

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра химии

М.Л. Мурсалимова

РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Методические указания к выполнению
работ по проектированию

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 628.1/.3 (076.5)

ББК 38.761 я73

М 91

Рецензент – кандидат технических наук В.И. Федорченко

Мурсалимова, М.Л.

М 91 Расчет сооружений для очистки воды: методические указания к выполнению работ по проектированию/ М.Л. Мурсалимова; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2010. – 61 с.

Методические указания содержат методики расчетов основных типов сооружений механической, биологической очистки воды, методы расчета адсорберов и ионообменных фильтров. Приведены справочные данные и многовариантные задания к выполнению расчетов по проектированию аппаратов.

Методические указания могут быть рекомендованы для выполнения расчетно-графических задач, курсовых проектов, самостоятельных работ по дисциплине «Мониторинг среды обитания» для студентов специальности «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

УДК 628.1/.3 (076.5)

ББК 38.761 я73

© Мурсалимова М.Л., 2010

© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

1 Первичные отстойники	4
1.1 Задания к расчету	14
2 Гидроциклоны	18
2.1 Задания к расчету	22
3 Сооружения для биологической очистки сточных вод	14
3.1 Аэротенки	24
3.2 Аэротенки с флотационным илоотделением	31
3.3 Аэротенки-нитрификаторы, аэротенки-денитрификаторы.	35
3.4 Биологические фильтры	39
3.5 Задания к расчету	44
4 Расчет адсорбционной и ионообменной установок	52
4.1 Задания к расчету.	58
Список использованных источников	61

1 Первичные отстойники

Согласно СНиП 2.04.03-85, тип отстойника (вертикальный, радиальный, с вращающимся сборно-распределительным устройством, горизонтальный, двухъярусный и др.) необходимо выбирать с учетом принятой технологической схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, производительности сооружений, очередности строительства, числа эксплуатируемых единиц, конфигурации и рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод и др. Число первичных отстойников следует принимать не менее двух. При минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличивать в 1,2-1,3 раза.

Проектирование сооружений и аппаратов механической очистки сточных вод, исходя из заданных параметров, производится в следующем порядке.

По заданным величинам концентраций тяжелых механических примесей или легких примесей с плотностью $\rho_{(орг)}$ меньшей 1 г/см^3 (нефте-, маслопродукты, жиры и др.) в сточной и очищенной воде, соответственно, C_{en} , $C_{en(орг)}$ и C , $C_{(орг)}$, мг/л, определяется требуемая степень очистки воды \mathcal{E} , %, по формуле (1) от тяжелых примесей и по формуле (2) от легких примесей

$$\mathcal{E} = \frac{(C_{en} - C) \cdot 100}{C_{en}}, \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = \frac{(C_{en(орг)} - C) \cdot 100}{C_{en(орг)}}. \quad (2)$$

По кривым кинетики осаждения механических примесей с учетом необходимой степени осветления $\mathcal{E} = f(t)$ определяется продолжительность отстаивания t_1 и t_2 , с, при которых в слоях воды высотой h_1 и h_2 , мм, достигается требуемый эффект осветления.

На рисунке 1 приведены кривые кинетики отстаивания сточных вод прокатного производства, полученные отстаиванием воды в статических условиях в слое h 200 и 500 мм при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Рисунок 1 - Кинетика отстаивания сточных вод прокатного производства при исходной концентрации механических примесей $C_0 = 200$ мг/л в слое h , мм: 1 - 200; 2 - 500

Показатель степени n , зависящий от природы загрязнений, в том числе и от агломерации взвеси в процессе осаждения, для промышленных сточных вод, определяется по формуле

$$n = \frac{(\lg t_2 - \lg t_1)}{(\lg h_2 - \lg h_1)} \quad (3)$$

Для городских сточных вод величину n , согласно СНиП 2.04.03-85, можно определить по рисунку 2.

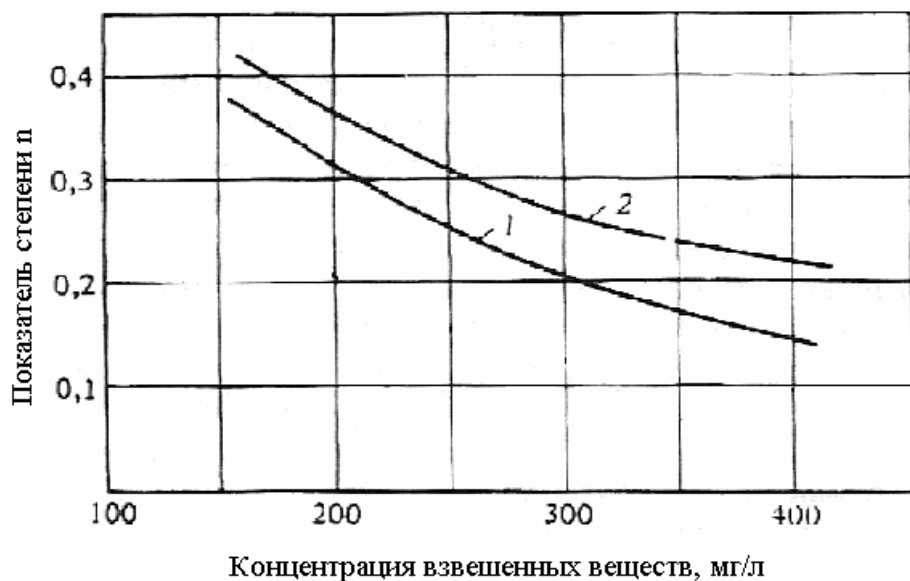


Рисунок 2 - Зависимость показателя степени n от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах при эффекте отстаивания Θ , %: 1 - 50; 2 - 60

Расчетное значение гидравлической крупности частиц взвесей u_0 , мм/с, устанавливается при требуемой степени очистке \mathcal{E} , %, по формуле

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} K_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set} H_{set}}{h} \right)^n} - v_{tb}, \quad (4)$$

где H_{set} – рабочая глубина отстойной части, м;

K_{set} - коэффициент использования объема проточной части отстойника;

v_{tb} - турбулентная составляющая, мм/с, принимаемая по таблице 1 в зависимости от скорости потока в отстойнике v_w , мм/с;

t_{set} - продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое h . Для городских сточных вод величину t_{set} допускается принимать по таблице 2. Желоба двухъярусных отстойников следует рассчитывать из условия продолжительности отстаивания 1,5 час.

Таблица 1 – Влияние скорости рабочего потока на турбулентную составляющую

Скорость рабочего потока v_w , мм/с	5	10	15	20
Турбулентная составляющая v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1	0,5

Величины H_{set} и K_{set} приведены в таблице 3 для данного типа отстойника. Коэффициент K_{set} определяет гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств; указывается организацией-разработчиком.

Расчет отстойников для сточных вод, содержащих загрязняющие вещества с плотностью менее 1 г/см^3 , следует выполнять с учетом гидравлической крупности всплывающих частиц. При наличии в воде тяжелых и легких частиц за расчетную следует принимать меньшую гидравлическую крупность.

Таблица 2 – Продолжительность отстаивания взвесей при данном эффекте осветления

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое $h = 0,5$ м при концентрации взвешенных веществ, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1440	1200	1080
50	2160	1800	1500
60	7200	3600	2700
70	7200	3600	7200

Таблица 3 - Основные параметры отстойников

Отстойник	Коэффициент использования объема, K_{set}	Глубина отстойной части H_{set} , м	Ширина секции B_{set} , м	Скорость рабочего потока v_w , мм/с	Уклон днища к иловому приямку
Горизонтальный	0,5	1,5-4	$2H_{set} - 5H_{set}$	5-10	0,005-0,05
Радиальный	0,45	1,5-5	- " -	5-10	0,005-0,05
Вертикальный	0,35	2,7-3,8	- " -	- " -	- " -
С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8-1,2	- " -	- " -	0,05
С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7-3,8	- " -	$2u_0 - 3u_0$	- " -
С тонкослойными блоками:					
а) противоточная (прямоточная) схема работы	0,5-0,7	0,025-0,2	2-6	5-10	- " -
б) перекрестная схема работы	0,8	0,025-0,2	1,5	5-10	0,005

В случае, когда температура сточной воды в производственных условиях отличается от температуры воды, при которой определялась кинетика отстаивания, необходимо вводить поправку

$$u_0^t = \frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}} u_0 \quad (5)$$

где μ_{lab} , μ_{pr} - вязкость воды при соответствующих температурах в лабораторных и производственных условиях, Н·с/м², показана в таблице 4;

u_0 - гидравлическая крупность частиц, установленная по формуле (4).

Таблица 4 – Влияние температуры на вязкость воды

Температура воды, °С	60	50	40	30	25	20	15	10	5	0
Коэффициент вязкости μ , 10 ⁻³ , Н·с/м ²	0,169	0,549	0,656	0,801	0,894	1,010	1,140	1,308	1,519	1,702

Производительность одного отстойника q_{set} , м³/ч, определяется исходя из заданных геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод по формулам:

а) для горизонтальных отстойников

$$q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (u_0 - v_{tb}) ; \quad (6)$$

б) для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сборно-распределительным устройством

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (u_0 - v_{tb}) ; \quad (7)$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком

$$q_{set} = 1,41 K_{set} D_{set}^2 u_0 ; \quad (8)$$

г) для отстойников с тонкослойными блоками при перекрестной схеме работы

$$q_{set} = \frac{7,2 \cdot K_{set} H_{bl} L_{bl} B_{bl} u_0}{K_{dis} h_{ii}} ; \quad (9)$$

д) то же, при противоточной схеме

$$q_{set} = 3,6 K_{set} H_{bl} B_{bl} v_w ; \quad (10)$$

где L_{set} - длина секции, отделения, м;

D_{set} - диаметр отстойника, м;

d_{en} - диаметр впускного устройства, м;

L_{bl} - длина тонкослойного блока (яруса) отстойника, м, работающего по перекрестной схеме; рассчитывается по формуле $L_{bl} = \frac{v_w \cdot h_{ti}}{u_0} \cdot K_{dis}$; и по противоточной схеме – по формуле $L_{bl} = \frac{v_w \cdot h_{ti}}{u_0}$;

h_{ti} - высота яруса тонкослойного блока (яруса), м; принимается по таблице 3. При высоких концентрациях загрязнений рекомендуется принимать большие значения;

v_w - скорость потока воды в ярусе отстойника, мм/с; определяется по таблице 1;

K_{dis} - коэффициент сноса выделенных частиц, принимаемый при плоских пластинах, равным 1,2, при рифленых пластинах – 1,0;

H_{bl} - высота тонкослойного блока, м; рассчитывается по формуле $H_{bl} = n_{ti} \cdot b_n$;

n_{ti} - количество ярусов в блоке, которое назначается из конструктивных соображений;

b_n определяется по формуле с учетом угла наклона пластин α от 45^0 до 60^0
 $b_n = h_{ti} \cdot \cos \alpha$;

B_{bl} - ширина тонкослойного блока, м; назначается из допустимого прогиба листа $\Delta\delta = 3-5$ мм при наклоне под углом α .

Величины K_{set} , V_{set} определяются по таблице 3, u_0 - по формуле (4) или (5); для тонкослойного отстойника величина u_0 определяется в слое, равном высоте яруса h_{ti} .

Для отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством $v_{tb} = 0$. Кроме того, при проектировании этих отстойников должна рассчитываться форма перегородки, разделяющая распределительный и водоприемный лоток. Форма этой перегородки может быть выражена через изменяющуюся ширину B_p распределительного лотка

$$B_p = m \cdot \sqrt{R_{л}^2 - l_{л}^2}, \quad (11)$$

где $m = 1/12$;

$R_{л} = 0,5 \cdot D_{set} - b_3$, b_3 - зазор между стенкой и фермой, равный $b_3 = 0,1 - 0,15$ м;

$l_{л}$ - удаление расчетного створа лотка от центра отстойника, м.

Количество струенаправляющих лопаток $n_{л}$ не следует принимать более 24 шт. Изменение высоты водослива по длине водоприемного лотка зависит от изменения по радиусу расхода воды, удаляемой из отстойника. Высота водослива $h_{сб}$ по мере удаления от центра отстойника рассчитывается по формуле затопленного водослива с тонкой стенкой

$$h_{сб} = 1,24 \cdot \left(\frac{q_{set}}{R_{set}^2} \cdot l_{л} \right)^{2/3}. \quad (12)$$

Период вращения T , с, водораспределительного устройства, зависит от требуемой степени очистки и рассчитывается при привязке отстойника к конкретным условиям

$$T = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{u_0}. \quad (13)$$

Количество осадка Q , м³/ч, выделяемого при отстаивании, определяется исходя из концентрации взвешенных веществ в поступающей воде C_{en} и концентрации взвешенных веществ в осветленной воде C

$$Q = \frac{q_w (C_{en} - C)}{(100 - w) \rho \cdot 10^4}, \quad (14)$$

где q_w - расход сточных вод, м³/ч;

w - влажность осадка, %;

ρ - плотность осадка, г/см³.

Количество рабочих единиц отстойников N рассчитывается исходя из общего расхода сточных вод q_w по формуле

$$N = \frac{q_w}{q_{set}}. \quad (15)$$

Тонкослойные отстойники. Тонкослойное отстаивание применяется в случае необходимости сокращения объема очистных сооружений при ограниченности выделяемой площади и при необходимости повышения эффективности существующих отстойников. В первом случае тонкослойные отстойники выполняют роль самостоятельных сооружений, во втором - существующие отстойники дополняются тонкослойными модулями, располагаемыми в совершенствуемом отстойнике, перед водосборным устройством.

Строительная ширина $B_{стр}$, м, отстойника, работающего по перекрестной схеме (рисунок 3), рассчитывается по формуле

$$B_{стр} = 2B_{bl} + b_1 + 2b_2, \quad (16)$$

где $b_1 = 0,25$ м;

b_2 от 0,05 до 0,1 м.

Строительная высота отстойника $H_{стр}$, м, определяется по формуле

$$H_{стр} = H_{bl} + h_3 + h_M + 0,3, \quad (17)$$

где h_3 – высота (м), необходимая для расположения рамы, на которой устанавливаются блоки; составляет 0,2-0,3 м;

$h_M = 0,1$ м.

