

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

С.В. Антимонов, С.Ю. Соловых, Е.В. Ганин

ЗАДАЧИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Оренбург
2018

УДК 66-963
ББК 36.81я7+35.11я7
А 62

Рецензент – доктор технических наук, доцент П.В. Медведев

Антимонов, С.В.

А 62 Задачи по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»: методические указания/ С.В. Антимонов, С.Ю. Соловых, Е.В. Ганин; Оренбургский гос. ун-т.– Оренбург: ОГУ, 2018. – 37 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» по направлениям подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование и 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии очной и заочной форм обучения.

УДК 66-963
ББК 36.81я7+35.11я7

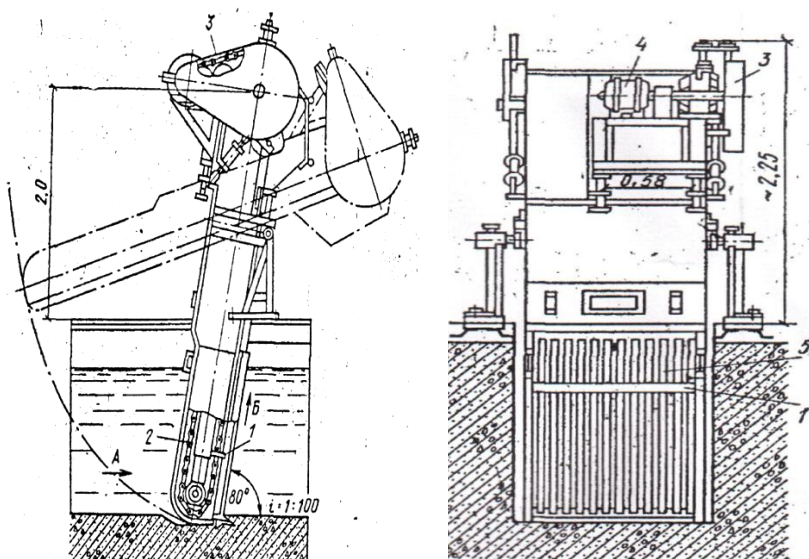
© Антимонов С.В.,
Соловых С.Ю.,
Ганин Е.В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

1 Расчет решеток	4
2 Расчет песколовки	7
3 Расчет грязежировловушки.....	11
4 Расчет осветлителя	15
4.1 Расчёт осадкоуплотнителя	17
5 Расчёт основных параметров сорбционного фильтра	20
6 Расчет ионообменной установки непрерывного действия с псевдооживленным слоем ионита для удаления ионов натрия из раствора, содержащего хлорид натрия.....	24
7 Расчёт аэротенка-вытеснителя для городской станции аэрации.....	28
8 Уравнение материального баланса в фильтре, нахождение объема осадка и объема очищенной воды (фильтрата)	33
Список использованных источников	36
Приложение А Решетка-дробилка.....	37

1 Расчет решеток

Расчет решеток производится на максимальный приток сточных вод ($\text{м}^3/\text{с}$ или $\text{м}^3/\text{ч}$) или на пропускную способность очистной станции ($\text{м}^3/\text{сутки}$). Исходными данными для расчета решеток являются максимальный расход сточных вод (Q_{max}) и скорость движения жидкости в зазорах решеток, которую принимают равной $u = 0,8 \dots 1 \text{ м/с}$.



1 – граблина; 2 – тяговая цепь; 3 – электропривод; 4 – электродвигатель; 5 – решетка.

Рисунок 1 – Механизированная наклонная решетка (стрелка А показывает направление движения жидкости; стрелка Б – направление движения цепи с граблиной)

Исходя из этих же данных, определяют суммарную площадь живого сечения решеток F_C и, задаваясь числом решеток n , площадь одной решетки:

$$F_C = \frac{Q_{\text{max}}}{u}; \quad (1.1)$$

Площадь одной решетки

$$F = \frac{F_C}{n} \quad (1.2)$$

Потери напора в решетках составляют:

$$h_p = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{u^2}{2g} P \sin \alpha, \quad (1.3)$$

где β – коэффициент, равный 2,42 для прямоугольных, и 1,72 для круглых стержней;

s – толщина стержней решетки, мм;

b – ширина зазоров решетки, мм;

α – угол наклона решетки к горизонту;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

P – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки; принимают $P = 3$.

Задача. Рассчитать одиночную решетку с механической очисткой, устанавливаемую в водоем с глубиной $H_1 = 1,2$ м. Расход сточных вод $Q = 2,5 \cdot 10^3$ м³/ч.

Выбираем ширину прозоров между прутьями $b > b_{\min} = 16$ мм при установке одной решетки. Пусть $b = 20$ мм.

Скорость потока воды v принимаем равной 0,8 м/с, т.е. меньше $v_{\max} = 1$ м/с.

Определяем число прозоров между прутьями решетки по формуле:

$$n = \frac{Q}{bH_1v} \quad (1.4)$$

$$n = \frac{2,5 \cdot 10^3}{3600 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 36$$

Вводим коэффициент засорения решетки $k_3 = 1,05$ [1]. Тогда $n' = 1,05 \cdot 36 = 38$.

Толщину стержней принимаем $s = b = 20$ мм.

Общая ширина решетки определяется по формуле, м:

$$B = s(n-1) + bn \quad (1.5)$$

$$B = 20 \cdot 10^{-3} (8-1) + 20 \cdot 10^{-3} \cdot 38 = 1,5$$

Полезная длина стержней решетки составит, м:

$$l = \frac{H_1}{\sin \alpha} \quad (1.6)$$

$$l = \frac{1,2}{\sin 60} = 1,39 \approx 1,4$$

Над решеткой необходимо предусмотреть лоток для сбора загрязнений, счищаемых механическими граблями. Поэтому стержни решетки должны выступать над поверхностью воды на величину Δl . Примем $\Delta l = 0,5$ м. Тогда длина стержней будет равна

$$L = l + \Delta l = 1,4 + 0,5 = 1,9 \text{ м} \quad (1.7)$$

Для задержания и измельчения загрязнений непосредственно в потоке сточной воды без извлечения их на поверхность применяют решетки-дробилки (типа РД). Схема решетки-дробилки показана на рисунке А.1.

