . Фильтры с плавающей загрузкой:

1 – подвод воды; 2 – отвод промывной воды; 3 – отвод фильтрата; 4 – распределительный карман; 5 – плавающая загрузка

Такие фильтры можно использовать для доочистки как механически очищенных производственных стоков (металлургическая, химическая и легкая промышленность), так и биологически очищенных городских сточных вод или их смеси с производственными водами.

Фильтр регенерируется промыванием водой при достижении предельных потерь напора, равных 1,5–2,5 м.

Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70–85 %, по БПК_{полн} – 65–75 %.

Методика расчета

Зернистые фильтры

1. Расчетный расход сточной воды, подаваемой на фильтры, м³/сут:

$$Q_{\phi} = 24 \cdot q_w, \quad (1)$$

где q_w – максимальный часовой приток сточной воды, м³/ч.

2. Количество промывок каждого фильтра за сутки, раз:

$$n = \frac{24}{T_{\phi}}, \quad (2)$$

где T_{ϕ} – время фильтроцикла, ч.

3. Общая площадь фильтров, м²:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\phi}(1 + m)}{v_{\phi} \left(T - \frac{n \cdot t_4}{60} \right) - 0,06 \cdot n (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3)}, \quad (3)$$

где v_{ϕ} – скорость фильтрования при нормальном режиме;

m – коэффициент, учитывающий расход воды на промывку барабанных сеток, равный 0,003–0,005;

w_1 – интенсивность, л/(с·м²) начального взрыхления верхнего слоя загрузки продолжительностью t_1 мин;

w_2 – интенсивность подачи воды, л/(с·м²) с продолжительностью водо-воздушной промывки t_2 ;

w_3 – интенсивность промывки, л/(с·м²) продолжительностью t_3 , мин;

t_4 – продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой, равная 20 мин;

T – продолжительность работы станции в течение суток, ч.

Начальное гидравлическое взрыхление верхнего слоя принимается только для фильтров с подачей воды сверху вниз с интенсивностью $w_1 = 16 - 18$ л/(с·м²) и продолжительностью $t_1 = 6 - 8$ мин. Интенсивность подачи воды w_2 учитывается в формуле (3) только в случае применения водо-воздушной промывки загрузки.

4. Число секций фильтров, шт:

$$N = 0,5 \sqrt{F_{\phi}}. \quad (4)$$

5. Площадь одной секции фильтра, m^2 :

$$F_1 = \frac{F_{\phi}}{N}. \quad (5)$$

6. Скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы (т.е. при отключении фильтров на промывку и ремонт) м/с:

$$v_{\phi\phi} = \frac{v_{\phi} \cdot N}{N - N_p}, \quad (6)$$

где N_p – количество секций фильтров, находящихся в ремонте (один или более).

При необходимости далее рассчитываются распределительная и дренажная системы фильтров, в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Фильтры с плавающей загрузкой

1. Расчетный расход сточной воды, подаваемой на фильтры Q_{ϕ} , определяется по формуле (1).

2. Количество промывок каждого фильтра за сутки n , формула (2). Принимается продолжительность цикла фильтрования T_{ϕ} , равная 24 ч или 12 ч, для доочистки биологически очищенных городских или производственных сточных вод.

3. Общая площадь фильтров F_{ϕ} , m^2 :

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{v_{\phi}}, \quad (7)$$

где v_{ϕ} – скорость фильтрования при нормальном режиме, равная 8 – 10 м/ч.

4. Число секций фильтров N и площадь одной секции фильтра F_1 , формулы (4) и (5) соответственно. Принимаются размеры в плане одного фильтра.

5. Скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы $v_{\phi\phi}$, формула (6).

Микрофильтры

Сетчатые барабанные фильтры могут использоваться как самостоятельные сооружения глубокой очистки городских или производственных сточных вод, а также как для выделения крупных примесей из стоков перед фильтрами с зернистой загрузкой. В первом случае они называются микрофильтрами, во втором – барабанными сетками.

Микрофильтры способны снизить содержание взвешенных веществ в сточной воде на 50 – 60 %, а по БПК_{полн} – на 25 – 30 %, барабанные сетки – соответственно на 20 – 25 % и 5 – 10 %.

1. Степень эффективности по взвешенным веществам, выраженная в %:

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}} = \frac{(C_{\text{еп}} - C_{\text{ex}})}{C_{\text{еп}}} 100\% , \quad (8)$$

где $C_{\text{еп}}$ – содержание взвешенных веществ в очищенной сточной воде после аэротенков или вторичных отстойников;

C_{ex} – содержание взвешенных веществ в воде после глубокой очистки.

2. Степень эффективности по БПК_{полн}, в %:

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}} = \frac{(L_{\text{еп}} - L_{\text{ex}})}{L_{\text{еп}}} 100\% , \quad (9)$$

где $L_{\text{еп}}$ – БПК_{полн} в очищенной сточной воде после аэротенков или вторичных отстойников;

L_{ex} – БПК_{полн} в воде после глубокой очистки.

3. Площадь фильтрующей поверхности, м²:

$$F_{\text{мф}} = \frac{k_1 \cdot Q}{k_2 \cdot T \cdot v_{\text{ф}}} , \quad (10)$$

где Q – производительность очистной станции, м³/сут;

k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение производительности микрофильтров за счет очистки промывной воды и равный 1,03–1,05;

k_2 – коэффициент, учитывающий площадь фильтрующей поверхности, расположенной над водой (при погружении барабана на 0,6 диаметра $k_2 = 0,55$, а при погружении на 0,7 диаметра $k_2 = 0,63$);

T – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

v_{ϕ} – скорость фильтрования, принимаемая равной при доочистке биологически очищенных сточных вод 20 – 25 м/ч.