Строительная длина тонкослойного отстойника $L_{стр}$ определяется по формуле

$$L_{стр} = L_{bl} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4, \quad (18)$$

где l_1 – длина зоны глубокой очистки, м, служит для выделения крупных примесей. Объем зоны l_1 рассчитывается на 2-3-минутное пребывание потока по формуле $l_1 = q_{set} \cdot t / (60 \cdot H_{bl} B_{стр} K_{set})$,

K_{set} - коэффициент использования зоны, равный 0,3;

$l_2 = 0,2$ м при применении пропорционального устройства и $l_2 = 0$, если распределение осуществляется дырчатой перегородкой;

$l_3 = 0,2-0,25$ м;

$l_4 = 0,15-0,2$ м.

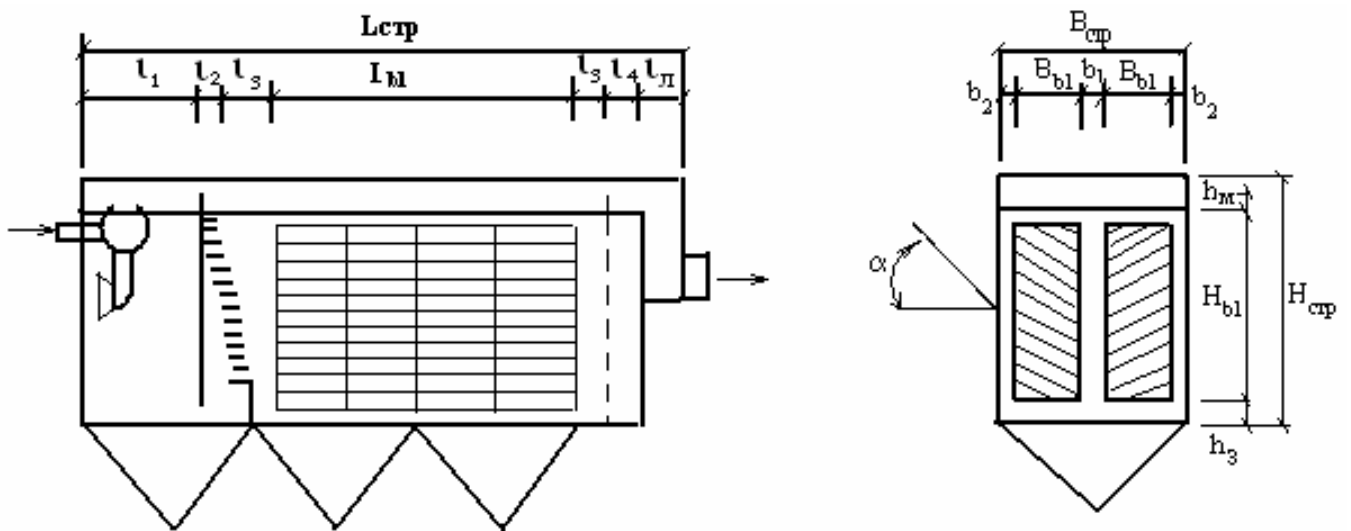


Рисунок 3 - Схема тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка

В настоящее время применяется большое количество конструктивных разновидностей тонкослойных отстойников, работающих по противоточной схеме. В конструкции такого отстойника, показанного на рисунке 4, расчетными параметрами являются длина зоны отстойника $L_{стр}$ (19), глубина воды в отстойнике $H_{стр}$ (20).

$$L_{стр} = l_b + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_{л}, \quad (19)$$

где l_b - длина расположения тонкослойных блоков, (м), определяется по формуле $l_b = q'_{set} / (3,6 \cdot K_{set} v_w B_{бл})$;

q'_{set} - расход сточных вод на секцию, м³/ч;

$l_1 = 1 - 1,5$ м. В объеме зоны длиной l_1 происходит выделение крупных механических примесей;

l_2 определяется формуле $l_2 = L_{бл} \cdot \sin(90 - \alpha)$ при угле наклона пластин α ;

$l_3 = 0,3$ м;

$l_4 = 0,05 - 0,1$ м;

$l_{л} = 0,4-0,5$ м.

Общая глубина воды в отстойнике $H_{\text{стр}}$, м, определяется как сумма высот различных зон

$$H_{\text{стр}} = h_M + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (20)$$

где $h_M \geq 0,1$;

h_2 определяется по формуле $h_2 = L_{bl} \cdot \sin \alpha$;

$h_3 = 0,2 - 0,5$ м;

$h_4 = 0,1 - 0,2$ м;

$h_5 = 0,3$ м.

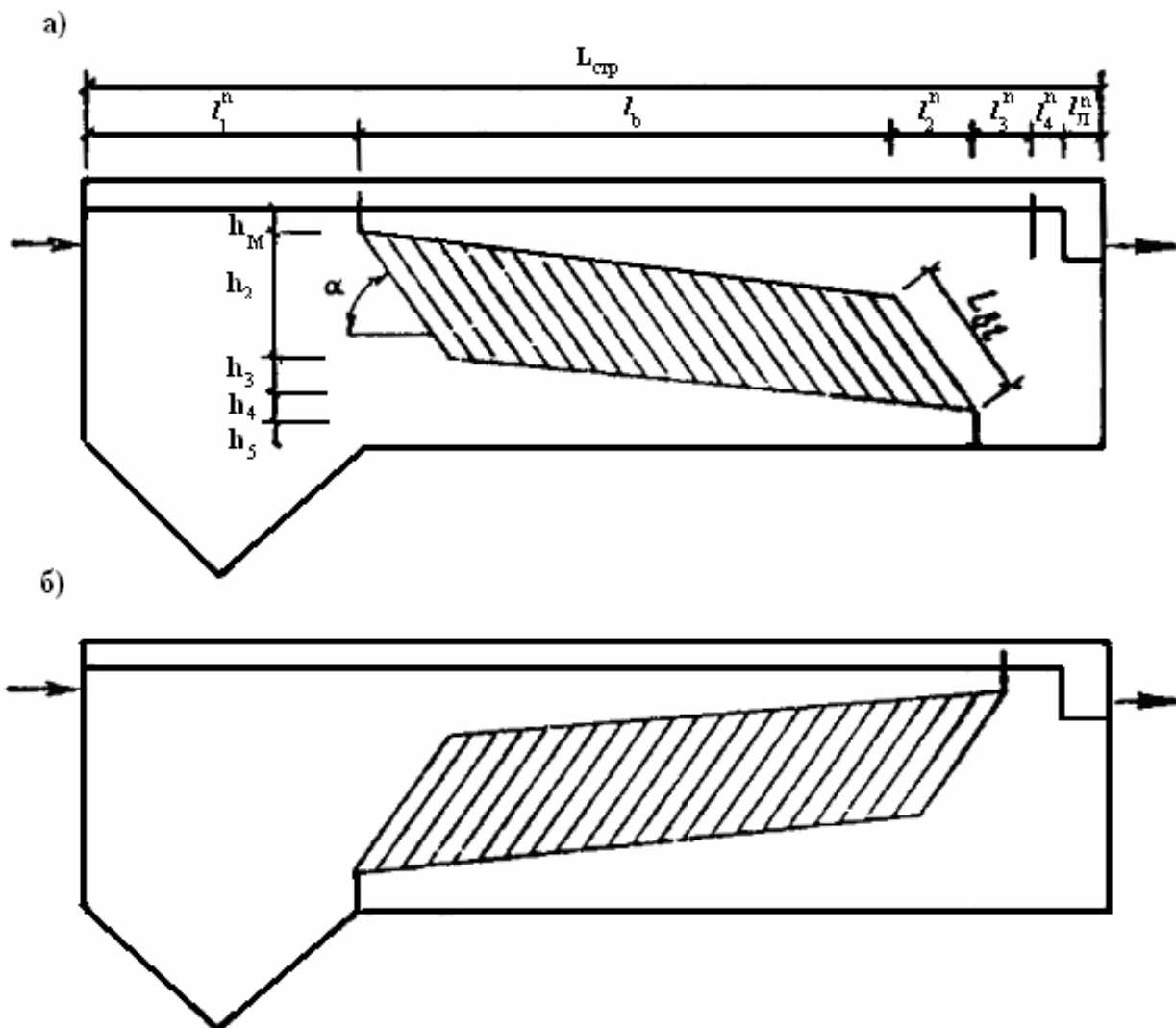


Рисунок 4 - Схема отстойника, оборудованного тонкослойными блоками, работающего по противоточной схеме удаления тяжелых примесей (а) и легких примесей (б)

1.1 Задания к расчету

№ 1. Определите гидравлическую крупность частиц u_0 и количество осадка Q , выделяемого при отстаивании, для проектирования горизонтального отстойника при очистке сточных вод прокатного производства, используя для расчета следующие данные, показанные в таблице 5: концентрация механических примесей в сточной и очищенной воде, соответственно, $C_{ен}$ и C ; температура воды t_w ; плотность примесей ρ ; влажность осадка w , глубина отстойной части H_{set} ; расход сточных вод q_w , постоянный в течение суток. Кинетика отстаивания механических примесей в слоях воды $h_1 = 200$ мм и $h_2 = 500$ мм показана на рисунке 1.

Таблица 5 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , М ³ /ч	t_w , °С	$C_{ен}$, МГ/Л	C , МГ/Л	ρ , Г/СМ ³	H_{set} , М	w , %
1	1000	30	200	60	5	1,5	95
2	1200	20	200	50	7	2,0	95
3	1250	25	200	40	6	2,5	95
4	1200	30	200	30	4	3,0	95
5	1300	40	200	50	8	3,5	95
6	1100	50	200	70	3	4,0	95
7	1050	60	200	80	2	1,7	95
8	1000	40	200	35	6	2,2	95
9	1500	30	200	45	7	2,7	95
10	1600	25	200	50	5	3,0	95
11	1700	25	200	54	4	3,5	95
12	1800	30	200	35	8	2,8	95
13	1300	40	200	40	7	1,7	95
14	1450	25	200	70	5	3,4	95
15	1550	15	200	50	3	3,2	95
16	1650	30	200	55	9	4,0	95
17	1750	40	200	65	7	3,5	95
18	1850	50	200	35	5	2,5	95
19	1350	60	200	45	10	2,0	95
20	1720	25	200	55	7	1,5	95
21	1600	20	200	65	8	1,8	95
22	1800	15	200	70	6	2,6	95

№ 2. Для очистки городских сточных вод требуется рассчитать отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством, который должен обеспечивать 60 %-ное задержание механических загрязнений. Определите гидравлическую крупность частиц u_0 , производительность одного отстойника q_{set} , период вращения водораспределительного устройства T , количество отстойников N и образующегося осадка Q . Рассчитайте ширину распределительного лотка B_p , и высоту водослива по створу $h_{сб}$, по мере удаления от центра отстойника на расстояние от 1 до 12 м с шагом в 1 м.

Известны следующие данные, представленные в таблице 6: концентрация механических примесей в очищенной воде C ; температура воды t_w ; плотность примесей ρ ; влажность осадка w , глубина отстойной части H_{set} ; расход сточных вод q_w , постоянный в течение суток; диаметр отстойника и впускного устройства, соответственно, D_{set} и d_{en} .

Таблица 6 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	t_w , °С	C_{en} , мг/л	ρ , г/см ³	H_{set} , м	D_{set} , м	w , %	d_{en} , м
1	1000	20	300	2	1,0	17	95	1,0
2	1200	30	400	5	0,8	16	95	1,2
3	1250	20	200	7	1,2	18	95	0,9
4	1200	25	300	6	1,1	16	95	1,1
5	1300	30	200	4	0,9	19	95	1,3
6	1100	40	400	8	0,9	18	95	1,1
7	1050	50	300	3	1,0	15	95	1,0
8	1000	60	200	2	1,2	17	95	1,2
9	1500	40	400	6	1,1	18	95	1,2
10	1600	30	200	7	1,0	19	95	0,9
11	1700	25	300	5	0,9	20	95	1,1
12	1300	25	300	4	0,8	22	95	1,3
13	1500	30	400	8	1,0	15	95	1,1
14	1450	40	200	7	1,3	14	95	1,0
15	1550	25	300	5	1,2	18	95	1,2
16	1650	15	400	3	1,0	20	95	0,9
17	1750	30	300	9	0,8	16	95	1,1
18	1850	40	300	7	1,2	18	95	1,3
19	1350	50	400	5	1,1	15	95	1,1
20	1720	60	400	10	0,9	17	95	1,0

№ 3. Проведите расчет тонкослойного отстойника, работающего по перекрестной схеме удаления осадка, принимая во внимание следующие данные, представленные в таблице 7: расход сточных вод завода производства железобетонных изделий q_w ; коэффициент часовой неравномерности равный 1,1; завод работает в две смены. Исходная концентрация тяжелых механических примесей - $C_{еп}$, мг/л; допустимая концентрация механических примесей в очищенной воде - C , мг/л; гидравлическая крупность частиц $u_0 = 0,2$ мм/с, скорость потока воды в ярусе отстойника $v_w = 7$ мм/с. Из условия количества загрязнений в сточных водах принимается высота яруса в отстойнике $h_{ii} = 0,1$ м; высота тонкослойного блока $H_{bl} = 1,5$ м. Определите степень очистки воды \mathcal{E} , гидравлическую крупность частиц u_0 , длину яруса ℓ_{bl} , производительность отстойника q_{set} , ширину секции $B_{стр}$, длину секции $L_{стр}$, высоту отстойника $H_{стр}$, количество отстойников N и образующегося осадка Q .