Таблица 1.1 – Варианты задания

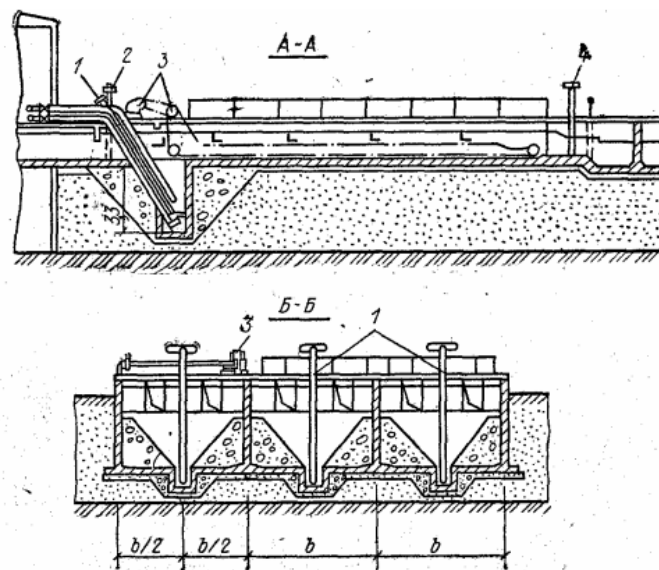
№ варианта	Глубина водоема H_1 , м	Расход сточных вод Q , $10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$	Толщина стержня, l мм	Скорость потока воды v , м/с	Выступающая часть длины стержней, Δl , м
1-5	1	1,5-1,9	16	0,6	0,5
6-10	1,2	2-2,4	17	0,7	0,5
11-15	1,4	2,5-2,9	18	0,8	0,5
16-20	1,6	3-3,4	19	0,9	0,5
21-25	1,8	3,5-3,9	20	1	0,5

В таблице 1.1 приведены варианты индивидуальных заданий. Расчет произвести для круглых и прямоугольных стержней, приняв $\alpha = 60^\circ$. Рассчитать потери напора в решетке; число прозоров решетки; общую длину решетки; полезную длину стержней.

Расход сточных вод для вариантов брать с шагом $0,1 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2 Расчет песколовки

Задача. Рассчитать песколовку по следующим данным: расход сточных вод $Q=1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$; начальное содержание взвешенных веществ $ВВ_n=50 \text{ мг/л}$, эмульгированных веществ $ЭВ_n = 100 \text{ мг/л}$; требуемое конечное содержание $ВВ_k = 10 \text{ мг/л}$, $ЭВ_k = 10 \text{ мг/л}$.



1 – гидроэлеваторы; 2 – щитовые; 3 – скребковые механизмы для удаления песка.

Рисунок 2.1 – Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением воды

Площадь сечения песколовки:

$$F = \frac{Q}{3600 \nu n}, \quad (2.1)$$

где v – средняя скорость движения воды, м/с;

n – количество параллельно установленных секций песколовки.

Для горизонтальных песколовок рекомендуемая скорость движения воды $v = 0,1 \dots 0,3$ м/с, площадь живого сечения песколовки составляет, м²:

$$F = \frac{1,2}{600 \cdot 0,1 \cdot 1} = 0,003 \text{ м}^2$$

Ширина проточной части песколовки выбирается конструктивно $B=0,18$ м.

Глубина проточной части песколовки:

$$h_1 = \frac{F}{B} \quad (2.2)$$

$$h_1 = \frac{0,003}{0,18} = 0,016 \text{ м}$$

Длина песколовки определяется по формуле:

$$L = k h_1 \cdot \frac{v}{u_0}, \quad (2.3)$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других фактор на работу песколовок, для горизонтальных песколовок $k = 1,7$;

u_0 – гидравлическая крупность песка, при диаметре улавливаемых частиц песка 0,2 мм принимается $u_0 = 18$ мм/с.

$$L = 1,7 \cdot 0,016 \cdot \frac{0,1}{0,018} = 0,15$$

Продолжительность протекания сточных вод при максимальном притоке должна быть не менее 30 с, поэтому принимаем длину песколовки $L=3$ м.

$$t_{np} = \frac{L}{v} \quad (2.4)$$

$$t_{np} = \frac{3}{0,1} = 30 \text{ с}$$

Из конструктивных соображений и удобства эксплуатации (выгрузки осадка) песколовка выполнена в виде трех блоков, соединяющихся желобами для течения сточной воды.

Определение объема контейнера песколовки.

Объем осадка, накапливаемого в песколовке

$$V_{oc} = \frac{Q \Delta C_{\text{вв}}}{\rho_{oc} (1 - \varphi)}, \quad (2.5)$$

где ρ_{oc} – плотность выпавшего осадка, кг/м^3 ;

φ – влажность выпавшего осадка ($\varphi=0,6$);

$\Delta C_{\text{вв}}$ – разность концентраций взвешенных веществ на входе и выходе из песколовки, кг/м^3 .

Плотность выпавшего осадка

$$\rho_{oc} = \rho_{\text{вв}} (1 - \varphi) + \rho_{\text{воды}} \varphi, \quad (2.6)$$

где $\rho_{\text{вв}}$ – плотность осаждающихся взвешенных веществ, кг/м^3 .

Так как в песколовке осаждается преимущественно песок, то $\rho_{\text{вв}} = 2650$ кг/м^3 . С учетом этого

$$\rho_{oc} = 2650 \cdot (-0,6) \cdot 1000 \cdot 0,6 = 1660 \text{ кг/м}^3$$

Тогда объем осадка

$$V = \frac{1,2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1660 \cdot (-0,6)} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{ч}$$

Так как очистная установка работает в одну смену 7 часов в сутки, 5 дней в неделю, то объем образовавшегося за месяц осадка составит

$$V_{oc} = 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot 7 \cdot 22 = 0,011 \text{ м}^3/\text{мес.}$$