4. Количество микрофильтров:

$$N_{\text{мф}} = \frac{F_{\text{мф}}}{F_0}, \quad (11)$$

где $F_{\text{мф}}$ – площадь фильтрующей поверхности; F_0 – площадь фильтрации одного микрофильтра.

Принимается количество резервных микрофильтров N_p , равное 1 при количестве рабочих микрофильтров до четырех, и 2 – при большем количестве рабочих микрофильтров.

5. Суточное количество промывной воды, м³/сут:

$$Q_{\text{п}} = 0,04 \cdot Q. \quad (12)$$

Барабанные фильтры

1. Степень эффективности по взвешенным веществам, формула (8).

2. Степень эффективности по БПК_{полн}, формула (9).

3. Количество резервных сеток $N_p = 1$ при количестве рабочих сеток до шести, и 2 – при большем количестве рабочих сеток.

4. Количество промывок фильтров в сутки, формула (2).

5. Количество барабанных сеток:

$$N = \frac{Q}{Q_s}, \quad (13)$$

где Q – производительность городской очистной станции, м³/сут; Q_s – производительность барабанной сетки, м³/сут.

6. Количество промывной воды, м³/сут:

$$Q_{\text{п}} = \frac{n_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} \cdot w_{\text{п}} \cdot Q}{144000}, \quad (14)$$

где $n_{\text{п}}$ – количество промывок в сутки, равное 8–12; $t_{\text{п}}$ – продолжительность промывки, равная 5 мин; $w_{\text{п}}$ – расход промывной воды, равный 0,3–0,5%.

Задание

В соответствии с заданным вариантом для различных типов фильтров рассчитать общую площадь фильтрования и необходимое число фильтров для очистки сточных вод от механических примесей. Исходные данные для расчета приведены в табл.8.1.

В таблице 8.1 приняты следующие обозначения: максимальный часовой расход – $q_w, \text{м}^3/\text{ч}$; скорость фильтрования при нормальном режиме – $v_\phi, \text{м}/\text{ч}$; число фильтров на промывке – N_p ; время работы станции – $T, \text{ч}$; время фильтроцикла – $T_\phi, \text{ч}$; коэффициент, учитывающий расход воды на промывку – m ; продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой – $t_4, \text{мин}$; производительность городской очистной станции – $Q, \text{м}^3/\text{сут}$.

Таблица 8.1. Исходные данные для расчета по вариантам

Исходные данные	Варианты заданий								
	1, 10	2, 11	3, 12	4, 13	5, 14	6, 15	7, 16	8, 17	9, 18
$q_w, \text{м}^3/\text{ч}$	3460	4220	2850	3210	4460	4830	3650	3900	2980
$v_\phi, \text{м}/\text{ч}$	6	5	7	5	6	4	7	6	4
$w_1, \text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	16	15	16	15	16	15	16	15	16
$t_1, \text{мин}$	6	5	4	6	5	4	6	5	4
$w_2, \text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	3	3	2	4	3	2	4	3	4
$t_2, \text{мин}$	10	9	10	11	10	9	10	9	11
$w_3, \text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	7	6	6	8	7	6	8	8	7
$t_3, \text{мин}$	6	4	7	5	6	5	7	6	5
$N_p, \text{шт}$	1	2	3	4	1	2	3	4	3
$T, \text{ч}$	24	23	24	23	24	23	24	23	24
$T_\phi, \text{ч}$	12	8	24	16	12	8	14	12	14
m	0,003	0,004	0,005	0,003	0,004	0,005	0,003	0,004	0,005
$t_4, \text{мин}$	20	20	20	25	25	25	15	15	15
$C_{em}, \text{мг}/\text{л}$	20	25	30	20	25	30	35	20	20
$L_{em}, \text{мг}/\text{л}$	15	18	20	15	16	21	16	17	15
$C_{ex}, \text{мг}/\text{л}$	10	9	9	10	8	10	9	8	8
$L_{ex}, \text{мг}/\text{л}$	10	10	9	8	8	10	9	10	10
$Q, \text{м}^3/\text{сут}$	$45\cdot 10^3$	$50\cdot 10^3$	$55\cdot 10^3$	$60\cdot 10^3$	$55\cdot 10^3$	$50\cdot 10^3$	$58\cdot 10^3$	$65\cdot 10^3$	$70\cdot 10^3$
$F_0, \text{м}^2$	22	18	26	24	16	22	18	16	20
k_1	1,05	1,1	0,95	1,05	1,1	0,95	1,05	1,1	0,95
k_2	0,63	0,68	0,54	0,57	0,61	0,68	0,54	0,57	0,61
$Q_s, \text{м}^3/\text{сут}$	$30\cdot 10^3$	$20\cdot 10^3$	$25\cdot 10^3$	$30\cdot 10^3$	$25\cdot 10^3$	$20\cdot 10^3$	$40\cdot 10^3$	$30\cdot 10^3$	$35\cdot 10^3$

9. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9. БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД. РАСЧЕТ АЭРОТЕНКА

Цель работы: приобретение знаний и навыков по расчету процессов и сооружений биологической очистки сточных вод.

Общая характеристика и принцип работы аэротенка

Аэротенк – это очистное сооружение или резервуар, служащий для очистки стоков биологическим путем через окисление их бактериями, которые находятся в аэрируемом слое. В устройстве аэротенка стоки очищаются посредством нагнетания воздуха, который подается компрессором, что создает идеальные условия для развития бактерий, очищающих бытовые стоки.