Таблица 7 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	$C_{еп}$, мг/л	C , мг/л	ρ , г/см ³	w , %
1	1200	700	50	1,9	96
2	1200	800	60	2	96
3	1250	650	55	6	96
4	1200	600	60	7	96
5	1300	750	55	5	95
6	1100	800	45	4	97
7	1050	640	40	8	95
8	1000	450	70	7	97
9	1500	700	80	5	95
10	1600	680	50	7	95
11	1700	790	40	5	98
12	1300	850	55	4	95
13	1500	760	45	8	94
14	1450	740	40	7	95
15	1550	650	70	5	93
16	1650	600	50	3	95
17	1750	750	60	9	95
18	1850	800	55	7	96
19	1350	640	64	5	95
20	1720	450	59	10	97

№ 4. Рассчитайте тонкослойный отстойник, работающий по противоточной схеме, для очистки коагулированных сточных вод литейного производства расходом q_w . Сточные воды с концентрацией механических примесей $C_{ен}$, и плотностью ρ , образуются постоянно. Температура сточных вод t_w . Требуемая степень очистки, соответствующая содержанию взвесей в очищенной воде C , обеспечивается при задержании частиц гидравлической крупностью u_0 . Определите производительность $q_{сет}$ и количество секций отстойника N , расход удаляемого осадка Q , длину пластины в ярусе L_{bl} , длину зоны отстойника $L_{стр}$, общую глубину воды в отстойнике $H_{стр}$, учитывая высоту блока $H_{bl} = 4$ м, ширину блока $B_{bl} = 6$ м и угол наклона пластин $\alpha = 45^\circ$. Исходные данные для расчета представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	t_w , °С	$C_{ен}$, мг/л	ρ , г/см ³	C , мг/л	u_0 , мм/с	w , %
1	500	30	1000	2	150	0,20	96
2	550	20	900	5	200	0,18	96
3	450	25	950	7	150	0,22	96
4	480	30	1100	6	190	0,21	96
5	510	40	1200	4	230	0,19	95
6	530	50	1000	8	250	0,25	97
7	490	60	700	3	300	0,17	95
8	450	40	900	2	100	0,20	97
9	550	30	800	6	180	0,20	95
10	540	25	1400	7	250	0,18	95
11	530	25	1300	5	270	0,22	98
12	480	30	1000	4	190	0,21	95
13	460	40	900	8	210	0,15	94
14	500	25	1200	7	240	0,16	95
15	550	15	1000	5	200	0,21	93
16	600	30	700	3	170	0,24	95
17	400	40	900	9	150	0,18	95
18	500	50	700	7	250	0,19	96
19	530	60	900	5	270	0,22	95
20	480	25	1050	10	190	0,21	97

2 Гидроциклоны

Для механической очистки сточных вод от взвешенных веществ используют открытые и напорные гидроциклоны. Напорные гидроциклоны эффективны для выделения из сточных вод грубодисперсных примесей главным образом минерального происхождения, а открытые гидроциклоны (рисунок 5) применяют для выделения всплывающих и оседающих грубодисперсных примесей гидравлической крупностью 0,2 мм/с и более.

Для расчета и проектирования установок с открытыми гидроциклонами должны быть заданы те же параметры по воде и по загрязнениям, что и для отстойников.

Гидравлическая крупность частиц, которые необходимо выделить для обеспечения требуемого эффекта очистки, определяется при высоте слоя воды, равном 200 мм. Для многоярусных гидроциклонов слой отстаивания должен быть равен высоте яруса.

Основной расчетной величиной является удельная гидравлическая нагрузка q_{hc} , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, определяемая по формуле (21)

$$q_{hc} = 3,6K_{hc}u_0, \quad (21)$$

где K_{hc} - коэффициент пропорциональности, для типа гидроциклона без внутренних устройств равный 0,61; с конической диафрагмой и внутренним цилиндром - 1,98. Коэффициент K_{hc} для многоярусного гидроциклона с центральными выпусками определяется по формуле (22) и для многоярусного гидроциклона с периферийным отбором осветленной воды по формуле (23)

$$K_{hc} = \frac{0,75 \cdot n_{ti} (D_{hc}^2 - d_{en}^2)}{D_{hc}^2}, \quad (22)$$

$$K_{hc} = \frac{1,5n'_{ti} (D_{hc}^2 - d_d^2)}{D_{hc}^2}, \quad (23)$$

где n_{ti} - число ярусов;

D_{hc} - диаметр гидроциклона, м;

d_{en} - диаметр окружности, на которой располагаются раструбы выпусков, м;

n'_{ii} - число пар ярусов;

d_d - диаметр отверстия средней диафрагмы пары ярусов, м.

Удельная гидравлическая нагрузка, приходящаяся на один ярус гидроциклона с периферийным отбором осветленной воды определяется по формуле (24)

$$q_{hc} = 3,6 \cdot \frac{D_{hc}^2 - (d_d + 2 \cdot b)^2}{D_{hc}^2} \cdot K_{set} \cdot 2 \cdot u_o, \quad (24)$$

где b - ширина периферийной щели для отвода очищенной воды, равная $b=0,1$ м;

K_{set} - коэффициент использования объема яруса, равный 0,4 при $q_{hc} \leq 1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

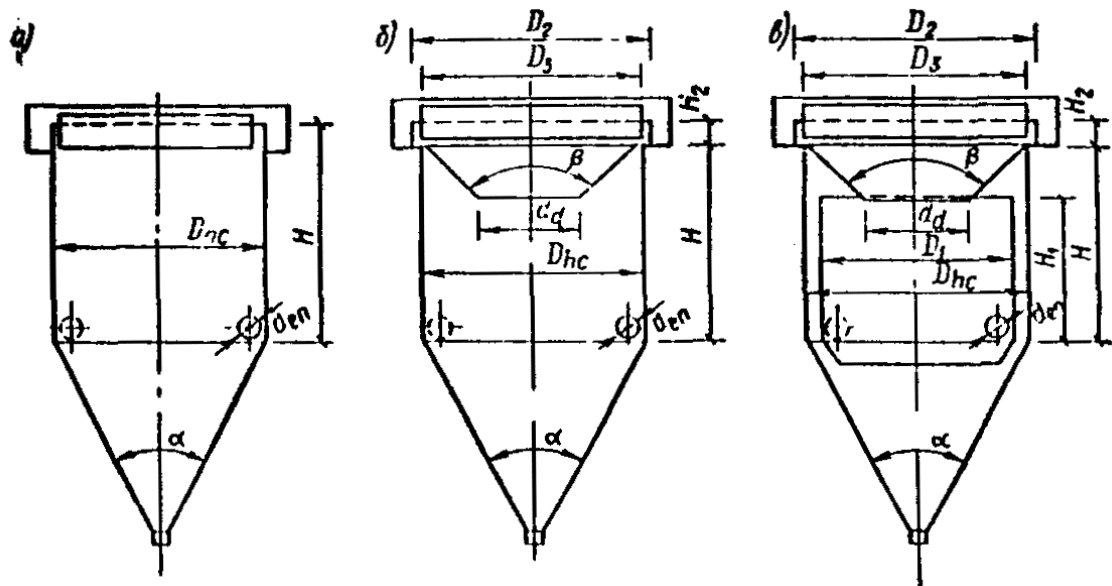
Производительность одного аппарата Q_{hc} , $\text{м}^3/\text{ч}$, рассчитывают по формуле (25)

$$Q_{hc} = \frac{\pi \cdot D_{hc}^2}{4} \cdot q_{hc}. \quad (25)$$

Исходя из общего количества сточных вод q_w определяется количество рабочих единиц гидроциклонов по формуле (26)

$$N = q_w / Q_{hc}. \quad (26)$$

Величины конструктивных параметров - D_{hc} , b и др., входящие в расчетные зависимости, определяют по таблице 9.



а)

б)

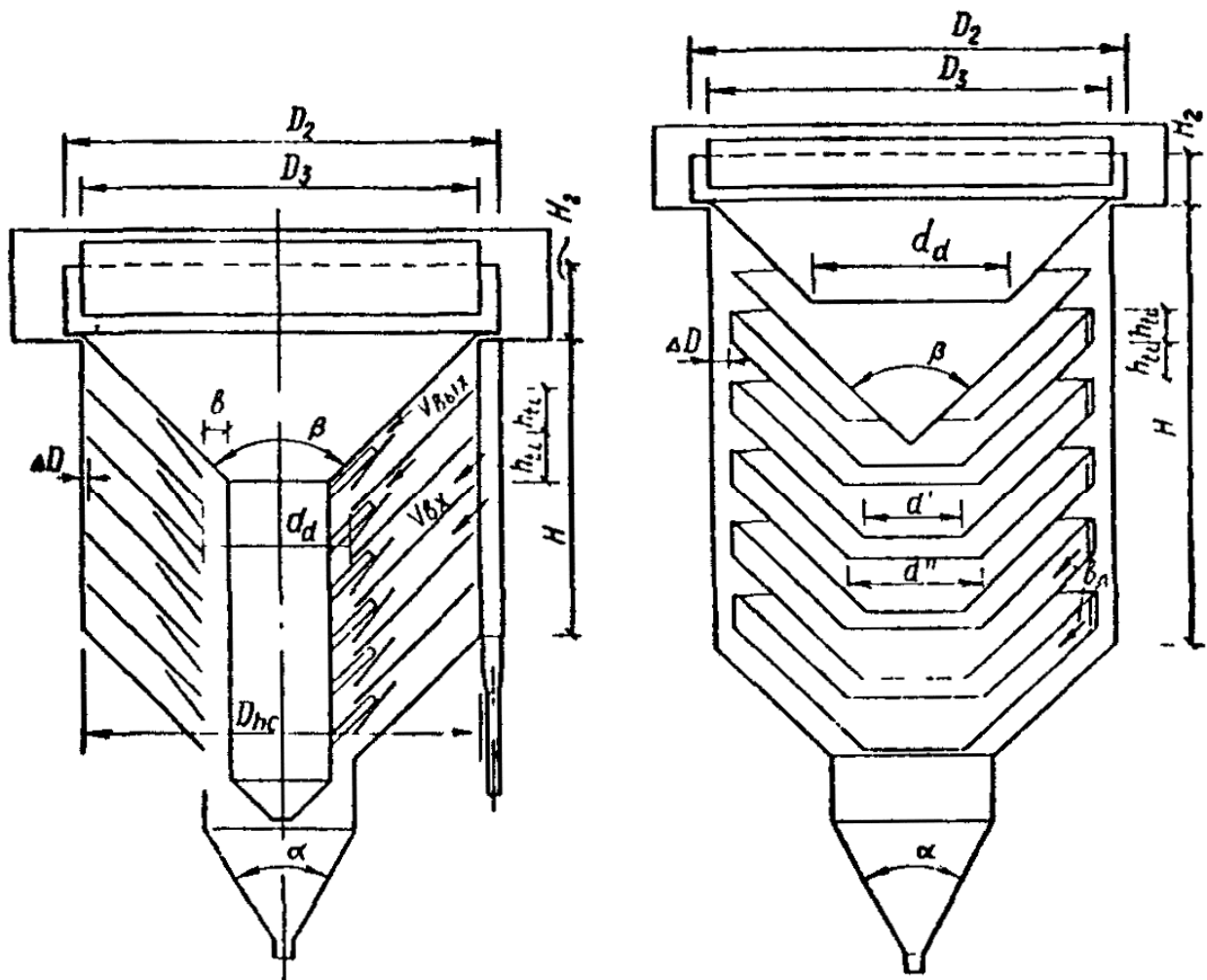


Рисунок 5 – Схемы открытых гидроциклонов без внутренних вставок (а), с конической диафрагмой (б), с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (в), многоярусного гидроциклона с центральными выпусками (г), периферийным отбором очищенной воды (д)

Таблица 9 – Величины конструктивных параметров гидроциклонов

Наименование конструктивного элемента	Единица измерения	Тип гидроциклона*				
		1	2	3	4	5
Диаметр аппарата	м	2-10	2-6	2-6	2-6	2-6
Высота цилиндрической части, Н	доля от D_{hc}	$D_{hc} c$	D_{hc}	$D_{hc} + 0,5$	-	-
Размер впускного патрубка	доля от D_{hc}	0,07	0,05	0,05	Определяется по скорости входа	
Количество впусков	шт.	2	2	2	3	3
Угол конической части, α	град	60	60	60	60	60
Угол конуса диафрагм, β	град	-	90	90	90-60	90-60
Диаметр центрального отверстия в диафрагме, d	доля от D_{hc}	-	0,5	0,5	0,6-1,4	0,9-1,6**
						0,6-1,0
Диаметр внутреннего цилиндра, D_1	доля от D_{hc}	-	-	0,88	-	-
Высота внутреннего цилиндра, H_1	доля от D_{hc}	-	-	1,0	-	-
Высота водосливной стенки над диафрагмой, H_2	м	-	0,5	0,5	-	-
Диаметр водосливной стенки, D_2	в долях от D_{hc}	D_{hc}	$D_{hc} + 0,2$	$D_{hc} + 0,2$	$D_{hc} + 0,2$	$D_{hc} + 0,2$
Диаметр полупогруженной кольцевой перегородки	в долях от D_{hc}	$D_{hc} - 0,2$	D_{hc}	D_{hc}	D_{hc}	D_{hc}
Высота ярусов, h_{ji}	м	-	-	-	0,1-0,25	0,1-0,2
Число ярусов, n_{ji}	шт.	-	-	-	4-20	4-20
Зазор между корпусом и диафрагмой, ΔD	м	-	0	0	0,05-0,07	0,1-0,15
Ширина шламоотводящей щели, b	м	-	-	-	0,1-0,15	-
Скорость потока на входе в аппарат, u_{bn}	м/с	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,4	0,3-0,4
Скорость потока на входе в раструб выпуска, $u_{вых}$	м/с	-	-	-	$\leq 0,1$	-
Количество выпусков из яруса, n_3	шт.	-	-	-	3	-

* Открытый гидроциклон без внутренних вставок (1), с конической диафрагмой (2), с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (3); многоярусный гидроциклон с центральными выпусками (4), периферийным отбором очищенной воды (5).

** Над чертой показан размер нижней диафрагмы пары ярусов, под чертой - верхней.

2.1 Задания к расчету

№ 1. Рассчитайте установку многоярусного гидроциклона с периферийным отбором очищенной воды для очистки сточных вод от вагранок литейного цеха, используя для расчета данные, показанные в таблице 10: концентрация тяжелых примесей в сточной воде C_{en} ; температура воды t_w ; диаметр гидроциклона D_{hc} ; диаметр центрального отверстия верхней диафрагмы прямоточного яруса d_d ; расход сточных вод q_w , постоянный в течение суток. В очищенной воде содержание тяжелых примесей не должно превышать 150 мг/л. По данным анализа кривых кинетики отстаивания сточных вод при температуре 20 °С, в слое $h = 200$ мм требуемая степень очистки обеспечивается при задержании частиц крупностью 0,2 мм/с. Рассчитайте степень очистки воды \mathcal{E} , удельную гидравлическую нагрузку, приходящуюся на один ярус гидроциклона q_{hc} , производительность одного аппарата Q_{hc} , количество ярусов и рабочих аппаратов. Определите конструктивные размеры гидроциклона.