Объем осадка, выпавшего в одной секции песколовки, составляет:

$$V_1 = \frac{V_{oc}}{3} = 0,0037 \text{ м}^3/\text{мес.}$$

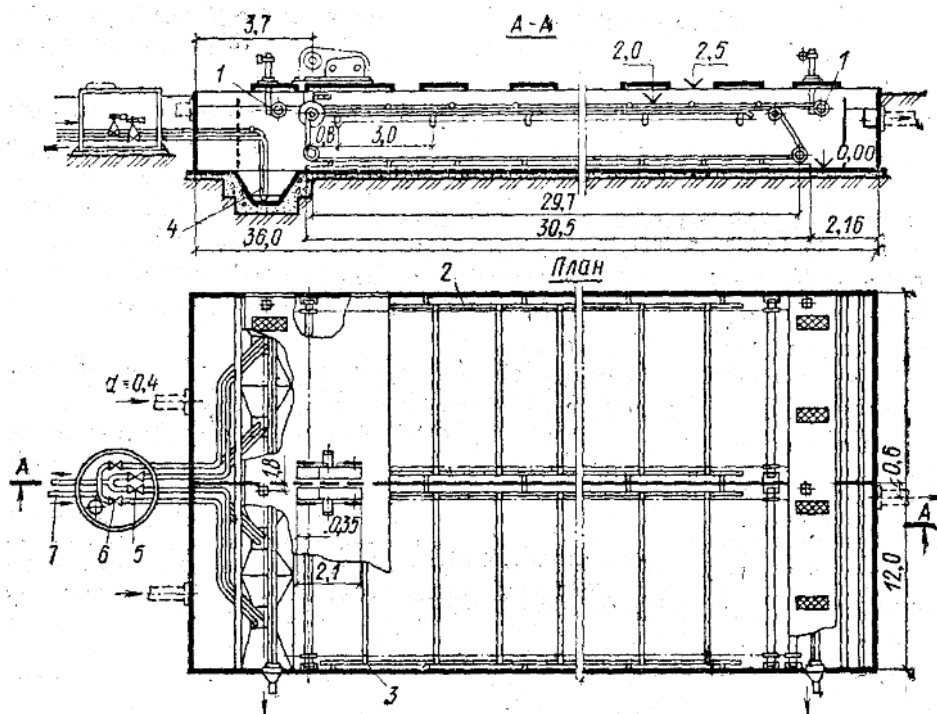
Длина контейнера принимается равной длине секции песколовки, длина и ширина выбраны из конструктивных соображений (по 1 м.). Выгрузку осадка рекомендуется осуществлять по мере накопления его в песколовке до высоты 0,75...0,80 м.

Расход сточных вод для вариантов брать с шагом 0,1 м³/ч.

Таблица 2.1 – Варианты задания

№ варианта	Расход сточных вод Q , м ³ /ч	Начальное содержание взвешенных веществ $ВВ_{н}$, мг/л	Конечное содержание взвешенных веществ $ВВ_{к}$, мг/л	Начальное содержание эмульгированных веществ $ЭВ_{н}$, мг/л	Конечное содержание эмульгированных веществ $ЭВ_{к}$, мг/л
1-5	1,5-1,9	50	10	100	10
6-10	2-2,4	150	15	150	15
11-15	2,5-2,9	250	20	200	20
16-20	3-3,4	300	25	250	25
21-25	3,5-3,9	350	30	300	30

3 Расчет грязежироловушки



1 – нефтезаборная труба; 2, 3 – скребковой транспортер, соответственно левый и правый; 4 – гидроэлеватор; 5, 6 – задвижки с электроприводом; 7 – подача воды к гидроэлеватору.

Рисунок 3.1 – Типовая нефтеловушка

Задача. Рассчитать грязежироловушку по следующим данным: расход сточных вод $Q = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$; начальное содержание взвешенных веществ $ВВ_n = 50 \text{ мг/л}$, эмульгированных веществ $ЭВ_n = 10 \text{ мг/л}$; требуемое конечное содержание $ВВ_k = 10 \text{ мг/л}$, $ЭВ_k = 10 \text{ мг/л}$.

1. Ширина грязежироловушки:

$$B = \frac{Q}{Hv}, \quad (3.1)$$

где v – средняя скорость движения сточных вод, в зависимости от требуемой эффективности улавливания (рекомендуется принимать $v = 5 \dots 10 \text{ мм/с}$);

H – глубина проточной части.

При $v = 1 \text{ мм/с} = 3,6 \text{ м/ч}$ и $H = 1 \text{ м}$, ширина грязежироловушки

$$B = \frac{1,2}{1 \cdot 3,6} = 0,33 \text{ м}$$

Принимаем $B = 0,5 \text{ м}$ с учетом возможного увеличения расхода.

2. Длина рабочей части грязежироловушки:

$$L_o = a \frac{v}{w_o} H, \quad (3.2)$$

где w_o – гидравлическая крупность всплывающих частиц (капель нефти), принимаем $w_o = 0,645 \text{ мм/с}$;

a – коэффициент, учитывающий соотношение v и w_o (при близких значения v и w_o коэффициент $a = 1$).

При $v = 1 \text{ мм/с}$, $a = 1$

$$L_o = 1 \cdot \frac{1}{0,645} \cdot 1 = 1,55 \text{ м}$$

Эффективность улавливания загрязнений (жиров и взвешенных частиц) в грязежироловушках не превышает 50...60%.

3. Для повышения эффективности улавливания тонкодисперсных частиц и капель жиров устанавливает блок тонкодисперсного осветления с углом наклона полок 60° . Достижимый эффект улавливания в зависимости от скорости движения сточных вод может составлять до 95 %.

Принимаем степень очистки 75% .

Площадь сечения блока тонкослойного осветления:

$$F = \frac{Q}{v_t}, \quad (3.3)$$

где v_t – скорость движения сточных вод.

Для достижения эффективности улавливания загрязнений, равной 75 %, скорость движения сточных вод принимаем $v_t = 1,8$ мм/с (6,52 м/ч). Тогда площадь сечения

$$F = \frac{1,2}{6,52} = 0,184 \text{ м}^2$$

Выбираем расстояние между полками: $h = 17$ мм = 0,017 м. Количество полок при ширине грязеловушки $B=0,5$

$$n = \frac{F}{Bh} + 1 \quad (3.4)$$

$$n = \frac{0,184}{0,5 \cdot 0,017} + 1 = 22,65 \text{ шт.}$$

Принимаем $n = 23$ шт.

4. Общая длина грязеловушки, м

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4, \quad (3.5)$$

где l_1 и l_4 – длины приемной и выходной частей соответственно;

l_2 – длина блока тонкослойного осветления;

l_3 – длина зоны свободного всплывания тонкодисперсных капель нефти и осадения взвешенных частиц.