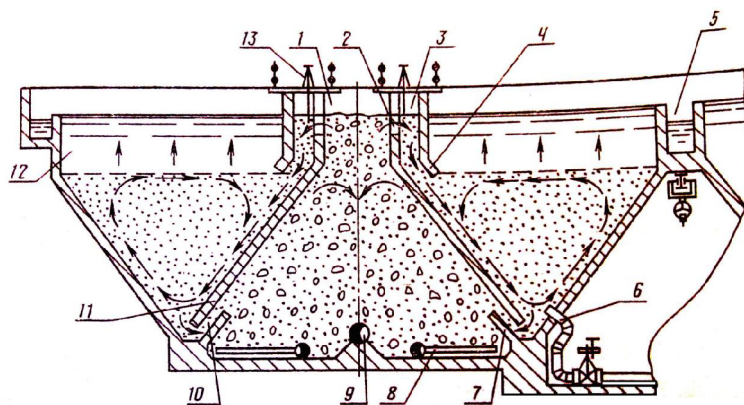


Рис. 9.1. Аэротенк:

1 – зона аэрации; 2 – переливные окна; 3 – зона успокоения; 4 – козырек; 5 – лоток; 6 – иловая труба; 7 – зуб; 8 – аэратор; 9 – трубопровод подачи сточных вод; 10 – щель; 11 – перегородка; 12 – зона осветления; 13 – шибер

Зона аэрации 1 находится в центре и отделяется от зон осветления 12 наклонными перегородками 11, не достигающими до дна бассейна и образующими внизу сплошную щель 10. В верхней части перегородок выполнены окна 2, оборудованные шиберами 13. За переливными окнами в зонах осветления расположены успокоительные перегородки с наклонными козырьками 4. Они обеспечивают направленность движения циркуляционного потока и способствуют лучшему отделению пузырьков воздуха. В зоне аэрации у донной щели смонтирован отражательный зуб 7, исключаящий задувание

циркуляционных потоков из зоны аэрации в зону осветления и способствующий принудительному возврату активного ила из зоны осветления в зону аэрации.

По конструктивным особенностям аэротенки могут быть:

- аэротенки-вытеснители без регенераторов;
- аэротенки-вытеснители с регенераторами;
- аэротенки-отстойники;
- аэротенки-осветлители;
- аэротенки-смесители.

Аэротенки-вытеснители отличаются тем, что активный ил подается сосредоточенно на вход в аэротенк, туда же подается и подлежащая биологической очистке сточная вода после первичного отстаивания. В результате смешивания воды и активного ила образуется иловая смесь. Очередная поступающая порция сточной воды на очистку вытесняет предыдущую.

Характерной чертой аэротенков-отстойников является конструктивное совмещение аэрационного резервуара и вторичного отстойника в одном сооружении. Часть сооружения, в которой осуществляется аэрация иловой смеси, получила название аэрационной зоны, а другая – отстойной зоны. Обе эти зоны связаны между собой отверстиями, окнами, щелями и пр., обеспечивающими утекание иловой смеси из аэрационной зоны в отстойную зону.

Конструкционные особенности аэротенков-осветлителей позволяют осуществлять процесс очистки сточных вод при интенсивности рециркуляции между зонами аэрации и осветления, значительно превышающей ее значения в аэротенках-отстойниках. В результате интенсивного обмена в зоне осветления создается гидродинамическая обстановка, обеспечивающая образование взвешенного слоя даже при нулевом притоке сточной жидкости. Такой взвешивающий слой характеризуется высокой устойчивостью и однородностью, чему способствует форма зоны отстаивания и условия его

образования, а интенсивный обмен с зоной аэрации позволяет поддержать в нем достаточный кислородный режим и осуществлять процесс окисления во всем объеме, включая взвешенный слой.

Аэротенк-смеситель – это аэротенк, в котором подвод сточной воды и активного ила осуществляется равномерно вдоль одной длинной стороны коридора, а отвод – вдоль другой стороны коридора. Сооружения этого типа целесообразно применять для очистки производственных сточных вод при относительно небольших колебаниях их состава и присутствии в воде преимущественно растворенных органических веществ, например на второй ступени биологической очистки сточных вод и системы канализации нефтеперерабатывающих заводов.

Методика расчета

Расчет аэротенка-смесителя

1. Коэффициент рециркуляции, R_i :

$$R_i = \frac{\alpha_i}{\frac{1000}{L_i} - \alpha_i}, \quad (1)$$

где α_i – доза активного ила, г/л; L_i – БПК_{полн} сточной воды, см³/л.

2. Средняя скорость окисления, ρ :

$$\rho = \frac{\rho_{max} \cdot L_T \cdot C_0}{L_T \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + K_0 \cdot L_T} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot \alpha_i}, \quad (2)$$

где L_T – БПК_{полн} очищенной сточной воды, см³/л; ρ_{max} – константа, удельной скорости окисления, мг; K_i – константа, учитывающая тип аэратора, равная 24 мг/л; φ – константа, равная 0,158 л/г; C_0 (мг/л) – концентрация растворенного кислорода.

3. Доля расхода циркулирующего ила, α :

$$\alpha = \frac{\alpha_{aэр}}{\alpha_{рег} - \alpha_{aэр}}, \quad (3)$$

где $\alpha_{aэр}$ – доза ила в аэротенке, равная 1,5 г/л; $\alpha_{рег}$ – доза ила в регенераторе, равная 4 г/л.