Таблица 10 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , М ³ /ч	t_w , °С	C_{en} , мг/л	D_{hc} , м	d_d , м
1	680	30	800	5	1,0
2	1000	25	1000	6	0,8
3	550	25	1200	4	0,7
4	670	30	1100	5	0,6
5	700	40	1500	3	1,0
6	850	25	1200	6	0,6
7	690	15	1250	5	0,7
8	1000	30	900	4	0,8
9	900	40	950	5	0,9
10	800	50	980	6	1,0
11	750	60	1140	3	0,9
12	800	30	1180	4	0,8
13	730	40	1200	4	0,7
14	650	25	1300	5	0,6
15	680	15	1000	3	0,7
16	590	30	1050	6	0,8
17	760	40	1100	5	0,8
18	800	50	1150	3	0,9
19	860	60	970	6	1,0
20	550	25	1000	5	0,9

№ 2. Определите конструктивные размеры открытого гидроциклона с конической диафрагмой и внутренним цилиндром для очистки сточных вод, образующихся при мойке грузовых автомобилей. Расход сточных вод q_w постоянен в течение суток. Гидроциклон применен на первой ступени очистки и задерживает частицы гидравлической крупностью 0,3 мм/с. Рассчитайте удельную гидравлическую нагрузку на гидроциклон q_{hc} , производительность одного аппарата Q_{hc} , количество рабочих единиц гидроциклонов N , принимая во внимание диаметр гидроциклона D_{hc} . Исходные данные для расчета представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	t_w , °С	D_{hc} , м
1	50	20	3
2	70	30	4
3	80	20	3
4	40	25	2
5	90	30	6
6	100	40	5
7	90	50	5
8	75	60	4
9	55	40	5
10	60	30	6
11	75	25	3
12	80	25	4
13	90	30	4
14	100	40	5
15	60	25	3
16	50	15	6
17	90	30	5
18	75	40	3
19	55	50	6
20	60	60	5

3 Сооружения для биологической очистки сточных вод

3.1 Аэротенки

Аэротенки, действующие по принципу вытеснителей, применяют при отсутствии залповых поступлений токсичных веществ, а также на второй ступени двухступенчатых схем. Комбинированные сооружения типа аэротенков-отстойников (аэроакселераторы, окситенки, флототенки, аэротенки-осветлители) применяют на любой ступени биологической очистки.

Период аэрации t_{atm} , ч, в аэротенках, работающих по принципу смесителей, определяют по формуле (27)

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-s)\rho}, \quad (27)$$

где L_{en} - БПК_{полн} поступающей в аэротенки сточной воды с учетом снижения БПК при первичном отстаивании, мг/л;

L_{ex} - БПК_{полн} очищенной воды, мг/л;

a_i - доза ила, г/л;

s - зольность ила;

ρ - удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле (28)

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} C_{O_2}}{L_{ex} C_{O_2} + K_1 C_{O_2} + K_o L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}, \quad (28)$$

где ρ_{max} - максимальная скорость окисления, мг/(г · ч);

C_{O_2} - концентрация растворенного кислорода, мг/л;

K_1 - константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК_{полн}/л;

K_o - константа, характеризующая влияние кислорода, мг O_2 /л;

φ - коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г.

Величины ρ_{max} , K_1 , K_o , φ , s , принимаются по таблице 12.

Таблица 12 - Параметры аэротенков

Сточные воды	ρ_{max} , МГ БПК _{полн} /(Г·ч)	K_1 , МГ БПК _{полн} /л	K_0 , МГ O_2 /л	φ , л/г	s
Городские	85	33	0,625	0,07	0,3
Производственные:					
а) нефтеперера- батывающих заводов:					
I система	33	3	1,81	0,17	0,3
II система	59	24	1,66	0,158	0,3
б) азотной промышленности	140	6	2,4	1,11	0,3
в) заводов синтетического каучука	80	30	0,6	0,06	0,15
г) целлюлозно-бумажной промышленности:					
сульфатно- целлюлозное производство	650	100	1,5	2	0,16
сульфитно- целлюлозное производство	700	90	1,6	2	0,17
д) заводов вискозы	90	35	0,7	0,27	0,17
е) фабрик первичной обработки шерсти:					
I ступень	32	156	-	0,23	0,17
II ступень	6	33	-	0,2	0,17
ж) дрожжевых заводов	232	90	1,66	0,16	0,35
з) заводов органического синтеза	83	200	1,7	0,27	0,35
и) микробиологической промышленности:					
производство лизина	280	28	1,67	0,17	0,15
биовита и витамицина	1720	167	1,5	0,98	0,12
к) свинооткормочных комплексов:					
I ступень	454	55	1,65	0,176	0,25
II ступень	15	72	1,68	0,171	0,3

Формулы (27) и (28) справедливы при среднегодовой температуре сточных вод 15 °С. При иной среднегодовой температуре сточных вод T_w продолжительность аэрации, вычисленная по формуле (27), умножается на отношение $15/T_w$. Продолжительность аэрации во всех случаях составляет более 2 ч.

Регенерацию активного ила поступающей в аэротенк воды, проводят при $BPK_{полн}$ свыше 150 мг/л, а также при наличии в воде вредных производственных примесей.

Период аэрации t_{atv} , ч, в аэротенках-вытеснителях рассчитывают по формуле (29)

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_o a_i (1 - s)} \left[(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_o \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \quad (29)$$

где K_p - коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания, равный $K_p=1,5$ при биологической очистке до $L_{ex} = 15$ мг/л, и $K_p=1,25$ при $L_{ex} > 30$ мг/л;

L_{mix} - $BPK_{полн}$, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом. Рассчитывается по формуле (30)

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} R_i}{1 + R_i}, \quad (30)$$

где R_i - степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (31) при условии $J_i < 175$ см³/г и a_i до 5 г/л

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (31)$$

где J_i - иловый индекс, см³/г.

Величина R_i составляет не менее 0,3 для отстойников с илососами, 0,4 - с илоскребами и 0,6 - при самотечном удалении ила.

Согласно СНиП 2.04.03-85, для городских и основных видов производственных сточных вод допускается определять величину J_i по таблице 13. Для окситенков величина J_i должна быть снижена в 1,3-1,5 раза.

Нагрузку на ил q_i , мг $BPK_{полн}$ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, рассчитывают по формуле (32)

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1 - s)t_{at}}, \quad (32)$$

где t_{at} - период аэрации, ч, определяемый по формуле (33)

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}} \cdot \quad (33)$$

Таблица 13 – Величина илового индекса J_i , см³/г, в сточных водах при различной нагрузке на ил

Сточные воды	Нагрузка на ил q_i , мг/(г·сут)				
	200	300	400	500	600
Городские	100	70	80	95	130
Производственные:					
а) нефтеперерабатывающих заводов	120	70	80	120	160
б) заводов синтетического каучука	100	40	70	100	130
в) комбинатов искусственного волокна	300	200	250	280	400
г) целлюлозно-бумажных комбинатов	220	150	170	200	220
д) химкомбинатов азотной промышленности	90	60	75	90	120

При проектировании аэротенков с регенераторами продолжительность окисления органических загрязняющих веществ t_o , ч, определяют по формуле

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1 - s) \rho}, \quad (34)$$

где a_r - доза ила в регенераторе, г/л, определяемая по формуле (35)

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) \cdot \quad (35)$$

Продолжительность регенерации t_r , ч, определяют по формуле (36)

$$t_r = t_o - t_{at} \cdot \quad (36)$$

Вместимость аэротенков определяют по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока. Расход циркулирующего активного ила при расчете вместимости аэротенков без регенераторов и вторичных отстойников не учитывается. Вместимость аэротенка W_{at} , м³, рассчитывают по формуле (37)

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w, \quad (37)$$

где q_w - расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Вместимость регенераторов W_r , м³, определяют по формуле (38)

$$W_r = t_r R_i q_w. \quad (38)$$

Процент общего объема, занятый регенераторами (39)

$$P = W_r / (W_r + W_{at}) \cdot 100. \quad (39)$$

Прирост активного ила в аэротенках P_i , мг/л, рассчитывают по формуле

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + K_g L_{en}, \quad (40)$$

где C_{cdp} - концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л;

K_g - коэффициент прироста, равный 0,3 для городских вод. При очистке сточных вод в окситенках величина K_g снижается до 0,25.

Удельный расход воздуха q_{air} , м³/м³, очищаемой воды, при пневматической системе аэрации устанавливают по формуле (41)

$$q_{air} = \frac{q_o (L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_o)}, \quad (41)$$

где q_o - удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, равный 1,1 при очистке до БПК_{полн} 15-20 мг/л, и 0,9 - при очистке до БПК_{полн} свыше 20 мг/л;

K_1 - коэффициент, учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az}/f_{at} по таблице 14; для среднепузырчатой и низконапорной $K_1 = 0,75$;

K_2 - коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов h_a и принимаемый по таблице 15;

K_T - коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, рассчитываемый по формуле (42)

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (42)$$

где T_w - среднемесячная температура воды за летний период, °С;

K_3 - коэффициент качества воды, равный для городских сточных вод 0,85; при наличии синтетических поверхностно-активных веществ принимается в зависимости от величины f_{az}/f_{at} по таблице 16, для производственных сточных вод - по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать $K_3 = 0,7$;

C_a - растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяемая по формуле

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T, \quad (43)$$

где C_T - растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления;

h_a - глубина погружения аэратора, м;

C_o - средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л; в первом приближении C_o принимается 2 мг/л и необходимо уточнять на основе технико-экономических расчетов с учетом формул (27) и (28).

Интенсивность аэрации J_a , м³/(м² · ч), определяют по формуле (44)

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{at}}, \quad (44)$$

где H_{at} - рабочая глубина аэротенка, м.

Если вычисленная интенсивность аэрации свыше $J_{a,max}$ для принятого значения K_1 , необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны; если менее $J_{a,min}$ для принятого значения K_2 - следует увеличить расход воздуха, приняв $J_{a,min}$ по таблице 15.

Таблица 14 – Определение коэффициента K_1 в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az}/f_{at}

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$J_{a,max}$, м ³ /(м ² ·ч)	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблица 15 – Определение коэффициента K_2 в зависимости от глубины погружения аэратора h_a

$h_a, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
K_2	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a,min}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Таблица 16 - Определение коэффициента качества воды K_3 в зависимости от величины f_{az}/f_{at}

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_3	0,59	0,59	0,64	0,66	0,72	0,77	0,88	0,99

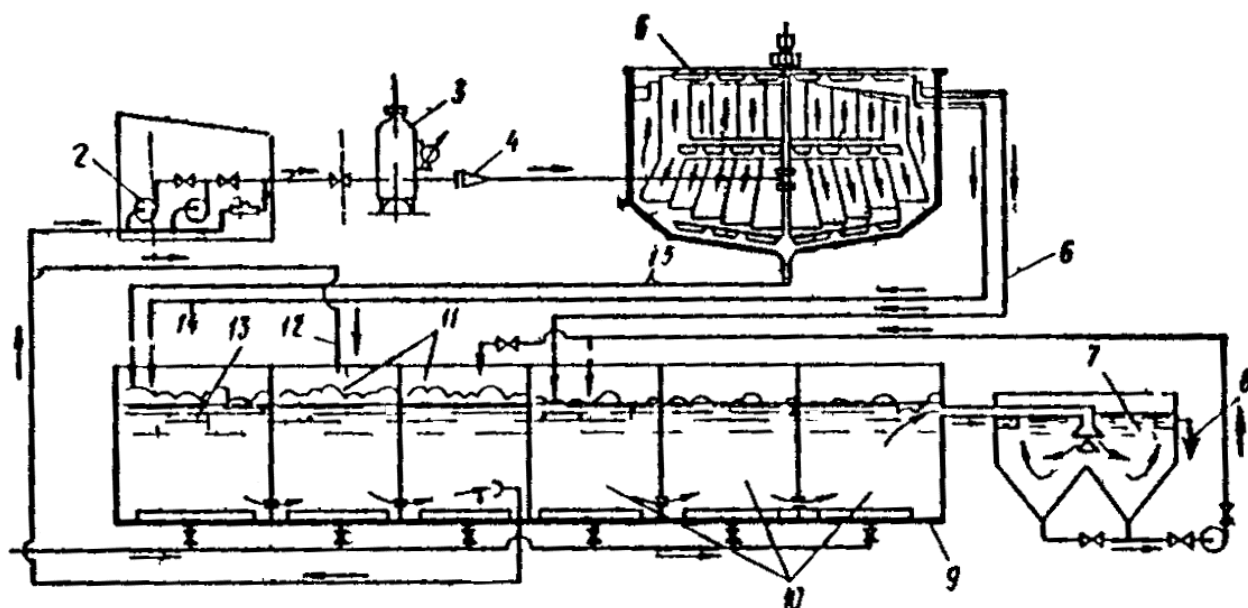
Число аэраторов N_{ma} для аэротенков и биологических прудов устанавливаются по формуле (45)

$$N_{ma} = \frac{q_O(L_{en} - L_{ex})W_{at}}{1000K_T K_3 \left(\frac{C_a - C_O}{C_a} \right) t_{at} Q_{ma}}, \quad (45)$$

где Q_{ma} - производительность аэратора по кислороду, кг/ч, принимаемая по паспортным данным.

3.2 Аэротенки с флотационным илоотделением

Предназначаются для полной, и глубокой биологической очистки производственных сточных вод. Применение аэротенков с флотационным илоотделением, экономически целесообразно для очистки производственных сточных вод с БПК_{полн} более 400 мг/л биологически трудноокисляемых загрязнений сточных вод, для которых необходимый период аэрации превышает 16 ч. Рекомендуется двухступенная очистка, в которой на первой ступени используются аэротенки-смесители, работающие с высокой дозой ила, и разделение иловой смеси в напорных флотаторах; на второй ступени - секционированные аэротенки-вытеснители и вторичные отстойники. При проектировании часто используют комбинированные сооружения аэротенков I и II ступени, между которыми располагается флотационный илоотделитель (рисунок 6).