При расходах до 5 м³/ч: $l_1 = 0,2$ м и $l_4 = 0,25$ м.

Для достижения эффективности, равной 75 %, длина элементов (полок) блока тонкослойного осветления должна быть не менее 0,9 м. Тогда длина

блока l_2 при угле наклона полок к горизонту 60° и их количестве, равном 23 шт. (толщина материала полок при использовании полок из пластика $\sim 3...4$ мм) составляет 0,9 м.

С учетом размеров узлов сбора и отведения осадка сточных вод и жиров габариты грязежировловушки можно принять следующими:

- ширина – 0,6 м (ширина проточной части 0,5 м + ширина пенного желоба 0,1 м);

- длина $L = 0,2 + 0,9 + 0,5 + 0,25 = 1,85$ м;

- высота – 1,5 м (рабочая глубина 1 м + отстойная зона 0,35 м + зона накопления нефтепродуктов 0,15 м).

5. Определение объема бункера грязеловушки.

Объем взвешенных веществ, выпадающих в грязеловушке:

$$V_{oc} = \frac{Q \Delta C_{\text{вв}}}{\rho_{oc} (\varphi)}, \quad (3.6)$$

где ρ_{oc} – плотность выпавшего осадка, кг/м^3 ;

φ – влажность выпавшего осадка ($\varphi = 0,95$);

$\Delta C_{\text{вв}} = BB_H - BB_K = 50 - 10 = 40$ мг/л – разность концентраций взвешенных веществ на входе и выходе из грязеловушки, брать в кг/м^3 .

Плотность выпавшего осадка рассчитываем по формуле (2.6).

Так как в грязеловушке преимущественно осаждаются тонкодисперсные частицы песка, то $\rho_{\text{вв}} = 2650$ кг/м^3 .

$$\rho_{oc} = 2650 (\varphi) \cdot 1000 \cdot 0,95 = 1083 \text{ кг/м}^3$$

Тогда объем осадка

$$V = \frac{1,2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1083 \cdot (-0,95)} = 0,00088 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Объем образовавшегося за месяц осадка составит

$$V_{oc} = 0,0088 \cdot 7 \cdot 22 = 0,136 \text{ м}^3/\text{мес}$$

Объем сборника осадка выбираем $1,0 \text{ м}^3$.

Таблица 3.1 – Вариант задания

№ варианта	Расход сточных вод Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Начальное содержание взвешенных веществ $ВВ_n$, мг/л	Конечное содержание взвешенных веществ $ВВ_k$, мг/л	Начальное содержание эмульгированных веществ $ЭВ_n$, мг/л	Конечное содержание эмульгированных веществ $ЭВ_k$, мг/л
1-5	1,5-1,9	50	10	100	10
6-10	2-2,4	150	15	150	15
11-15	2,5-2,9	250	20	200	20
16-20	3-3,4	300	25	250	25
21-25	3,5-3,9	350	30	300	30

Расход сточных вод для вариантов брать с шагом $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4 Расчет осветлителя

В осветлителях происходят три основных процесса: смешение, коагуляция и осветление сточных вод. Обрабатываемая в осветлителях сточная вода проходит снизу вверх через слой ранее выделившегося шлама с такой скоростью, при которой взвешенные частицы не уносятся из зоны взвешенного осадка. При движении сточной воды через взвешенный слой увеличивается эффект задержания мелких суспензированных частиц. Осветлители проектируются круглыми (диаметром до 15 м) или прямоугольными в плане, площадь осветлителя не должна превышать 150 м^2 .

Для обеспечения нормальной работы осветлителя сточную воду после смешения с коагулянтами направляют в воздухоотделитель, где она освобождается от пузырьков воздуха, выделяющихся в результате реакций.

Величина восходящей скорости потока в зоне осветления зависит от концентрации взвешенных веществ. Так, при обработке сточных вод сульфатом алюминия при содержании взвешенных веществ до 400 мг/л расчетная скорость восходящего потока $v_{расчет} = 0,8...1$ мм/с, при содержании взвешенных веществ от 400 до 1000 мг/л расчетная скорость составит $v_{расчет} = 1...1,11$ мм/с, при содержании взвешенных веществ от 1000 до 2500 мг/л скорость составит $v_{расчет} = 1,1...1,2$ мм/с.

Исходя из концентрации взвешенных веществ в обрабатываемой сточной воде C_n , при известных расчетной скорости восходящего потока воды в зоне осветления $v_{расчет}$, эталонной концентрации взвешенных веществ во взвешенном слое $C_э$ (при скорости движения воды 1 мм/с и температуре 20 °С) и концентрации взвешенных веществ в осадке после его уплотнения $C_{шл}$, можно определить расход воды и размеры осветлителя.

Расчетный расход сточной воды $Q_{расчет}$, м³/ч, проходящей через осветлитель, определяется по формуле

$$Q_{расчет} = Q_{осв} \left[1 + \frac{C_n - C_k}{C_{шл}} \right], \quad (4.1)$$

где $Q_{осв}$ – расход сточных вод, выходящих из осветлителя, м³/ч;

C_k – конечная концентрация взвешенных веществ в сточной воде, г/м³.

Площадь осветлителя $F_{осв}$, м², с вертикальным осадкоуплотнителем находим по выражению

$$F_{осв} = F_{зо} + F_{оу} = Q_{осв} \frac{\left[1 + \frac{C_n - C_k}{C_{ил}} \right] k_p + \varphi(1 - k_p)}{v_{расчет}} \quad (4.2)$$

где $F_{зо}$ и $F_{оу}$ – площадь зоны соответственно осветления и осадкоуплотнителя, м²;

k_p – коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем, равный:

$$k_p = 1 - \frac{v_{расчет}(C_n - C_k)}{C_э}, \quad (4.3)$$

φ – коэффициент подсоса осветленной воды в осадкоуплотнитель, равный 1,15...1,2.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка $V_{зу}$ (часть объема осадкоуплотнителя, которая расположена на 0,5...0,7 м ниже нижней кромки осадкоотводящих окон или труб) должен удовлетворять условию

$$V_{зу} \geq Q_{расчет} \frac{t(C_n - C_k)}{C_{ил}}, \quad (4.4)$$

где t – продолжительность уплотнения шлама, равная 3...6 ч.