4. Продолжительность аэрации смеси сточной воды и циркулирующего ила в аэротенке, T_a :

$$T_a = \frac{2,5}{\alpha_{\text{аэр}}^{0,5}} \cdot \lg \left(\frac{L_a}{L_T} \right), \quad (4)$$

где L_a —БПК_{полн} воды в аэротенке;

5. Продолжительность окисления снятых загрязнений, T_0 :

$$T_0 = \frac{L_a - L_T}{\alpha \cdot \alpha_{\text{рег}} \cdot (1 - S_d) \cdot \rho}, \quad (5)$$

где S_d — зольность ила в долях единицы, равная 0,3.

6. Продолжительность регенерации циркулирующего ила, T_p :

$$T_p = T_0 - T_a. \quad (6)$$

7. Объем аэротенка, W_a :

$$W_a = T_a \cdot (1 + \alpha) \cdot Q, \quad (7)$$

где Q — средний часовой приток сточных вод в течении суток, м³/ч.

8. Объем регенератора, W_p :

$$W_p = T_p \cdot \alpha \cdot Q. \quad (8)$$

9.Общий объем установки, W :

$$W = W_a + W_p. \quad (9)$$

Расчет аэротенка-осветлителя

1. Продолжительность аэрации рассчитывается по формуле (4), $\alpha_{\text{аэр}}$ — доза ила в аэротенке, равная 2 г/л.

2. Величина БПК_{полн} воды, поступающей в начало аэротенка L_{mix} :

$$L_{mix} = \frac{L_a + L_T \cdot R_i}{1 + R_i}. \quad (10)$$

3. Период пребывания сточных вод в аэротенке, t_{atv} :

$$t_{atv} = \frac{2,5}{\alpha_i^{0,5}} \cdot \lg \left(\frac{L_{mix}}{L_T} \right). \quad (11)$$

4. Доза ила в регенераторе, $\alpha_{\text{рег}}$:

$$\alpha_{\text{рег}} = \alpha_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right). \quad (12)$$

5. Средняя скорость окисления рассчитывается по формуле (2), при этом K_i – константа, учитывающая тип аэратора, равная 26 мг/л; K_o – константа, равная 1,66 мг/л; φ – константа, равная 0,158 л/г; α – доза расхода циркулирующего ила, равная 0,8.

6. Продолжительность окисления снятых загрязнений определяется по формуле (5).

7. Продолжительность регенерации циркулирующего ила рассчитывается по формуле (6).

8. Продолжительность пребывания в системе аэротенк – регенератор, T :

$$T = (1 + R_i) \cdot t_{atv} + R_i \cdot T_p . \quad (13)$$

9. Средняя доза ила в системе аэротенк – регенератор, $\alpha_{i.mix}$:

$$\alpha_{i.mix} = \frac{[(1 + R_i) \cdot T_a \cdot \alpha_i + R_i \cdot T_p \cdot \alpha_{per}]}{T} . \quad (14)$$

10. Объем аэротенка, W_a :

$$W_a = T_a \cdot Q . \quad (15)$$

11. Объем регенератора и общий объем установки определяются по формулам (8) и (9) соответственно.

12. Площадь зеркала воды в аэротенке, S :

$$S = W/H , \quad (16)$$

где H – рабочая глубина ($H = 3,2$ или $4,4$ м)

13. Длина аэротенка, L :

$$L = S/(B_i \cdot N) , \quad (17)$$

где B_i – ширина коридоров аэротенка, м (принимается по табл. 9.2); N – число коридоров аэротенка, шт.

14. По полученным геометрическим размерам чертится схема аэротенка, пример схемы на рис. 9.2:

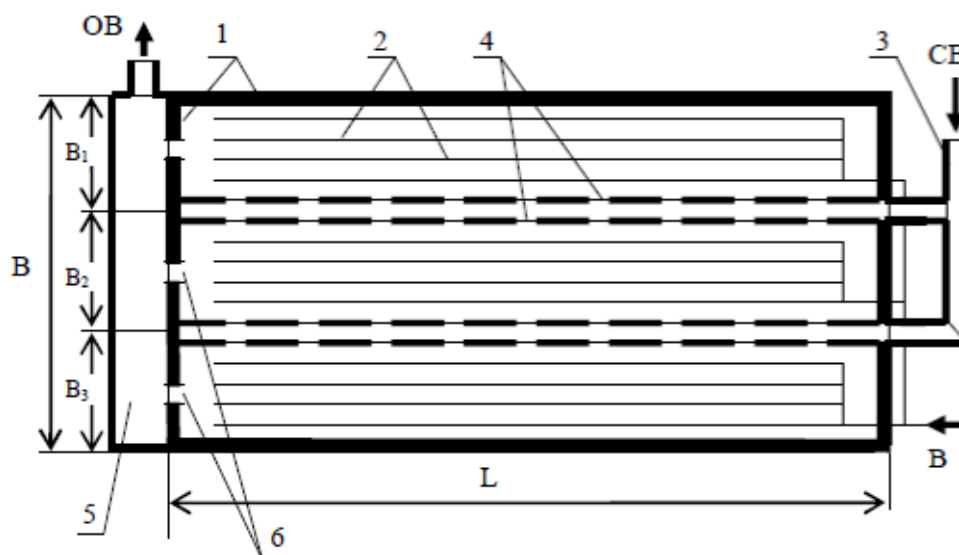


Рис. 9.2. Схема трехкоридорного аэротенка:

1 – стены; 2 – аэрационные фильтровые трубы (подача воздуха В); 3 – распределительный лоток сточной воды (СВ); 4 – водовыпускные отверстия с затворами; 6 – каналы осветленной воды (ОВ); 5 – водослив (сборник осветленной воды)

Задание

В соответствии с заданным вариантом для двух типов аэротенков рассчитать общий объем установки. Начертить схему аэротенка с указанием его геометрических размеров. Исходные данные для расчета приведены в табл.9.1.