1 - резервуар аэротенка; 2 - центробежной насос; 3 - сатуратор; 4 - дросселирующая арматура; 5 – флотационный илоотделитель; 6 - трубопровод подачи воды на II ступень; 7 - вторичный отстойник; 8 - сброс очищенной воды; 9 - аэротенк II ступени; 10 - ячейки аэротенка II ступени; 11 - аэротенк I ступени; 12 - подача исходной воды; 13 - регенератор; 14 - подача возвратного ила; 15 - опорожнение флотатора.

Рисунок 6 - Схема аэротенка с флотационным илоотделителем для очистки производственных сточных вод

Сооружение работает следующим образом: неочищенная сточная жидкость поступает в первую ступень, смешивается с регенерированным активным илом, выходящим из ячейки, и освобождается от основной массы загрязнений в результате происходящих в первой ступени процессов сорбции и окисления. Затем иловая смесь забирается высоконапорным насосом из конца первой ступени, насыщается воздухом в сатураторе и выпускается через дросселирующее устройство во флотационный илоотделитель в котором при снижении давления с 0,3-0,6 МПа до атмосферного происходит интенсивное всплывание воздушных пузырьков вместе с частицами активного ила. Выделенный в виде пены активный ил направляется в регенератор, где сорбированные загрязнения окисляются при высокой концентрации активного

ила 25-30 г/л. Регенерированный ил смешивается с поступающей сточной жидкостью. Цикл повторяется. При работе первой ступени без регенератора предусмотрена возможность подачи части сточных вод в ячейку. Осветленная во флотационном илоотделителе иловая смесь с содержанием взвеси 100-300 мг/л по трубопроводу выпускается во вторую ступень аэротенка, где происходит процесс доочистки сточных вод при нормальной нагрузке на ил. Аэротенк второй ступени разделен перегородками с отверстиями на 4-6 ячеек. На последней ячейке иловая смесь поступает в отстойник. Очищенная вода сбрасывается с установки, циркуляционный ил возвращается в первую ячейку второй ступени. Избыточный ил из отстойника второй ступени направляется на первую ступень, проходит флотационный илоотделитель и вместе с избыточным илом первой ступени направляется в уплотнитель, в котором происходит дальнейшее снижение влажности пены до 92-94 %. Осветленная надильная вода из уплотнителя направляется по возможности самотеком во вторую ступень аэротенка или (как вариант) сбрасывается в поток осветленной воды, выходящей из отстойника второй ступени.

Расчет аэротенков с флотационным илоотделением производят в следующем порядке. Ориентировочно дозу ила в аэротенке первой ступени a_i , г/л, можно определить по формуле (46) в зависимости от величины илового индекса

$$a_i = 1,3 / (0,05 + 0,00152 \cdot J_i) \quad (46).$$

Продолжительность пребывания в аэротенке первой и второй ступеней рассчитывают по формулам (27) и (29), удельную скорость окисления по формуле (28), степень рециркуляции ила для аэротенков второй ступени по формуле (31), константы процесса ρ_{max} , K_1 , K_o , φ , s из таблицы 12.

Концентрация сфлотированного уплотненного ила a_f , г/л, определяется по уравнению (47),

$$a_f = \frac{1,6}{a + bJ_i}, \quad (47)$$

где J_i - величина илового индекса, см³/г; определяется по таблице 13;

а, b – коэффициенты; определяются в зависимости от продолжительности уплотнения сфлотированного ила по таблице 17.

Таблица 17 – Определение коэффициентов а, b в зависимости от продолжительности уплотнения сфлотированного ила

Время уплотнения ила, ч	0,25	1,0	0,5	1,2	3
Коэффициент а	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011
Коэффициент b·10 ³	0,262	0,242	0,218	0,203	0,198

Степень рециркуляции активного ила на первой ступени R_f определяется в зависимости от требуемой концентрации сфлотированного уплотненного ила, a_f по формуле (48)

$$R_f = a_i / (a_f - a_i). \quad (48)$$

Нагрузка по твердой фазе на зеркало флотационного илоотделителя q_{ss} , кг/(м²·сут), при оптимальном удельном расходе растворенного воздуха и концентрации активного ила a_{omn} определяется по формуле (49)

$$q_{ss} = (50 + 1,5J_i) \cdot 1,4 / (0,005 \cdot J_i - 0,07). \quad (49)$$

Суммарное количество твердой фазы, подвергаемой флотации, G_{ss} , кг/сут, рассчитывается по формуле (50)

$$G_{ss} = q_w a_i (1 + R_f). \quad (50)$$

Суммарная площадь флотационных илоотделителей F_f , м², устанавливается по формуле (51)

$$F_f = G_{ss} / g_{ss}. \quad (51)$$

Гидравлическая нагрузка $q_{m,s}$, м³/(м²·ч), на флотаторы определяется по формуле (52)

$$q_{m,s} = q_w / 24 \cdot F_f. \quad (52)$$

Продолжительность пребывания воды t_{szf} в отстойной зоне ниже водораспределителя составляет 0,4-0,6 ч, высота отстойной зоны определяется H_{szf} , м, по формуле (53)

$$H_{szf} = t_{szf} \cdot q_{m,s}. \quad (53)$$

Глубина зоны уплотнения H_T выше водораспределителя составляет 2-2,5 м.

3.3 Аэротенки-нитрификаторы, аэротенки-денитрификаторы

Процесс глубокой нитрификации сточных вод, содержащих NH_4^+ , независимо от исходной концентрации аммонийного азота эффективно протекает в аэротенках-смесителях при соблюдении строго определенного возраста активного ила, который для различных условий может измениться от 5 до 70 и более сут. При осуществлении процесса нитрификации в отсутствие или недостатке органического субстрата для построения биомассы нитрифицирующих микроорганизмов требуется искусственная добавка источников неорганического углерода в виде HCO_3^- или CO_2 из расчета 2 мг-экв на 1 мг-экв окисленного аммонийного азота. Оптимальная величина pH для нитрифицирующих микроорганизмов составляет 8,4; оптимальная температура 30 °С.

Для удаления из воды окисленных форм азота (NO_2^- и NO_3^-) осуществляют денитрификацию - восстановление нитритов и нитратов до молекулярного азота. Этот процесс может быть реализован при наличии в воде определенного количества органического субстрата (углеводы, спирты, органические кислоты, продукты распада белков, избыточный активный ил), окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO_2 и H_2O за счет кислорода азотсодержащих соединений. Наиболее эффективно процесс денитрификации протекает при значениях pH = 7-7,5. Источником углеродного питания при очистке сточных вод методом денитрификации могут быть исходные или прошедшие очистку в первичных отстойниках сточные воды, а также органосодержащие производственные сточные воды, предпочтительно не содержащие аммонийного, органического и белкового азота. Необходимое соотношение величины БПК в сточных водах к нитратному азоту ориентировочно равно 4: 1.

Для процессов нитрификации и денитрификации могут быть использованы обычные сооружения биологической очистки: аэротенки и биофильтры. При удалении соединений азота из сточных вод могут

применяться различные схемы очистки: одностадийные, двух или трехстадийные. В каждой схеме процесс денитрификации может осуществляться в начале, середине или в конце сооружения, с искусственной добавкой субстрата, например, метанола или с использованием субстрата сточных вод, с проведением процесса денитрификации в аэробных или анаэробных условиях, с дополнительной рециркуляцией иловой смеси в начало резервуара из его конца или из вторичного отстойника, а также из одной ступени в другую. Во всех схемах на завершающей стадии устраивают, как правило, аэрацию иловой смеси продолжительностью не менее 1-2 ч для отдувки газообразного азота и более глубокого окисления аммонийного азота.

Расчет аэротенка – нитрификатора.

Удельную скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов μ , сут⁻¹, рассчитывают по формуле (54)

$$\mu = K_{pH} \cdot K_T \cdot K_{OC} \cdot \mu_{max} \cdot C_{ex} / (K_n + C_{ex}), \quad (54)$$

где K_{pH} - коэффициент, учитывающий влияние pH. При значении pH – 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,4; 9, коэффициент K_{pH} равен, соответственно, 0,15; 0,31; 0,5; 0,6; 0,87; 1; 1,23;

K_T - коэффициент, учитывающий влияние температуры жидкости. При температуре 10; 15; 20; 25; 30 °С, коэффициент K_T составляет, соответственно, 0,32; 0,56; 1,0; 1,79; 3,2;

μ_{max} - максимальная скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов, равная 1,77 сут⁻¹ при значении pH = 8,4 и температуре 20 °С;

K_n - константа полунасыщения, мг аммонийного азота/л;

C_{ex} - концентрация аммонийного азота в очищенной жидкости, мг/л;

K_{oc} - коэффициент, учитывающий влияние концентрации растворенного кислорода; рассчитывается по формуле (55)

$$K_{oc} = C_o / (K_o + C_o), \quad (55)$$

где C_o - концентрация растворенного кислорода в иловой смеси, мг/л;

K_o - константа полунасыщения, равная 2 мг O₂/л; определяется по формуле

$$K_o = J / (J + C_i), \quad (56)$$

где C_i - концентрация ингибитора, мг/л;

J - константа полунасыщения, мг ингибитора/л.

Минимальный возраст нитрифицирующего ила θ , сут, определяется по формуле

$$\theta = 1/\mu. \quad (57)$$

Вследствие весьма малой скорости роста нитрифицирующих микроорганизмов существует критическая минимально возможная суммарная концентрация аммонийного и органического азота C_{min} в поступающей воде, ниже которой осуществление процесса нитрификации в аэротенке с заданным эффектом становится практически невозможным из-за ограничений работы вторичных отстойников при возврате в нитрификатор необходимого количества нитрифицирующего ила. Минимальная допустимая концентрация аммонийного азота C_{min} , мг/л, определяется выражением (58)

$$C_{min} = 0,02 \cdot a_t \cdot \theta / a_{is}, \quad (58)$$

где a_t - концентрация выноса нитрифицирующего ила из вторичного отстойника, мг/л. С целью сохранения нитрифицирующего ила в системе вынос его из вторичных отстойников должен быть не более 20 мг/л.

a_{is} - концентрация нитрифицирующего ила, г/л, зависит от возраста ила и составляет 0,017; 0,034; 0,048; 0,055; 0,048; 0,033; 0,021; 0,016; 0,048; 0,053; 0,025 г/л при, соответственно, 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50; 60; 70 сутках.

Дозу нитрифицирующего ила a_{in} , г/л, определяют по формуле (59)

$$a_{in} = 1,2 \cdot a_{is} \frac{C_{en} - C_{ex}}{t_{atm}}, \quad (59)$$

где C_{en}, C_{ex} - содержание аммонийного азота в исходной и очищенной воде, мг/л;

t_{atm} - продолжительность очистки, ч. Минимальное время обработки в аэротенке-смесителе сточных вод, не содержащих органических веществ, составляет от 10 до 12 ч; в присутствии биоразлагаемых органических веществ, определяется по формуле (61)

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i \cdot \rho. \quad (60)$$

Удельная скорость окисления органических веществ ρ , мг·БПК_{полн}/(г·ч), определяется по формуле

$$\rho = K_{\Theta} + 0,0417K_p / \theta, \quad (61)$$

где K_{Θ} - энергетический физиологический коэффициент, мг·БПК_{полн}/(г·ч);

K_p - физиологический коэффициент роста микроорганизмов активного ила, мг·БПК_{полн}/г. Для городских сточных вод $K_{\Theta} = 3,7$ мг·БПК_{полн}/(г·ч); $K_p = 864$ мг·БПК_{полн}/г.

Концентрация беззольной части активного ила a_i определяется из формулы (28), где для городских сточных вод $\rho_{max} = 70$ мг·БПК_{полн}/(г·ч); $K_l = 65$ мг БПК_{полн}/л, $\varphi = 0,14$ л/г; $K_o = 0,625$ мг/л.

Удельный прирост активного ила K_g , мг/(мг·БПК_{полн}), определяется по формуле (62)

$$K_g = 41,7 \cdot a \cdot t_{atm} / (L_{en} - L_{ex}) \theta, \quad (62)$$

где a - концентрация ила по сухому веществу, г/л; определяется как соотношение общей концентрации беззольного ила в иловой смеси аэротенков ($a_{in} + a_i$) к величине $(1-s/100)$, где s - зольность ила, %.

Суточное количество избыточного ила G , кг/сут, составляет

$$G = K_g \cdot (L_{en} - L_{ex}) \cdot q_w / 1000. \quad (63)$$

Объем нитрификатора W_n , м³, определяется по формуле

$$W_n = \frac{q_w \cdot t}{24}. \quad (64)$$

Расчет денитрификатора.

В качестве денитрификаторов могут применяться как смесители, так и вытеснители.