4.1 Расчёт осадкоуплотнителя

Задача. Рассчитать осадкоуплотнители для станции производительностью $Q = 50000$ м³/сут при следующих данных:

- количество осадка из первичных отстойников:

по объему $Q_{ос} = 86$ м³/сут с влажностью $w_{ос} = 94$ %;

- количество избыточного активного ила:

по объему $Q_{ил} = 2239$ м³/сут с влажностью $w_{ил} = 99,6$ %;

количество избыточного ила взять с коэффициентом $K = 1,3$.

Количество избыточного ила:

$$Q_{ил.макс} = 1,3 \cdot 2239 = 2911 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Суммарное количество осадка, поступающего в уплотнитель

$$Q = Q_{ос} + Q_{ил.макс} \quad (4.5).$$

$$Q = 86 + 2911 = 2997 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Средняя влажность поступающего в уплотнитель осадка, %

$$\omega_{ср} = \frac{Q_{ос}\omega_{ос} + Q_{ил.макс}\omega_{ил}}{Q_{ос} + Q_{ил.макс}} \quad (4.6)$$

$$\omega_{ср} = \frac{86 \cdot 94 + 2911 \cdot 99,6}{86 + 2911} = 99,4$$

Количество уплотненного осадка с влажностью $\omega_{упл} = 95 \%$

$$Q_{упл} = \frac{Q(100 - \omega)}{100 - \omega_{упл}} \quad (4.7)$$

$$Q_{упл} = \frac{Q(100 - 99,4)}{100 - 95} = 2997 \cdot 0,12 = 360,6 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Количество отделяемой иловой воды соответственно будет равно

$$Q_{и.в} = (1 - 0,12) \cdot Q \quad (4.8)$$

$$Q_{и.в} = 0,88 \cdot 2997 = 2632 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,0305 \text{ м}^3/\text{с}$$

Необходимая площадь осадкоуплотнителя (рассчитывается на расход иловой воды при скорости $v = 0,0001 \text{ м/с}$), м^2 :

$$F = \frac{q_{в}}{v} \quad (4.9)$$

$$F = \frac{0,0305}{0,0001} = 305$$

Принимаем 4-х секционный осадкоуплотнитель площадью $F = 324 \text{ м}^2$.

Среднее количество уплотненного осадка с влажностью 95%, направляемое на дальнейшую обработку, $\text{м}^3/\text{сут}$.

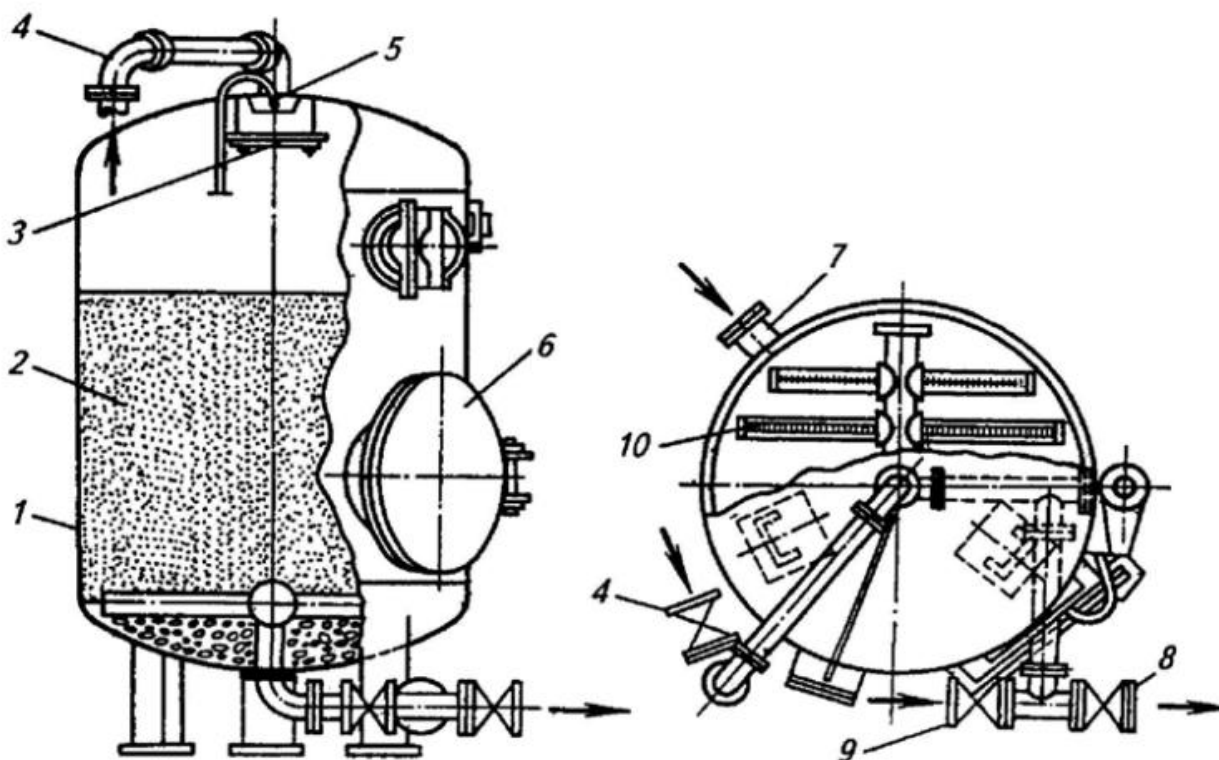
$$Q_{\text{упл}} = \frac{Q_{\text{ос}} + Q_{\text{ил}} (100 - w_{\text{ср}})}{100 - w_{\text{упл}}} = \frac{66 + 2239 (100 - 99.4)}{100 - 95} = 279$$

Таблица 4.1 – Варианты задания

№ варианта	Производительность фильтра Q , $\text{м}^3/\text{сут}$	Количество осадка из первичных отстойников по объему $Q_{\text{ос}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	Количество избыточного активного ила, по объему $Q_{\text{ил}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$
1-5	50000	60-100	2240-2290
6-10	55000	110-150	3000-3040
11-15	60000	150-190	3050-3090
16-20	70000	200-240	3100-3140
21-25	75000	250-290	3150-3190

Примечание: Шаг осадка для вариантов – $10 \text{ м}^3/\text{сут}$. Неуказанные значения характеристик отстойника и сточных вод брать из примера.