Таблица 9.1. Исходные данные для расчета по вариантам

Исходные данные	Варианты заданий								
	1, 10	2, 11	3, 12	4, 13	5, 14	6, 15	7, 16	8, 17	9, 18
Q, м ³ /ч	1250	625	4200	4200	2000	1350	800	3100	1900
L _а , мг/л	150	300	200	180	340	150	240	260	310
L _т , мг/л	15	10	25	20	30	25	15	10	20
a _i , г/л	2	3,5	2,5	4	2	3,5	2,5	4	3
C _о , мг/л	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L _i , см ³ /л	190	160	220	200	180	195	230	170	200
ρ _{max} , мг	59	59	85	85	59	74	85	59	74
H, м	3,2	4,4	3,2	4,4	3,2	4,4	3,2	4,4	3,2
N, шт	2	4	3	2	4	3	2	4	3

Таблица 9.2. Ширина коридоров аэротенка

Количество коридоров, N	Ширина коридоров, B _i
Двухкоридорный аэротенк, N = 2	4,5 м
Трехкоридорный аэротенк, N = 3	4,5 м
Четырехкоридорный аэротенк, N = 4	6 м

10. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10.

РАСЧЕТ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО)

Цель работы: приобретение навыков расчета высоконагружаемого полигона твердых коммунальных отходов для условного населенного пункта.

Размещение отходов на полигонах

Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) являются специальными сооружениями, предназначенными для изоляции и обезвреживания ТКО, и должны гарантировать санитарно - эпидемиологическую безопасность населения. На полигонах обеспечивается статическая устойчивость ТБО с учетом динамики уплотнения, минерализации, газовыделения, максимальной нагрузки на единицу площади, возможности последующего рационального использования участка после закрытия полигонов. Полигоны могут быть организованы для любых по величине населенных пунктов. Рекомендуется создание централизованных полигонов для групп населенных пунктов.

Выбранный участок для устройства полигона должен иметь санитарно - эпидемиологическое заключение о соответствии его санитарным правилам.

Организацией, эксплуатирующей полигон, разрабатываются регламент и режим работы полигона, инструкции по приему бытовых отходов с учетом требований производственной санитарии для работающих на полигоне, обеспечивается контроль состава поступающих отходов, ведется круглосуточный учет поступающих отходов, осуществляется контроль за распределением отходов в работающей части полигона, обеспечивается технологический цикл по изоляции отходов.

На полигоны коммунальных отходов принимаются отходы из жилых домов, общественных зданий и учреждений, предприятий торговли, общественного питания, уличный, садово - парковый смёт, строительный мусор и некоторые виды твердых промышленных отходов 3 - 4 класса опасности, а также неопасные отходы, класс которых устанавливается экспериментальными методами. Список таких отходов согласовывается с центром госсанэпиднадзора

в территории.

Обезвреживание твердых, жидких и пастообразных отходов, обладающих радиоактивностью, осуществляется на специальных полигонах, организованных в соответствии с основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности.

Захоронение и обезвреживание твердых, пастообразных отходов промышленных предприятий (1 - 2 класса опасности), в которых содержатся токсичные вещества, тяжелые металлы, а также горючие и взрывоопасные отходы, должно производиться на полигонах, организованных в соответствии с санитарными правилами о порядке накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов.

При проектировании высотных полигонов ТКО наиболее экономичными являются земельные участки, близкие по форме к квадрату, и предполагающие максимальную высоту складирования ТКО. Заложение откосов высотного полигона определяется расчетами надежности в зависимости от физико-механических характеристик ТКО и грунтов карьеров, из которых будут отсыпаться ограждающие сооружения. По контуру подошвы склонов высотного полигона ТКО следует предусмотреть лотки для сбора и отвода фильтрата. Схематически разрез высотного полигона ТКО представлен на рис. 10.1.

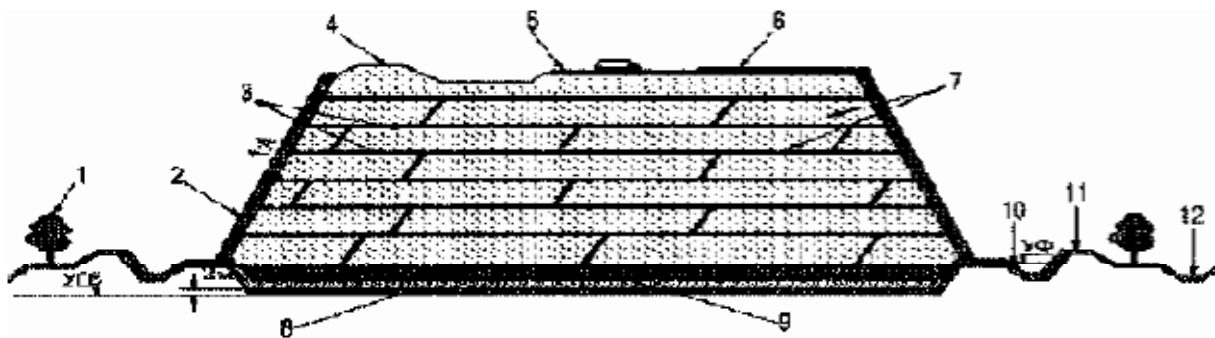


Рис.10.1 Схема высотного полигона ТКО:

1 – лесная полоса; 2 – боковой внешний изолирующий слой; 3 – промежуточный изолирующий слой; 4 – ТКО, укладываемые на рабочей карте; 5 – временная тупиковая дорога; 6 – временный проезд с твердым

покрытием; 7 – твердые бытовые отходы; 8 – естественное или искусственное водонепроницаемое основание; 9 – насыщенные фильтратом отходы; УФ – уровень фильтрата, УГВ – уровень грунтовых вод; 10 – лоток для сбора и отвода фильтрата дождевых и талых вод со склонов; 11 – обваловка фильтратосборного лотка; 12 – нагорная канава для сбора и отвода незагрязненного поверхностного стока (дождевых и талых вод)

Фильтрат – жидкая фаза, образующаяся на полигоне при захоронении ТКО влажностью более 55% и вследствие атмосферных осадков, объем которых превышает количество влаги, испаряющейся с поверхности полигона. Дно и откосы котлована должны иметь противофильтрационные экраны из природных материалов с коэффициентом фильтрации воды не более 9-10 м/с и толщиной не менее 1,0 м. Если противофильтрационный экран из минерального грунта не отвечает требованиям, применяется искусственный противофильтрационный экран, имеющий коэффициент фильтрации воды не более 9-10 м/с, срок службы более 75 лет, стойкий к возможным нагрузкам, ультрафиолетовому излучению и повреждению грызунами. Для защиты искусственной гидроизоляции от механических повреждений на ее поверхность насыпают слой мелкого песка, измельченного суглинка или мелкозернистых промышленных отходов (IV класса опасности) с размером зерна не более 0,5 мм, мощностью не менее 0,5 м. Материал искусственной гидроизоляции должен быть химически стойким к длительному воздействию фильтрата.

Методика расчета

Определение общей вместимости полигона

1. Определение удельной нормы образования W_2 отходов через T лет, $\text{м}^3/\text{чел}\cdot\text{год}$:

$$W_2 = W_1 \left(1 + \frac{U}{100} \right)^T, \quad (1)$$

где W_1 – удельная норма образования отходов на одного человека в год, $\text{м}^3/\text{чел}\cdot\text{год}$ (в среднем для России $W_1=1,16 \text{ м}^3/\text{чел}\cdot\text{год}$); U – скорость ежегодного прироста удельной нормы, %; принимаем $U=1,8\%$.

2. Расчет общей вместимости полигона E_T , м³:

$$E_T = \frac{W_1 + W_2}{2} \cdot \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot T, \quad (2)$$

где N_1 – численность населения города на момент проектирования полигона, чел.; N_2 – численность населения на момент ввода полигона в эксплуатацию и спустя время T , чел.; K_1 – коэффициент уплотнения ТКО за весь период T ; K_2 – объем изолирующих слоев грунта; T – период эксплуатации полигона до его закрытия, лет; Коэффициенты K_1 и K_2 определяются по табл. 2 и 3 в зависимости от ориентировочной высоты «холма» полигона ТКО.

Таблица 10.1. Значения коэффициента K_1

Масса бульдозера, т	Ориентировочная высота «холма» полигона ТКО H_{Π}^{op} , м.	K_1
14	10	3,7
14	10...30	4,0
20...25	Более 30	4,5

Таблица 10.2. Значения коэффициента K_2

H_{Π}^{op} , м	< 5	5...7	7,1...9	12	15	39	50
K_2	1,37	1,27	1,25	1,24	1,2	1,18	1,16

Определение площади полигона

1. Основание полигона имеет форму прямоугольника, а форма «холма» отходов – усеченная пирамида. Из объема пирамиды ($V = \frac{S \cdot H}{3}$) определяют ее основание (площадь участка складирования ТБО) S_{yc} , м²

$$S_{yc} = \frac{3 \cdot V}{H} = \frac{3 \cdot E_T}{H_{\Pi}^{op}}. \quad (3)$$

2. Вокруг участка складирования отходов должна быть свободная площадь для движения и работы транспорта, механизмов, обслуживающего персонала и подъездных дорог. Поэтому необходимая под полигон площадь S_{Π} (м²) должна быть больше участка складирования S_{yc} для размещения

вспомогательной зоны S_{Bcn} (принимается $S_{Bcn} = 0,6$ Га) и проездных дорог (коэффициент 1,1)

$$S_{\Pi} = 1,1 \cdot S_{yc} + S_{Bcn} \cdot \quad (4)$$

Уточнение высоты «холма» ТКО и расчет параметров котлована

Практика показывает, что грунт для изолирующих промежуточных слоев, а в будущем для рекультивационного (верхнего) слоя при закрытии свалки экономически целесообразно заготавливать из котлована под основание участка складирования ТКО.

1. Холм полигона имеет вид усеченной пирамиды. Уточненная высота сеченной полигона H_{Π} , м:

$$H_{\Pi} = \frac{3 \cdot E_T}{S_{yc} + S_B + \sqrt{S_{yc} \cdot S_B}} \cdot \quad (5)$$

Площадь верхнего основания холма полигона представляет форму квадрата. Принимаем $S_B = 40 \times 40$ м².

2. Определяем требуемый объем грунта V_T , м³:

$$V_T = E_T \cdot \left(1 - \frac{1}{K_2}\right) \cdot \quad (6)$$

3. Глубина котлована H_K (м) с учетом откосов (коэффициент 1,1) равна:

$$H_K = 1,1 \cdot \frac{V_T}{S_{yc}} \cdot \quad (7)$$

4. Оценивают верхнюю отметку полигона ТКО H_{BO} , м

$$H_{BO} = H_{\Pi} - H_K + h_{гр} \cdot \quad (8)$$

где высоту наружного изолирующего слоя грунта принимают равным $h_{гр} = 1$ м

Задание

В соответствии с заданным вариантом определить вместимость полигона для захоронения твердых отходов и рассчитать его геометрические размеры. Исходные данные для расчета приведены в табл.10.3.