Удельная скорость денитрификации ρ^{dn} , мг/(г·ч), рассчитывается по формуле (65)

$$\rho^{dn} = \rho_{max}^{dn} \left(\frac{L_{ex}^{dn}}{L_{ex}^{dn} + K_{dn}} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi_{dn} a_i^{dn}} \right), \quad (65)$$

где значения кинетических констант при использовании в качестве субстрата метанола составляют, соответственно, максимальная удельная скорость

восстановления азота нитратов $\rho_{\max}^{dn} = 58,8$ мг нитратного азота/(г·ч); константа Михаэлиса-Ментен $K_{dn} = 40$ мг нитратного азота/л; коэффициент ингибирования процесса денитрификации продуктами метаболизма активного ила $\varphi_{dn} = 0,19$ л/г, и при использовании субстрата этанола величины составляют: $\rho_{\max}^{dn} = 44,9$ мг нитратного азота/(г·ч); $K_{dn} = 25$ мг нитратного азота/л; $\varphi_{dn} = 0,17$ л/г;

a_i^{dn} - предельная доза денитрифицирующего ила, г/л, определяемая по формуле (66) при данном иловом индексе J_i , см³/г, и зольности ила s

$$a_{i,\max}^{dn} = s \cdot 1000 / J_i. \quad (66)$$

Расчет продолжительности процесса в реакторе-смесителе t_{atm} , ч, осуществляется по формуле (67)

$$t_{atm} = \frac{(L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn})}{a_i^{dn} \cdot (1 - s) \cdot \rho^{dn}}, \quad (67)$$

и в реакторе, работающем по типу вытеснителя, рассчитывается по формуле

$$t_{atm} = \left[(L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn}) + 2,3 \cdot K_{dn} \cdot \lg \frac{L_{en}^{dn}}{L_{ex}^{dn}} \right] \cdot \left(\frac{1 + \varphi_{dn}}{\rho_{\max}^{dn} \cdot a_i^{dn}} \right). \quad (68)$$

Расчет денитрификаторов с фиксированной загрузкой, содержащей материалы, обладающие высокоразвитой поверхностью и стойкостью к биологическим воздействиям (кварцевый песок, гравий, рулонная пластмасса, стекловолокно), производится по формуле

$$t_{bf}^{dn} = \left[(C_{en}^{dn} - C_{ex}^{dn}) + K_d \cdot K_{dn} \cdot \ln \frac{C_{en}^{dn}}{C_{ex}^{dn}} \right] \cdot \left(\frac{1 + \varphi_{dn} \cdot a_i^{dn}}{\rho_{\max}^{dn} \cdot a_i^{dn}} \right), \quad (69)$$

где t_{bf}^{dn} - время контакта сточных вод с загрузкой, ч;

C_{en}^{dn}, C_{ex}^{dn} - концентрации азота нитратов в исходной и очищенной воде, мг/л;

K_d - коэффициент, равный 0,89 при каркасно-засыпной конструкции денитрификатора, 0,83 - при гравийной и 0,81 - пленочной конструкции.

Объем рабочей части сооружения W , м³, заполненного загрузкой, рассчитывается по формуле (70)

$$W = q_w \cdot t_{bf}^{dn}. \quad (70)$$

3.4 Биологические фильтры

Биофильтры проектируются для полной ($\text{БПК} \leq 20 \text{ мг/л}$) и частичной очистки сточных вод. Очищаемые бытовые и производственные сточные воды должны иметь следующие характеристики: $6,5 < \text{pH} < 8,5$; $6 \text{ }^\circ\text{C} < \Gamma < 30 \text{ }^\circ\text{C}$; общая концентрация растворенных солей не более 10 г/л ; $\text{БПК} \leq 300 \text{ мг/л}$ при обычной биологической очистке; $\text{БПК} \leq 1 \text{ г/л}$ при двухступенчатой очистке с рециркуляцией; содержание биогенных элементов не менее 5 мг/л в пересчете на азот; не менее 1 мг/л в пересчете на фосфор на каждые 100 мг/л БПК сточных вод.

В биофильтре сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Фильтрующая загрузка помещена в круглый, многогранный или прямоугольный резервуар со сплошными стенками и двойным дном: верхнее дно - опорная решетка, нижнее - сплошное. Высота междудонного пространства выбирается не менее $0,6 \text{ м}$; уклон нижнего днища со сборным лотком - не менее $0,01 \text{ м}$. Продольный уклон сборных лотков - не менее $0,005 \text{ м}$. Стенки биофильтров должны быть выше поверхности фильтроматериала на $0,5 \text{ м}$. Биофильтр снабжен дренажным устройством для удаления профильтровавшейся воды, воздухораспределительным устройством, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

Капельные биофильтры имеют крупность фракций загрузочного материала от 20 до 30 мм , высоту слоя загрузки от 1 до 2 м и применяются при расходе сточных вод q_w до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Высоконагружаемые биофильтры с крупностью загрузочного материала от 40 до 60 мм и высотой слоя загрузки от 2 до 4 м используются при q_w до $50000 \text{ м}^3/\text{сут}$. В биофильтрах с жесткой насыпной загрузкой используют керамические, пластмассовые и металлические насыпные элементы; с жесткой блочной загрузкой – гофрированные и плоские листы, выполненные из асбестоцемента, пластмассы, а в биофильтрах с мягкой или рулонной загрузкой – металлические сетки, пластмассовые пленки,

синтетические ткани, закрепленные на каркасе или уложенные в виде рулонов. Такие биофильтры эффективны при расходах от 10000 до 50000 м³/сут в зависимости от конструкции. Погружные дисковые биофильтры используют при очистки сточных вод при расходах до 1000 м³/сут.

Расчет высоконагружаемых биофильтров.

Скорость окисления органических соединений K рассчитывается по формуле (71)

$$K = L_{en} / L_{ex}, \quad (71)$$

где L_{en}, L_{ex} - БПК исходной и очищенной воды, мг/л.

По таблице 18 при известной K и температуре сточной воды t_w определяется высота биофильтра H , м, гидравлическая нагрузка q , м³/(м²·сут), и удельный объем подаваемого воздуха $V_{уд}$, м³ на 1 м³ воды. Если расчетное значение K отличается от приведенных в таблице значений, то для очистки сточной воды без рециркуляции выбираются величины H , q и $V_{уд}$ по ближайшему значению K , а для очистки с рециркуляцией - по меньшему.

Таблица 18 - Определение высоты высоконагружаемого биофильтра H , м, гидравлической нагрузки q , м³/(м²·сут), и расхода воздуха $V_{уд}$, м³/м³, при данных константе скорости окисления K и температуре сточной воды t_w

Высота биофильтра H , м	Значение K при температуре воды t_w , °C							
	8		10		12		14	
	Гидравлическая нагрузка q , м ³ /(м ² ·сут)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При расходе воздуха $V_{уд} = 8$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,50	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,20	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,20	7,54	12,10	9,05
При расходе воздуха $V_{уд} = 10$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,50	3,36	5,09	3,67
3	6,10	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,90	6,04
4	10,10	6,23	12,3	7,18	15,10	8,45	16,40	10,0
При расходе воздуха $V_{уд} = 12$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,96	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,90	6,35	11,70	7,20
4	12,00	7,35	14,80	8,25	18,40	10,40	23,10	12,00

Площадь биофильтров F , m^2 , определяется по формуле (72) при очистке без рециркуляции, и по формуле (73) – при очистке сточных вод с рециркуляцией.

$$F = q_w / q, \quad (72)$$

$$F = q_w(n_p + 1) / q, \quad (73)$$

где n_p - коэффициент рециркуляции, определенный по формуле (74)

$$n_p = (L_{en} - L_{cm}) / (L_{cm} - L_{ex}), \quad (74)$$

где L_{cm} – БПК смеси сточных вод, мг/л.

Расчет капельных биофильтров.

Постоянная скорости окисления органических загрязнений K находится по формуле (71), гидравлическая нагрузка q при данных значениях K и температуре воды t_w , $^{\circ}C$, определяется из таблицы 19, общая площадь биофильтра рассчитывается по формуле (72). Если полученное значение K превышает значения, приведенные в таблице 19, необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией.

Таблица 19 - Определение высоты капельного биофильтра H , м, и гидравлической нагрузки q , $m^3/(m^2 \cdot \text{сут})$, при данных константе скорости окисления K и температуре сточной воды t_w

Гидравлическая нагрузка q , $m^3/(m^2 \cdot \text{сут})$	Значение K при температуре воды t_w , $^{\circ}C$							
	8		10		12		14	
	Высота биофильтра H , м							
	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0
1,0	8,0	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,6	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	5,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	5,0	8,6	5,9	10,2

Расчет погружного дискового вращающегося биофильтра.

Требуемая эффективность очистки рассчитывается по формуле

$$\Xi = \frac{(L_{en} - L_{ex})}{L_{en}} \cdot 100. \quad (75)$$

Допустимая нагрузка F по БПК₂₀ на 1м² площади поверхности дисков, БПК₂₀ г/(м²·сут), определяется по рисунку 7.



Рисунок 7 – Определение допустимой нагрузки

Общая площадь поверхности дисков F_D определяется по формуле (76)

$$F_D = L_{en} \cdot q_w / F. \quad (76)$$

Исходя из конструктивных соображений, выбирается диаметр диска D и определяется площадь его поверхности с обеих сторон S_D , м², по уравнению $2\pi D^2/4$. Диски выполняются из асбестоцемента, пластмассы или металла, и имеют диаметр от 0,6 до 3 м. Количество дисков n_D рассчитывается по формуле (77)

$$n_D = F_D / S_D. \quad (77)$$

Выбирается количество секций n биофильтра и количество ступеней в каждой секции n_c . Количество секций дисков в одной ступени n'_D определяется по формуле (78)

$$n'_D = n_D / (n \cdot n_c). \quad (78)$$

Ширина секции погружного биофильтра B , рассчитывается по уравнению

$$B = 0,1 + \delta_1 \cdot n'_D + \delta_2 \cdot (n'_D - 1), \quad (79)$$

где δ_1 - толщина диска, м, для поливинилхлоридных листов $\delta_1 = 0,01$ м;

δ_2 - расстояние между дисками, составляет в интервале от 0,015 до 0,030 м.

Длина секции биофильтра l , м, находится по формуле (80)

$$l = l_c \cdot n_c, \quad (80)$$

где l_c - длина одной ступени, м.

Рабочая глубина секции H составляет $(0,4-0,5) \cdot D$, частота вращения вала с дисками от 2 до 5 мин^{-1} , расстояние от нижней кромки диска до дна от 0,03 до 0,05 м.

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой.

Выбирается вид плоскостной загрузки и её высота H , м. Рассчитывается значение критериального комплекса η при данном значении L_{ex} , используя ряд:

L_{ex} , мг/л	10	15	20	25	30	35	40	45	50
η	3,30	2,60	2,25	2,00	1,75	1,60	1,45	1,30	1,20

Допустимая нагрузка на единицу площади биофильтра (по БПК₅) Q , $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, рассчитывается по формуле (81)

$$Q = P \cdot H \cdot K_t / \eta, \quad (81)$$

где P - пористость плоскостной загрузки, %;

K_t - температурная постоянная, определяемая по формуле

$$K_t = K_{20} \cdot 1,047^{t-20}, \quad (82)$$

где K_{20} - постоянная скорости биохимического окисления в сточной воде при $t_w=20$ °C; ($K_{20} = 0,2$).

Допустимая гидравлическая нагрузка q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, рассчитывается по формуле (83)

$$q = Q \cdot S_{y0} / L_{en}, \quad (83)$$

где S_{y0} - удельная поверхность загрузки, определяемая по справочным данным.

Объем загрузки V , м^3 , и площадь биофильтра F , м^2 , определяются по формулам (84) и (85)

$$V = q_w / q. \quad (84)$$

$$F = V / H. \quad (85)$$

Исходя из конструктивных соображений, выбирается форма, количество и геометрические размеры биофильтра. Например, диаметр секции D биофильтра круглой формы рассчитывается по формуле $\sqrt{4F/\pi}$.

3.5 Задания к расчету

№ 1. Рассчитайте аэротенк-смеситель без регенератора для очистки производственных сточных вод нефтеперерабатывающего завода II системы канализации, принимая во внимание исходные данные, показанные в таблице 20: расход сточных вод в смеси с городскими q_w ; БПК_{полн} воды (после аэротенков I ступени) и смешения с городскими в соотношении 1:1 (L_{en}); БПК_{полн} очищенной воды (L_{ex}); дозу ила a_i , концентрацию растворенного кислорода C_o , а также остальные параметры аэротенка, представленные в таблице 12. Определите удельную скорость окисления ρ , период аэрации t_{atm} , нагрузку на ил q_i и степень рециркуляции активного ила R_i , объем аэротенка W_{atm} .

Таблица 20 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	L_{en} , мг/л	L_{ex} , мг/л	a_i , г/л	C_o , мг/л
1	1250	150	15	2,0	2,0
2	1100	100	10	3,0	4,0
3	1000	140	11	2,0	2,0
4	1040	130	13	3,0	3,0
5	1090	160	17	1,0	6,0
6	1100	155	20	4,0	10,0
7	1190	130	15	2,0	11,0
8	1175	140	18	3,0	2,0
9	1155	140	16	1,5	2,5
10	1160	150	25	2,5	8,0
11	1075	155	30	3,0	7,5
12	980	160	15	3,5	3,0
13	1290	170	10	2,0	8,0
14	1200	140	11	2,5	9,5
15	1260	130	13	2,0	11,0
16	1250	160	20	1,5	4,0
17	1290	155	15	2,0	3,0
18	1175	150	18	1,0	12,0
19	1255	100	13	1,5	7,5
20	1160	140	17	2,0	5,2

№ 2. Для очистки производственных сточных вод первой ступени II системы канализации НПЗ требуется рассчитать аэротенк-смеситель с регенератором. Определите среднюю скорость окисления ρ , общий период окисления t_{atm} , нагрузку на ил q_i и степень рециркуляции активного ила R_i , дозу ила в регенераторе a_r , общий объем аэротенка и регенератора $W_{\text{atm}}+W_r$, а также в отдельности объем аэротенка W_{atm} и объем регенератора W_r .

Известны следующие данные, представленные в таблице 21: расчетный расход (с учетом неравномерности поступления) q_w , L_{en} , L_{ex} , средняя доза активного ила a_i , концентрация растворенного кислорода C_o . Объем, занятый регенератором, составляет 30 %, степень регенерации принимается $R_r = 0,3$. Остальные константы представлены в таблице 12.