5 Расчёт основных параметров сорбционного фильтра



1 – корпус; 2 – неподвижный слой активного угля; 3 – отбойник; 4 – трубопровод подачи очищаемой сточной воды; 5 – труба сброса воздуха; 6 – люк; 7 – трубопровод для выгрузки активного угля; 8 – трубопровод отвода очищенной воды; 9 – трубопровод подачи взрыхляющей воды; 10 – распределительная система труб.

Рисунок 5.1 – Сорбционный вертикальный параллельно-проточный фильтр

Задача. Рассчитать сорбционный фильтр для обработки сточных вод при расходе $Q = 1,3$ л/с ($4,68$ м³/ч). Начальное содержание взвешенных веществ $BВ_n$ – 20 мг/л, эмульгированных веществ $ЭВ_n$ – 4,3 мг/л; требуемое конечное содержание $BВ_k$ – 5,5 мг/л, $ЭВ_k$ – 1 мг/л.

Объем сточных вод, проходящих через сорбционный фильтр равен:

$$Q_{\phi} = Q - \Sigma Q_i, \quad (5.1)$$

где $\Sigma Q_i = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3$ – потери сточных вод соответственно в песколовке, грязежировловушке и флотаторе с удаленным осадком и пенопродуктом; потери в грязежировловушке складываются из потерь при удалении осадка и при сливе уловленных нефтепродуктов.

Принимаем $\Sigma Q_i = 0,08 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Тогда с учетом потерь расход сточных вод равен по формуле (5.1)

$$Q_\phi = 4,68 - 0,08 = 4,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В качестве сорбционной загрузки используется активированный уголь АГ-3.

Живое сечение фильтра

$$S_\phi = \frac{Q_\phi}{v_l}, \quad (5.2)$$

где v_l – линейная скорость движения воды в фильтре, линейная скорость не должна превышать 12 м/ч.

При $v_l = 10 \text{ м/ч}$ по формуле (5.2)

$$S_\phi = \frac{4,6}{10} = 0,46 \text{ м}^2.$$

Диаметр фильтра, м:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot S_\phi}{\pi}}. \quad (5.3)$$

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,46}{3,14}} = 0,77$$

Из конструктивных соображений принимаем $D_{\phi} = 0,8$ м.

Высота загрузки выбрана на основе опытных данных: $H_{\phi} = 1,0$ м.

Объем рабочей части фильтра (объем загрузки) составляет, м³

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot H_{\phi} \quad (5.4)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 1,0 = 0,5$$

Так как насыпная плотность угля марки АГ-3 $\rho_n = 500$ кг/м³, масса угля составит, кг

$$M = V \cdot \rho_n \quad (5.5)$$

$$M = V \cdot \rho_n = 0,5 \cdot 500 = 250$$

Относительная сорбционная емкость угля АГ-3 по нефтепродуктам $C_{ap} = 50$ г/кг.

Полная сорбционная емкость угля, г

$$M_{oil} = M \cdot C_{ap} \quad (5.6)$$

$$M_{oil} = 250 \cdot 50 = 12500$$

Объем очищаемой воды за один цикл очистки, если принять время одного цикла очистки равным одной смене, т.е. $t_{cym} = 7$ ч:

$$V_{liq} = Q_{\phi} \cdot t_{cym} \quad (5.7)$$

$$V_{liq} = 4,6 \cdot 7 = 32,2 \text{ м}^3.$$

Разность концентраций нефтепродуктов на входе и на выходе из фильтра

$$\Delta C_{НП} = ЭВ_H - ЭВ_K \quad (5.8)$$

$$\Delta C_{НП} = 4,3 - 1 = 3,3 \text{ мг/л (г/м}^3\text{)}.$$

Масса нефтепродуктов, удаляемых из очищаемой воды за один цикл очистки, г

$$m_{oil} = \Delta C_{НП} \cdot V_{liq}. \quad (5.9)$$

$$m_{oil} = 3,3 \cdot 32,2 = 106,26$$

Число циклов очистки

$$N = \frac{M_{oil}}{m_{oil}} \quad (5.10)$$

$$N = \frac{12500}{106,26} \approx 118$$

Теоретический ресурс работы фильтра

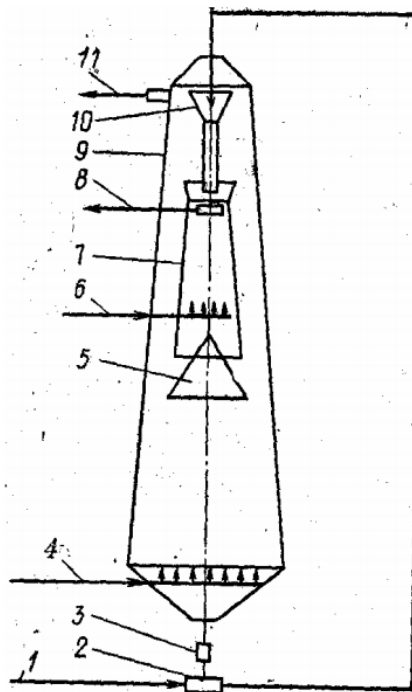
$$T = N \cdot t_{cym} \quad (5.11)$$

$$T = 118 \cdot 7 = 826 \text{ ч}$$

Таблица 5.1 – Варианты задания (шаг Q взять 0,1 л/с)

Вариант	Q, л/с	ВВ _н , мг/л	ЭВ _н , мг/л	ВВ _к , мг/л	ЭВ _к , мг/л
1-5	0,1-0,5	10	2,3	3,5	0,5
6-10	0,6-1,0	15	3,3	4,5	0,75
11-15	1,1-1,5	20	4,3	5,5	1,0
16-20	1,6-2,0	25	5,3	6,5	1,5

6 Расчет ионообменной установки непрерывного действия с псевдооживленным слоем ионита для удаления ионов натрия из раствора, содержащего хлорид натрия



1 – подача воды; 2, 3 – устройство соответственно для транспортирования и отбора ионита; 4 – подача сточной воды; 5 – регулятор скорости движения потока воды в регенераторе; 6 – подача регенерационного раствора; 7 – внутренний корпус для регенерации ионита; 8 – отвод после регенерационного раствора; 9 – ионообменная колонна; 10 – воронка для приема отработанного ионита; 11 – выпуск обработанной сточной воды.