Таблица 10.3. Исходные данные для расчета по вариантам

№ Варианта	T, лет	N ₁ , чел	N ₂ , чел	H _П ^{оп} , м
1, 10	20	350 000	500 000	25

2, 11	25	540 000	770 000	30
3, 12	18	2 200 000	3 080 000	20
4, 13	22	820 000	1 150 000	40
5, 14	19	1 600 000	2 240 000	25
6, 15	26	660 000	920 000	30
7, 16	21	480 000	670 000	20
8, 17	24	1 850 000	2 590 000	40
9, 18	19	900 000	1 260 000	35

T – расчетный срок эксплуатации полигона, лет; N_1 – численность населения города на момент проектирования полигона, чел.; N_2 – прогнозируемая численность населения города через T лет, чел.; H_n^{op} – ориентировочная высота «холма» ТБО на полигоне, согласованная с архитектурно-планировочным управлением города, м.

Таблица 10.4. Форма представления отчета

№ вар.	$E_T, м^3$	$S, м^2$	$S_{П}, м^2$	$H_{П}, м$	$V_{Г}, м^3$	$H_{ВО}, м$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение, принцип действия, устройство и основные схемы использования центробежных пылеуловителей?
2. В чем состоит различие конических и цилиндрических циклонов с точки зрения области их применения?
3. Перечислите достоинства и недостатки работы циклонов.
4. Назовите основные характеристики тканевых и волокнистых фильтров.
5. Какие материалы применяют для изготовления тканевых фильтров?
6. Каково назначение и устройство зернистых фильтров?
7. Объясните механизм электрической очистки газов.
8. Опишите принцип действия и основные характеристики электрофильтров.
9. В чем состоят основные достоинства и недостатки мокрых пылеуловителей?
10. Каковы основные преимущества использования скруббера Вентури перед другими мокрыми пылеуловителями?

11. Какова сущность физической адсорбции?
12. Опишите практическое применение метода физической адсорбции с использованием угольного сорбента.
13. Перечислите основные критерии качества воды.
14. Как определяется качество вод, используемых в промышленности.
15. Приведите классификацию сточных вод по дисперсному составу примесей.
16. Приведите классификацию сточных вод в зависимости от растворенных примесей.
17. Назовите основные конструкции песколовков.
18. Перечислите основные конструкции отстойников.
19. Каковы основные конструкции фильтров для очистки сточных вод?
20. Каков принцип работы микрофильтров?
21. Какие вещества используются в качестве загрузки скорых фильтров для очистки сточной воды?
22. В чем сущность методов биологической очистки сточных вод в искусственных условиях?
23. Перечислите основные конструкции аэротенков.
24. Дайте общую характеристику методов утилизации и обезвреживания коммунальных отходов.
25. Назовите основные принципы складирования и захоронения коммунальных отходов на свалках и полигонах.
26. Каковы основные этапы расчета полигона ТКО?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родионов, А. И. Охрана окружающей среды: процессы и аппараты защиты атмосферы / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. – М.: Издательство «Юрайт», 2018. – 218 с
2. Будыкина, Т.А. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / Т.А.Будыкина, С.Г. Емельянов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
3. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты защиты атмосферы от газовых выбросов: учебное пособие по проектированию / А.Г. Ветошкин.– Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2003. - 154 с.
4. Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник. Т. 1./А.С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2001. – 756 с.
5. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков.– Л.: Химия, 1987.– 576 с.
6. Сидорова, Л.П. Методы очистки промышленных сточных вод: учебное электронное текстовое издание / Л.П. Сидорова. – Екатеринбург: Информационный портал УрФУ, 2012. – 133 с.
7. Вайсман, Я.И. Физико-химические методы защиты биосферы. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов : учеб. пособие / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2005. – 197с.
8. СанПиН 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых коммунальных отходов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ρ , кг/м ³	999,8	999,7	998,2	995,7	992,2	988	983,2	977,8	971,8	965,3	958,4
h, кДж/кг	0	42,04	83,91	125,7	167,5	209,3	251,1	293	335	377	419,1
Ср, Дж/(кг·град)	4217	4191	4183	4174	4174	4181	4182	4187	4195	4208	4220
λ , Вт/(м·град)	0,569	0,574	0,599	0,618	0,635	0,648	0,659	0,668	0,674	0,68	0,683
$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	13,2	13,7	14,3	14,9	15,3	15,7	16	16,3	16,6	16,8	16,9
$\mu \cdot 10^6$, Па·с	1788	1306	1004	801,5	653,3	549,4	469,9	406,1	355,1	314,9	282,5
$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	1,789	1,306	1,006	0,805	0,659	0,556	0,478	0,415	0,365	0,326	0,295
$\beta \cdot 10^4$, град ⁻¹	-0,63	0,7	1,82	3,21	3,87	4,49	5,11	5,7	6,32	6,95	7,52
$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	756,4	741,6	726,9	712,2	696,5	676,9	662,2	643,5	625,9	607,2	588,6
Pr	13,5	9,52	7,02	5,42	4,31	3,54	2,93	2,55	2,21	1,95	1,75