Таблица 21 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	L_{en} , мг/л	L_{ex} , мг/л	a_i , г/л	C_o , мг/л
1	625	300	100	3,5	2,0
2	700	400	80	3,0	4,0
3	600	430	60	2,0	2,0
4	550	350	120	3,0	3,0
5	740	400	130	1,0	6,0
6	800	240	76	4,0	10,0
7	600	300	90	2,0	11,0
8	650	240	69	3,0	2,0
9	630	450	60	1,5	2,5
10	740	340	140	2,5	8,0
11	800	360	130	3,0	7,5
12	900	370	60	3,5	3,0
13	750	430	120	2,0	8,0
14	640	240	130	2,5	9,5
15	600	260	76	2,0	11,0
16	650	432	100	1,5	4,0
17	630	350	80	2,0	3,0
18	740	400	60	1,0	12,0
19	600	240	100	1,5	7,5
20	650	300	90	2,0	5,2

№ 3. Рассчитайте аэротенк с флотационным илоотделением для очистки сточных вод химкомбинатов азотной промышленности с БПК_{полн} исходной и очищенной воды L_{en} и L_{ex} , нагрузке на ил $q_i = 600$ мг/(г·сут). Расход сточных вод составляет q_w . Определите величину илового индекса J_i , дозу активного ила a_i , концентрацию сфлотированного ила a_f , при продолжительности уплотнения 3 ч, степень рециркуляции ила R_f , нагрузку по твердой фазе на зеркало флотационного илоотделителя q_{szf} , количество флотируемой твердой фазы G_{ss} , площадь флотационных илоотделителей F_f , гидравлическую нагрузку на флотаторы $q_{m,s}$, высоту отстойной зоны H_{szf} . Исходные данные для расчета показаны в таблице 22.

Таблица 22 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /сут	L_{en} , мг/л	L_{ex} , мг/л
1	40000	500	15
2	35000	400	8
3	40600	430	10
4	35550	550	12
5	37740	400	13
6	41800	540	10
7	40600	300	9
8	40650	540	7
9	36630	450	12
10	37740	440	14
11	35800	460	13
12	43900	370	14
13	41750	430	12
14	40640	540	13
15	42600	560	7
16	36650	432	10
17	37630	350	8
18	39740	400	16
19	42600	540	20
20	41650	300	19

№ 4. Рассчитайте аэротенк-смеситель сточных вод, содержащих биоразлагаемые органические вещества с БПК_{полн} исходной и очищенной воды L_{en} и L_{ex} . Характер органических загрязнений аналогичен городским сточным водам. Исходные данные показаны в таблице 23: расход сточных вод q_w , содержание аммонийного азота в исходной и очищенной воде, соответственно, C_{en} и C_{ex} , температура воды 20 °С, значение рН=8,4, константа полунасыщения $K_n = 25$ мг аммонийного азота/л. Определите удельную скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов μ , учитывая, минимальный возраст нитрифицирующего ила θ , минимально допустимую концентрацию аммонийного азота в поступающей жидкости C_{min} , продолжительность аэрации сточных вод t_{atm} , общую дозу ила a_{in} , удельную скорость окисления органических веществ ρ , концентрацию беззольной части активного ила a_i при концентрации растворенного кислорода в воде $C_o = 4$ мг/л, дозу ила по сухому веществу a с учетом зольности ила 30 %, удельный прирост избыточного ила K_g , суточное количество избыточного ила G , объем нитрификатора W_n .

Таблица 23 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /сут	L_{en} , мг/л	L_{ex} , мг/л	C_{en} , мг/л	C_{ex} , мг/л
1	12000	200	3	150	3
2	15000	200	8	200	5
3	10600	230	5	180	8
4	15550	250	12	170	2
5	17740	200	13	250	9
6	11800	240	10	230	5
7	10600	300	9	300	3
8	10650	240	7	190	7
9	16630	250	12	160	4
10	17740	240	14	180	10
11	15800	260	13	200	3
12	13900	300	14	200	12
13	11750	430	12	180	6
14	10640	240	13	170	4
15	12600	260	7	250	8
16	16650	332	10	230	9
17	17630	350	8	190	8
18	19740	200	16	160	2
19	12600	240	20	180	9
20	11650	300	19	200	5

№ 5. Для очистки сточных вод от соединений азота используют денитрификатор, работающий по типу смесителя. Рассчитайте параметры денитрификатора - предельную дозу денитрифицирующего ила $a_{i,max}^{dn}$, удельную скорость денитрификации ρ^{dn} , продолжительность пребывания в денитрификаторе t_{atm} , объем реактора W_{dn} , используя следующие исходные данные, представленные в таблице 24: расход сточных вод q_w , концентрацию нитратного азота L_{en}^{dn} , концентрацию азота в очищенной воде L_{ex}^{dn} , иловой индекс J_i , равный $100 \text{ см}^3/\text{г}$, зольность ила $s = 0,3$, в качестве углеродного субстрата использован метанол.

Таблица 24 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /сут	L_{en}^{dn} , мг/л	L_{ex}^{dn} , мг/л
1	48000	20	9,1
2	36630	20	8,5
3	37740	23	10
4	35800	25	12
5	43900	20	13
6	41750	24	10
7	40640	30	9,5
8	40650	24	7,3
9	46630	25	12
10	47740	24	14
11	45800	26	13
12	43900	30	5,4
13	41750	43	12
14	30640	24	13
15	22600	26	7,8
16	56650	33	10
17	47630	35	8,4
18	49740	20	5,5
19	32600	24	3,9
20	41650	30	6,5

№ 6. Рассчитайте константу скорости окисления органических соединений K , площадь высоконагружаемого биофильтра F , гидравлическую нагрузку q , объем фильтровальной загрузки при расходе воздуха $V_{уд}$ 8 и 12 м³ на 1 м³ воды для очистки сточных вод по следующим исходным данным, показанным в таблице 25: расход сточных вод q_w , БПК₂₀ исходной и очищенной сточной воды, соответственно, $L_{ен}$ и L_{ex} , среднезимняя температура сточной воды t_w .

Таблица 25 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /сут	$L_{ен}$, мг/л	L_{ex} , мг/л	t_w , °С
1	42000	180	20	8
2	45000	200	18	10
3	20600	180	15	12
4	45550	250	12	14
5	37740	200	13	8
6	41800	150	10	10
7	60600	300	19	12
8	50650	170	17	14
9	26630	250	22	8
10	47740	240	24	10
11	35800	260	23	12
12	43900	300	24	14
13	41750	430	22	8
14	30640	240	13	10
15	52600	260	27	12
16	46650	332	30	14
17	67630	350	18	8
18	49740	200	26	10
19	42600	240	20	12
20	35000	200	15	10

№ 7. Погружной дисковый вращающийся биофильтр используют для очистки сточных вод спиртово-крахмального завода с БПК₂₀ исходной и очищенной сточной воды, соответственно, L_{en} и L_{ex} . Расход сточных вод составляет q_w . Определите эффективность очистки \mathcal{E} , допустимую нагрузку F по БПК₂₀ на 1 м² площади поверхности дисков, общую площадь поверхности дисков F_D , площадь поверхности одного диска с обеих сторон S_D при диаметре диска $D = 2,5$ м, количество дисков n_D , количество секций дисков в каждой ступени n'_D , ширину, длину и рабочую глубину секции погружного биофильтра, соответственно, B , ℓ и H . Исходные данные для расчета показаны в таблице 26.

Таблица 26 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /сут	L_{en} , мг/л	L_{ex} , мг/л
1	450	600	20
2	400	700	18
3	406	680	15
4	455	550	12
5	477	600	13
6	418	450	10
7	506	700	19
8	517	670	17
9	466	550	22
10	740	540	24
11	580	560	23
12	390	600	24
13	417	530	22
14	640	640	13
15	600	560	27
16	466	732	30
17	476	650	18
18	740	600	26
19	600	540	20
20	650	500	10

№ 8. Рассчитайте биофильтр с плоскостной фильтровальной загрузкой, состоящей из чередующихся плоских и гофрированных полиэтиленовых листов с удельной поверхностью $S_{уд} = 120 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и пористостью $P = 93 \%$. Высота загрузки $H = 4 \text{ м}$. Биофильтр используют для очистки сточных вод с БПК₅ поступающей и очищенной сточной воды, соответственно, $L_{ен}$ и L_{ex} . Расход сточных вод составляет q_w . Среднезимняя температура сточной воды $t_w = 13 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определите требуемый эффект очистки \mathcal{E} , величину критериального комплекса при данном L_{ex} , температурную постоянную K_T , допустимую нагрузку по БПК₅, гидравлическую нагрузку q , объем загрузки V , площадь биофильтра F и диаметр секции биофильтра круглой формы D . Исходные данные для расчета показаны в таблице 27.

Таблица 27 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	$q_w, \text{ м}^3/\text{сут}$	$L_{ен}, \text{ мг/л}$	$L_{ex}, \text{ мг/л}$
1	7500	150	15
2	7400	100	10
3	7706	140	20
4	7255	130	50
5	10077	160	25
6	14018	155	10
7	15006	130	35
8	11217	140	30
9	9466	140	25
10	10740	150	20
11	9580	155	40
12	8390	160	45
13	12417	170	30
14	10640	140	35
15	11600	130	30
16	9466	160	25
17	8476	155	20
18	7740	150	15
19	10600	100	10
20	11650	140	40

4 Расчет адсорбционной и ионообменной установок

Расчет адсорбционной установки с плотным слоем загрузки активного угля.

Площадь загрузки адсорбционной установки F_{ads} , м², определяется по формуле

$$F_{ads} = \frac{q_w}{v}, \quad (86)$$

где q_w - среднечасовой расход сточных вод, м³/ч;

v - скорость потока, принимаемая не более 12 м/ч.

Число параллельно работающих адсорберов N_{ads} рассчитывается по формуле (87) и число последовательно работающих адсорберов по формуле (88)

$$N_{ads} = \frac{F_{ads}}{f_{ads}}, \quad (87)$$

$$N_{ads} = \frac{H_{tot}}{H_{ads}}, \quad (88)$$

где f_{ads} - площадь одного адсорбера, м², определяется по формуле $\pi D^2/4$;

H_{ads} - высота сорбционной загрузки одного фильтра, м;

H_{tot} - общая высота сорбционного слоя, м, определяется по формуле

$$H_{tot} = H_1 + H_2 + H_3, \quad (89)$$

где H_1 - высота сорбционного слоя, м, в котором за период t_{ads} адсорбционная емкость сорбента исчерпывается до степени K ;

H_2 - высота загрузки сорбционного слоя, обеспечивающая работу установки до концентрации C_{ex} (т.е. до проскока), в течение заданного времени t_{ads} . Ориентировочно t_{ads} принимается равным 24 ч.

H_3 - резервный слой сорбента, рассчитанный на продолжительность работы установки в течение времени перегрузки или регенерации слоя сорбента высотой H_1 , м.

Величины H_1 , H_2 и H_3 рассчитываются по формулам (90), (91), (92)

$$H_1 = \frac{D_{sb}^{min} \cdot q_w \cdot t_{ads}}{F_{ads} \cdot \gamma_{sb}^{nac}}, \quad (90)$$

$$H_2 = \frac{D_{sb}^{max} \cdot q_w \cdot t_{ads}}{F_{ads} \cdot \gamma_{sb}^{nac}}, \quad (91)$$

$$H_3 = u \cdot t \quad (92)$$

где γ_{sb}^{nac} - насыпной вес активного угля, г/м³;

D_{sb}^{min} , D_{sb}^{max} - минимальная и максимальная дозы активного угля, г/л. Величины рассчитываются по формулам (93), (94)

$$D_{sb}^{min} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{K_{sb} a_{sb}^{max}}, \quad (93)$$

$$D_{sb}^{max} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{a_{sb}^{min}}, \quad (94)$$

где C_{en} , C_{ex} - концентрации сорбируемого вещества до и после очистки, мг/л;

K_{sb} - степень истощения емкости, составляет от 0,6 до 0,8;

a_{sb}^{min} , a_{sb}^{max} - минимальная и максимальная сорбционные емкости активного угля, мг/л;

t - продолжительность периода перегрузки адсорберов, ч;

u - скорость перемещения фронта проскока, м/ч; определяется экспериментально или ориентировочно по формуле $v \cdot \frac{C_{en}}{\varepsilon \cdot a_{sb}^{max}}$; при отсутствии данных ориентировочно принимается u от 0,02 до 0,06 м/ч;

ε - порозность слоя, определяется по формуле $1 - \gamma_{sb}^{nac} / \gamma_{sb}^{каж}$. При отсутствии справочных данных, ε принимается равной 0,5.

$\gamma_{sb}^{каж}$ - кажущаяся плотность угля, г/см³.

Для нахождения величин a_{sb}^{max} и a_{sb}^{min} используют изотерму адсорбции, выражающую связь между концентрацией адсорбата в воде C , г/л, и адсорбционной емкостью a_{sb} , г/г. Изотермы могут быть описаны следующими уравнениями. При начальной концентрации сточной воды до 100 мг/л ХПК используется изотерма Генри

$$a_{sb}^{min} = \Gamma \cdot C_{ex}, \quad a_{sb}^{max} = \Gamma \cdot C_{en}, \quad (95)$$

где Γ - постоянная Генри; находится как тангенс угла наклона линейного участка.

При больших концентрациях используется изотерма Фрейндлиха, описываемая выражением

$$a_{sb}^{min} = f C_{ex}^{1/n}, \quad a_{sb}^{max} = f C_{en}^{1/n}. \quad (96)$$

Адсорбция индивидуального вещества из воды при условии заполнения поверхности монослоем описывается уравнением Лэнгмюра

$$a_{sb}^{\min} = a_{sb}^{\max} b C_{ex} / (1 + b C_{ex}). \quad (97)$$

Для адсорбции малорастворимого вещества с размером молекулы, близким размеру пор адсорбента, используется уравнение Дубинина-Радушкевича

$$\lg a_{sb}^{\max} = \lg \frac{W}{v_A} - 2,3 \frac{BT^2}{\beta^2} \left(\lg \frac{C_s}{C_{ex}} \right)^2, \quad (98)$$

где v_A - мольный объем адсорбируемой фазы, равный мольному объему жидкой фазы при той же температуре T;

W - суммарный объем микропор адсорбента, см³/г;

B – структурная константа, К⁻²;

β - коэффициент афинности.