Рисунок 6.1 – Ионообменный аппарат непрерывного действия

Задача. Необходимо рассчитать ионообменную установку непрерывного действия с псевдооживленным слоем ионита для удаления ионов натрия из раствора, содержащего хлорид натрия, если производительность по исходному раствору $V = 9 \text{ м}^3/\text{ч}$; исходная концентрация раствора $C_{\text{н}} = 4 \text{ моль-экв/м}^3$ ($0,1 \text{ кг/м}^3$); концентрация очищенного раствора составляет 5 % от исходной; температура в аппарате $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; марка катионита КУ-2; регенерация

проводится в плотном, движущемся под действием силы тяжести слое ионита 1н. раствором HCl .

Параметры катионита КУ-2: полная обменная емкость $X_o = 4,75$ ммоль-экв/г; удельный объем $\nu_o = 3,0 \text{ см}^3/\text{г}$; средний диаметр гранулы $d = 0,9$ мм; насыпная плотность $\rho_{нас} = 800 \text{ кг/м}^3$.

Уравнение изотермы сорбции

$$X^* = \frac{1,32C_k}{1 + 2C_k} \quad (6.1)$$

Фиктивную скорость жидкости в псевдооживленном слое находят из уравнения, связывающего критерии Re , Ar с порозностью слоя ε :

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar\varepsilon^{4,75}}} \quad (6.2)$$

Высота псевдооживленного слоя в 1,5...2 раза превышает высоту неподвижного слоя. С учетом этого, принимаем порозность неподвижного слоя $\varepsilon_o = 0,4$, порозность подвижного слоя $\varepsilon = 0,65$.

Плотность частицы набухшего катионита, кг/м^3

$$\rho_x = \frac{\rho_{нас}}{(-\varepsilon_o)} \quad (6.3)$$

$$\rho_x = \frac{800}{(-0,4)} = 1333,3$$

Критерий Архимеда

$$Ar = d^3 \cdot \rho_y \cdot (\rho_x - \rho_y) \cdot \frac{g}{\mu^2} \quad (6.4)$$

$$Ar = (0,9 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1000 \cdot (333,3 - 1000) \cdot \frac{9,81}{(10^{-3})^2} = 2384.$$

Из уравнения (6.2) находим критерий Re

$$Re = \frac{2384 \cdot 0,65^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{2384 \cdot 0,65^{4,75}}} = 10,73.$$

Скорость жидкости, м/с

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{d \cdot \rho_y} \quad (6.5)$$

$$v = \frac{10,73 \cdot 10^{-3}}{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1000} = 0,012$$

Диаметр аппарата, м

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot v}} \quad (6.6)$$

$$D = \sqrt{\frac{9}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,012}} = 0,52$$

Принимаем диаметр $D = 0,6$ м.

Минимальный расход сорбента находим из условия равновесия твердой фазы с раствором, покидающим аппарат, кг/ч:

$$G_{x \min} = \frac{V(C_H - C_K)}{X^* C_K} \quad (6.7)$$

По формуле (6.1)

$$X^* C_K = \frac{1,32 \cdot 0,005}{(+ 2 \cdot 0,005)} = 0,0065 \text{ кг/кг.}$$

$$G_{x \min} = \frac{9 \cdot (1 - 0,005)}{0,0065} = 131,54$$

Рабочий расход сорбента, по опытным данным, в 1,1...1,3 раза превышает минимальный. Приняв соотношение рабочего и минимального расходов равным 1,2, получим рабочий расход катионита:

$$G_x = 1,2 \cdot G_{x \min} = 1,2 \cdot 131,53 = 157,85 \text{ кг/ч.} \quad (6.8)$$

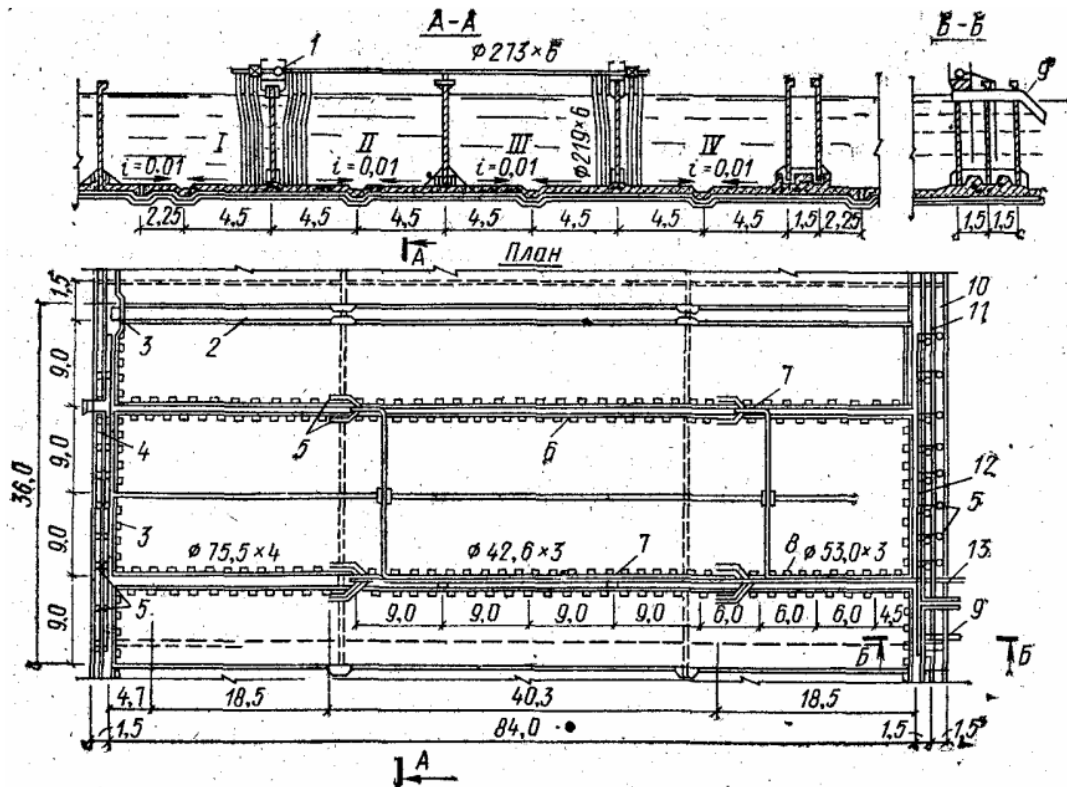
Процесс регенерации ионов состоит из трех стадий: взрыхления ионита, собственно регенерации и отмывки ионита от продуктов регенерации и избытка регенерирующего вещества. Объем промывных вод обычно составляет 75...100 % объема регенерационных растворов.