Таблица 2. Физические свойства атмосферного воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda \cdot 10^2,$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$C_p, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$
-10	1,342	2,36	17,4	16,7	12,43	1009
0	1,293	2,44	18,8	17,2	13,28	1005
10	1,247	2,51	20	17,6	14,16	1005
20	1,205	2,59	21,4	18,1	15,06	1005
30	1,165	2,67	22,9	18,6	16	1005
40	1,128	2,76	24,3	19,1	16,96	1005
50	1,093	2,83	25,7	19,6	17,95	1005
60	1,06	2,9	27,2	20,1	18,97	1005
70	1,029	2,96	28,6	20,6	20,02	1009
80	1	3,05	30,2	21,1	21,09	1009
90	0,972	3,13	31,9	21,5	22,1	1009
100	0,946	3,21	33,6	21,9	23,13	1009

Таблица 3. Перечень загрязняющих веществ, удаляемых из сточных вод на сооружениях биологической очистки

Вещество	Макс. конц. для биологической очистки, мг/л	Эффективность удаления, %
Алюминий	5	50
Аммонийный азот (ион)	45	30
Висмут	15	65
Fe ⁺³ Железо	5	65
Жиры (растительные и животные)	50	60
Mn ²⁺ Марганец	30	
Медь	0,5	65
Мочевина (карбамид)	по БПК	
Нефть и нефтепродукты в раств. и эмульгир. виде	15	70
Никель	0,5	40
Ртуть	0,005	50
Свинец	0,1	40
СПАВ (анионные)	20	65
Фенол	15	80
Формальдегид	100	65
Фосфаты	20	30
Cr ⁺³ Хром	2,5	65
Cr ⁺⁶ Хром	0,1	50
Цинк	1,0	60
Этиловый спирт	14	70

Таблица 4. Параметры компонентов отходов по степени опасности

N п/ п	Первичные показатели опасности компонента отхода	Степень опасности компонента отхода для ОПС по каждому компоненту отхода			
		1	2	3	4
1.	ПДК _п , (ОДК), мг/кг	<1	1-10	10,1-100	>100
2.	Класс опасности в почве	1	2	3	не установ.
3.	ПДК _в (ОДУ.ОБУВ), мг/л	<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
4.	Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	1	2	3	4
5.	ПДК _{р.х.} (ОБУВ), мг/л	<0,001	0,001-0,1	0,011-0,1	>0,1
6.	Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	1	2	3	4
7.	ПДК _{с.с.} (ПДК _{м.р.} , ОБУВ), мг/м ³	<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
8.	Класс опасности в атмосферном воздухе	1	2	3	4
9.	ПДК _{пп} (М _{ду} , МДС), мг/кг	<0,01	0,01-1	1,1-10	>10
10.	Lg(S ,мг/л /ПДК _в , мг.л) ³	>5	5-2	1,9-1	<1
11.	Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДК _{р.з})	>5	5-2	1,9-1	<1
12.	Lg(C _{нас} ,мг/м ³ /ПДК _{с.с.} илиПДК _{м. р.})	>7	7-3,9	3,8-1,6	<1,6
13.	Lg K _{ow} (октанол/вода)	>4	4-2	1,9-0	<0
14.	LD ₅₀ мг/кг	<15	15-150	151-5000	>5000
15.	LD ₅₀ , мг/кг	<500	500-5000	5001-50000	>50000
16.	LD ₅₀ мг/л/96ч	<1	1-5	5,1-100	>100
17.	БД=БПК/ХПК 100%	<0,1	0,01-1,0	1,0-10	>10
18.	Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	Образовани е более токсичных продуктов, в т.ч. обладающи х отдаленным и эффектами или новыми свойствами	Образовани е продуктов с более выраженны м влиянием других критериев опасности	Образовани е продуктов, токсичност ь которых близка к токсичност и исходного вещества	Образовани е менее токсичных продуктов
19.	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	Выраженное накопление во всех звеньях	Накопление в нескольких звеньях	Скопление в одном из звеньев	Нет накопления
	БАЛЛ	1	2	3	4

Таблица 5 Предельно допустимые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений

№	Вещества	ПДК, мг/м ³	№	Вещества	ПДК, мг/м ³
1	Пыль, содержащая более 10% и до 70% SiO ₂	2,0	11	Марганец и его оксиды	0,3
2	Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая 10% асбеста	2,0	12	Молибден (растворимые соединения)	4,0
3	Пыль стеклянного и минерального волокна	4,0	13	Молибден (нерастворимые соединения)	6,0
4	Пыль барита, апатита, фосфорита, цемента, содержащая менее 10% SiO ₂	6,0	14	Никель и его оксиды	0,5
5	Пыль угольная (до 10% SiO ₂)	4,0	15	Свинец и его соединения	0,01
6	Пыль угольная (менее 2% SiO ₂)	10,0	16	Уран (естественный)	8,8·10 ⁻²
7	Сплавы алюминия и алюминий	2,0	17	Торий (естественный)	7,5·10 ⁻³
8	Бериллий и его соединения	0,001	18	Цирконий металлический и его соединения	6,0
9	Оксид ванадия (V ₂ O ₅)	0,1	19	Титан и его диоксид	10,0
10	Оксиды железа (с примесью фтористых или марганцевых соединений)	4,0	20	Тантал и его оксиды	10,0

Учебное издание

Шибашов Антон Владимирович

Шуваева Анастасия Сергеевна

Сборник практических работ по дисциплине
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»

Учебное пособие

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 14.05.2019 формат 60x84 ¹/₁₆

Усл. печ. л. 4,19. Тираж экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический
университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании редакционно-издательского
центра ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7