Поскольку условия исчерпания емкости адсорбента в динамическом режиме отличаются от принятых для ориентировочного расчета статических условий, уточняется продолжительность работы адсорбционной установки до проскока t_{1ads} , ч, по формуле (99)

$$t_{1ads} = [2 \cdot C_{ex} \cdot (H_3 + H_2) \cdot \varepsilon \cdot (a_{sb}^{\max} + C_{en})] / v \cdot C_{en}^2. \quad (99)$$

Продолжительность работы одного адсорбера до исчерпания емкости t_{2ads} , ч, рассчитывается по формуле (100)

$$t_{2ads} = [2 \cdot C_{ex} \cdot K_{sb} \cdot H_1 \cdot \varepsilon \cdot (a_{sb}^{\max} + C_{en})] / v \cdot C_{en}^2. \quad (100)$$

Объем загрузки одного адсорбера W_{sb} , м³, определяется по формуле

$$W_{sb} = f_{ads} \cdot H_{ads}. \quad (101)$$

Расчет сухой массы угля в одном адсорбере P_{sb} , т, устанавливается по формуле

$$P_{sb} = W_{sb} \cdot \gamma_{sb}^{nac}. \quad (102)$$

Затраты угля при перезагрузке адсорберов Z_{sb} , т/ч, через каждые t_{1ads} определяются по формуле

$$Z_{sb} = \frac{P_{sb} \cdot N_{ads}}{t_{2ads}}. \quad (103)$$

Расчет катионитовых и анионитовых фильтров.

Сточные воды, подаваемые на установку должны содержать солей менее 3000 мг/л, взвешенных веществ менее 8 мг/л и ХПК менее 8 мг/л, в случае превышения их содержания необходима предварительная очистка воды.

Методика расчета основных параметров установки применима как для катионитовых, так и для анионитовых фильтров.

Объем ионита в фильтрах W_i , м³, определяется по формуле

$$W_i = \frac{16 \cdot q_w (\sum C_{en} - \sum C_{ex})}{n_{reg} \cdot Q_{wc}}, \quad (104)$$

где q_w - расход обрабатываемой воды, м³/ч, при непрерывной 2-сменной работе;

$\sum C_{en}$, $\sum C_{ex}$ - суммарная концентрация ионов, соответственно, в исходной и очищенной воде, г-экв/м³;

n_{reg} - число регенераций каждого фильтра в сутки; обычно не более двух;

Q_{wc} - рабочая обменная емкость ионита, г-экв/ м³, определяется по формуле

$$Q_{wc} = a \cdot Q_{gen} - K_{ion} \cdot q_i \sum C_w, \quad (105)$$

где a - коэффициент эффективности регенерации; составляет для катионитов от 0,8 до 0,9, для слабоосновных анионитов 0,9;

Q_{gen} - полная обменная емкость ионита, г-экв/м³;

q_i - удельный расход воды на отмывку ионита после регенерации; составляет от 3 до 4 м³ на 1 м³ смолы;

K_{ion} - коэффициент, учитывающий тип ионита; для катионита $K_{ion} = 0,5$ и для анионита $K_{ion} = 0,8$;

$\sum C_w$ - суммарная концентрация ионов в отмывочной воде, г-экв/м³.

Площадь катионитовых фильтров F_k , м², определяется по формулам

$$F_k = \frac{W_i}{H_k}, \quad (106)$$

$$F_k = \frac{q_w}{v_f}, \quad (107)$$

где H_k - высота слоя катионита в фильтре, принимаемая по каталогу ионообменных фильтров от 2 до 3 м;

v_f - скорость фильтрования, м/ч, составляет от 8 до 20 м/ч в зависимости от общего солесодержания воды.

Диаметр фильтра устанавливается из соотношения $\sqrt{F \cdot 4 / \pi}$.

Длительность рабочего цикла катионитового фильтра t_f , ч, рассчитывается по формуле

$$t_f = \frac{W_i \cdot Q_{wc} - q_i \cdot W_i \cdot \sum C_w \cdot 0,5}{q_w (\sum C_{en} - \sum C_{ex})}. \quad (108)$$

Площадь фильтрации F_{an} , м², анионитовых фильтров первой ступени рассчитывается по формуле (109)

$$F_{an} = \frac{16q_w}{n_{reg} t_f v_f}, \quad (109)$$

где t_f - продолжительность работы каждого анионитового фильтра, ч, между регенерациями, определяемая по формуле (110)

$$t_f = \frac{16}{n_{reg} - (t_1 + t_2 + t_3)}, \quad (110)$$

где t_1 - продолжительность взрыхления ионита; составляет 0,25 ч;

t_2 - продолжительность пропускания регенерирующего раствора;

t_3 - продолжительность отмывки анионита после регенерации;

v_f - скорость фильтрования воды, м/ч, составляет от 8 до 20 м/ч.

Регенерация анионитовых фильтров первой ступени производится 4-6%-ными растворами NaOH, Na₂CO₃, аммиака или отработанными растворами щелочи от регенерации анионитовых фильтров второй ступени. Для регенерации фильтров второй ступени используется 6-8%-ный раствор NaOH. При этом регенерация проводится с фракционным отбором элюатов. Наиболее концентрированные по извлекаемым компонентам фракции элюата направляются на обезвреживание, переработку, утилизацию, а наименее концентрированные - на повторное использование в последующих циклах регенерации.

Удельный расход реагента на регенерацию фильтров первой и второй ступени составляет, соответственно, 2,5-3 мг-экв и 7-8 мг-экв (в расчете на 1 мг-экв рабочей обменной емкости анионита). Загрузка анионитовых фильтров

второй ступени производится сильноосновным анионитом с высотой загрузки от 1,5 до 2 м.

Регенерация катионита осуществляется 7-10 %-ными растворами серной кислоты или соляной кислоты. Отмывка катионитов в фильтрах производится обессоленной водой, при этом в процессе отмывки иониты перемешиваются сжатым воздухом. Продолжительность взрыхления t_1 составляет от 0,08 ч до 0,25 ч.

Расход реагента (раствора кислоты или щелочи) на регенерацию одного ионитового фильтра в одном цикле P , кг, определяется по формуле (111)

$$P = \frac{W_i \cdot Q_{wc} \cdot q_r \cdot M \cdot 100}{m \cdot 10^3}, \quad (111)$$

где q_r - удельный расход реагента на регенерацию ионита; составляет 3 мг-экв на 1 мг-экв рабочей обменной емкости катионита и 2,5 мг-экв на 1 мг-экв рабочей обменной емкости анионита.

M – эквивалентная масса реагента.

Скорость пропускания регенерирующего раствора составляет от 1,5 до 2 м/ч; скорость пропускания промывочной воды через фильтр равна от 5 до 6 м/ч.

Объем воды на промывку ионита после регенерации V_{np} , м³, составляет

$$V_{np} = q_{np} \cdot W_i, \quad (112)$$

где q_{np} – удельный расход промывочной воды из расчета от 2,5 до 4 объемов на 1 объем катионита, и 5 объемов на 1 объем анионита.

Объем воды на приготовление раствора кислоты V_1 , л, с концентрацией A , %, рассчитывается из соотношения $P_k \cdot m / A \cdot 1000$.

Расход воды на взрыхление смолы перед регенерацией $V_{взр}$, м³, определяется по формуле

$$V_{взр} = F \cdot k \cdot 60 \cdot t_1 \cdot 10^{-3}, \quad (113)$$

где k – интенсивность взрыхления ионита перед регенерацией; для катионита равна 3 л/(с·м²) и для анионита составляет от 3 до 4 л/(с·м²).

Общий расход воды на регенерацию фильтра в цикле V_0 , м³/ч, рассчитывается по формуле

$$V_0 = (V_{np} + V_1 + V_{взр}) / t_f. \quad (114)$$

4.1 Задания к расчету

№ 1. Рассчитайте установку, включающую линии несколько одновременно и параллельно работающих адсорберов с плотным неподвижным слоем гранулированного активного угля для очистки сточных вод, используя следующие исходные данные, показанные в таблице 28: расход сточных вод q_w , содержание ХПК в исходной и очищенной воде (C_{en} и C_{ex}), скорость потока v , ориентировочная продолжительность работы установки до проскока $t_{ads} = 24$ ч, кажущаяся и насыпная плотность угля, $\gamma_{sb}^{каж} = 0,9$ г/см³ и $\gamma_{sb}^{нас} = 0,45$ г/см³, степень исчерпания емкости сорбента $K_{sb} = 0,7$, диаметр адсорбера D . Определите максимальную сорбционную емкость a_{sb}^{max} в соответствии с изотермой адсорбции, описываемой уравнением Фрейндлиха и имеющей вид $a_{sb} = 253 \cdot C^{1/2}$. Рассчитайте площадь загрузки адсорбционной установки F_{ads} , количество линий адсорберов N_{ads} , минимальную и максимальную дозы активного угля $D_{sb}^{min}, D_{sb}^{max}$, общую высоту загрузки адсорбента H_{tot} с учетом установки одного резервного адсорбера, продолжительность работы одного адсорбера до проскока t_{1ads} и до исчерпания емкости t_{2ads} , объем загрузки одного адсорбера W_{sb} , сухую массу угля в одном адсорбере P_{sb} , затраты угля при перезагрузке адсорберов Z_{sb} .

Таблица 28 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	C_{en} , мг/л	C_{ex} , мг/л	v , м/ч	D
1	417	625	50	10,0	3,5
2	400	600	48	12,0	3,0
3	406	680	35	10,2	2,8
4	455	550	32	13,1	3,0
5	477	600	53	9,9	3,5
6	418	450	60	12,0	2,0
7	506	700	59	10,2	3,0
8	517	670	47	11,2	3,0
9	466	550	62	10,5	3,5
10	740	540	24	12,5	2,5
11	580	560	53	13,0	3,5
12	390	600	44	11,5	3,0
13	417	530	32	10,3	2,8
14	640	640	23	13,0	3,0
15	600	560	27	12,5	3,5
16	466	732	30	13,5	3,0
17	476	650	78	10,5	2,8
18	740	600	26	11,0	3,0
19	600	540	80	11,7	4,0
20	650	500	50	10,3	3,5

№ 2. Рассчитайте ионообменную установку, принимая во внимание следующие исходные данные, представленные в таблице 29: расход сточных вод q_w , солесодержание по катионам в исходной и очищенной воде (C_{en}^k и C_{ex}^k), суммарная концентрация ионов в отмывочной воде $\sum C_w$, число регенерации фильтра принимается 1 раз в 2 суток ($n_{reg} = 0,5$), полная обменная емкость ионита КУ-2-8 в динамических условиях $Q_{gen} = 1050$ г-экв/м³. Рассчитайте объем катионита в фильтрах W_i , площадь катионитовых фильтров F_k при высоте слоя катионита в фильтре $H_k = 3$ м, диаметр фильтра D , скорость фильтрования воды v_f , длительность рабочего цикла фильтра t_f , расход 10%-го раствора HCl на регенерацию одного фильтра P , общий расход воды на регенерацию катионитового фильтра в цикле.

Таблица 29 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	C_{en}^k , мг-экв/л	C_{ex}^k , мг-экв/л	$\sum C_w$, г-экв/м ³
1	60	10,0	1,5	1,5
2	55	8,0	1,0	0,9
3	66	7,5	2,0	1,5
4	55	7,7	1,9	1,3
5	77	8,5	1,9	1,6
6	47	9,0	1,6	1,3
7	56	11,0	1,9	1,3
8	50	8,5	1,9	1,8
9	66	9,0	1,5	1,4
10	40	8,4	2,0	1,0
11	58	7,4	1,5	1,0
12	60	9,0	2,0	0,9
13	57	10,5	1,9	1,5
14	60	7,5	1,6	1,3
15	45	6,4	1,4	1,3
16	56	8,3	1,9	0,9
17	46	7,7	1,6	1,5
18	54	9,2	1,0	0,7
19	60	8,1	2,0	1,6
20	65	9,0	1,9	1,3

№ 3. Для очистки воды от анионов сильных кислот $C_{en}^{an} = 10$ г-экв/л используется ионообменная установка с загрузкой анионитовыми фильтрами. Определите объем анионита в фильтрах W_i , площадь фильтров F_{an} , диаметр фильтра D , скорость фильтрации воды v_f , расход 4 %-го раствора NaOH на регенерацию одного фильтра P , общий расход воды на регенерацию анионитового фильтра в цикле.

Известны следующие данные, показанные в таблице 30: расход сточных вод q_w , суммарная концентрация анионов в отмывочной воде $\sum C_w$, полная обменная емкость слабоосновного анионита АН-31 в динамических условиях $Q_{gen} = 1150$ г-экв/м³, число регенерации фильтра составляет 1 раз в 3 суток ($n_{reg} = 0,33$), высота загрузки $H = 2,5$ м, содержание анионов в очищенной воде C_{ex}^{an} .

Таблица 30 - Исходные данные для проектирования

№ варианта	q_w , м ³ /ч	C_{en}^{an} , мг-экв/л	C_{ex}^{an} , мг-экв/л	$\sum C_w$, г-экв/м ³
1	60	9,5	1,8	1,0
2	55	9,0	2,0	1,0
3	66	10,5	1,0	0,5
4	55	7,5	2,0	0,9
5	77	6,4	1,9	1,5
6	47	8,3	1,6	1,3
7	56	7,7	1,3	1,2
8	50	9,2	1,9	0,9
9	66	8,0	1,5	1,3
10	40	7,5	1,0	0,7
11	58	7,7	2,0	0,9
12	60	8,5	1,9	1,5
13	57	9,0	1,6	1,3
14	60	11,0	1,9	1,3
15	45	8,5	1,9	1,6
16	56	9,0	1,8	1,3
17	46	8,4	1,9	1,4
18	54	9,2	1,5	1,0
19	60	8,1	2,0	1,0
20	65	9,0	1,9	1,3

Список использованных источников

- 1 Методы и технические средства защиты гидросферы: учебное пособие / И.В. Ефремов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 259 с.
- 2 **Ласков, Ю.М.** Примеры расчетов канализационных сооружений: учебное пособие для вузов / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. - М: Стройиздат, 1987. - 255с.
- 3 Охрана окружающей среды: учебник для технических специальностей вузов / С.В. Белов [и др.]; под ред. С.В. Белова. - М.: Высш. шк., 1991. - 319 с.
- 4 **Павлихин, Г.П.** Расчет технологического оборудования для очистки воды: учебное пособие / Г.П. Павлихин, В.С. Спиридонов; под ред. Б.С. Ксенофонтова. - М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 24 с.
- 5 Проектирование сооружений для очистки сточных вод: справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. - М.:Стройиздат, 1990. - 111 с.
- 6 СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М.: ГУП ЦПП, 1996. - 164 с.