Таблица 6.1 – Варианты задания (шаг V взять 0,1 м³/ч)

Вариант	V , м ³ /ч	C_H , кг/м ³	C_K , % от C_H	t , °С
1-5	5-9	0,1	5	20
6-10	10-14	0,2	6	25
11-15	15-19	0,3	7	20
16-20	20-24	0,4	8	25

Примечание: неуказанные величины принимать из примера.

7 Расчёт аэротенка-вытеснителя для городской станции аэрации



1 – воздуховод; 2 – средний канал; 3 – щитовой затвор; 4 – верхний канал осветленной воды; 5, 6 – соответственно воздушные и водовыбросные стояки; 7 – скользящая опора; 8 – труба Вентури; 9 – трубопровод циркулирующего активного ила; 10 – распределительный канал вторичных отстойников; 11 – нижний канал осветленной воды; 12, 13 – воздуховод соответственно на канале и секции.

Рисунок 7.1 – Типовой четырехкоридорный (I–IV) аэротенк

Задача. Рассчитать аэротенки-вытеснители для городской станции аэрации производительностью $Q = 85000 \text{ м}^3/\text{сут}$; БПК_{полн} поступающих стоков $L_{en} = 90 \text{ мг/л}$; БПК_{полн} очищенных стоков $L_{ex} = 13 \text{ мг/л}$; среднегодовая температура стоков $T_{w2} = 11 \text{ °C}$; среднемесячная температура сточных вод $T_{wm} = 23 \text{ °C}$.

По графику притока бытовых и промышленных сточных вод города приток в часы максимального расхода в % от $Q_{сут}$ показан в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Приток по часам

Часы суток	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
Приток в % от $Q_{сум}$	4,3	5,9	5,8	6,3	6,1	6,1	5,0

1. Принимается:

- доза ила $a_i = 3,0$ г/л;

- иловый индекс $J_i = 100$ см³/г;

- концентрация растворенного кислорода $C_o = 2$ мг/л.

2. Степень рециркуляции активного ила определяется по формуле

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} \quad (7.1)$$

$$R_i = \frac{3,0}{\frac{1000}{100} - 3,0} = 0,43$$

3. Принимаются вторичные отстойники с илососами.

Определяется БПК_{полн} с учетом рециркуляционного расхода по формуле

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i} \quad (7.2)$$

$$L_{mix} = \frac{90 + 13 \cdot 0,43}{1 + 0,43} = 66,85 \text{ мг/л.}$$

4. Период аэрации, ч, определяется по формуле

$$\tau_{atv} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{max} \cdot C_o \cdot a_i \cdot (-s)} \cdot \left[(C_o + K_o) \cdot (C_{mix} - L_{ex}) \cdot K_l \cdot C_o \cdot \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] \cdot K_p \quad (7.3)$$

Для городских сточных вод принимаются следующие значения параметров: $\rho_{max} = 85$ мг/(кг·ч) – максимальная скорость окисления;

$K_l = 35$ мг БПК_{полн} / л – константа, характеризующая свойства органических загрязнений;

$K_o = 0,625$ мг O₂/л – константа, характеризующая влияние кислорода;

$\varphi = 0,07$ л/г – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила;

$s = 0,3$ – зольность ила;

$K_p = 1,5$ (т.к. $L_{ex} = 13$ мг/л < 15, иначе $K_p = 1,25$)

$$\tau_{atv} = \frac{1 + 0,07 \cdot 3,0}{85 \cdot 2 \cdot 3,0 \cdot (-0,3)} \left[\left(1 + 0,625 \right) \left(6,85 - 15 \right) - 33 \cdot 2 \cdot \ln \frac{90}{13} \right] \cdot 1,5 = 1,2 \text{ ч.}$$

С поправкой на температуру

$$\tau_{atv} = \frac{15}{T_{w2}} \cdot 1,2 \quad (7.4)$$

$$\tau_{atv} = \frac{15}{11} \cdot 1,2 = 1,64 \text{ ч}$$

5. Определяется расчетный расход.

Среднечасовой расход в час за время аэрации, составляющее 3 ч, максимального притока с 8 до 11 ч составляет

$$Q_{cp} = \frac{\left(\frac{6,3 + 6,1 + 6,1}{3} \right)}{100} Q_{сут} = \frac{6,17}{100} Q_{сут} \quad (7.5)$$

Расчетный расход, м³/ч:

$$Q_{cp} = \frac{6,17}{100} 85000 = 5244$$

6. Необходимый объем аэротенка, м³/ч

$$V_{at} = \tau_{atv} \cdot Q_{cp} \quad (7.6)$$

$$V_{at} = \tau_{atv} \cdot q_w = 1,64 \cdot 5244 = 8602$$

Принимается 4 секции 2-коридорных аэротенков-вытеснителей с шириной коридора $B_a = 6$ м и глубиной $H_{at} = 4,6$ м.

Длина коридоров аэротенка, м

$$L_{cor} = \frac{V_{at}}{N \cdot n \cdot B_a \cdot H_{at}}, \quad (7.7)$$

где N – количество секций, шт.;

n – количество коридоров в секции, шт.

$$L_{cor} = \frac{8602}{4 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 4,6} = 38,9$$

Принимается $L_{cor} = 40$ м.

$$\text{Отношение } \frac{\Sigma L_{cor}}{B_a} = \frac{40 \cdot 4}{6} = 26,7 \text{ м.}$$

Режим вытеснения обеспечивается при соотношении длины коридоров $L/B > 30$. При $L/B < 30$ необходимо предусматривать секционирование коридоров с числом ячеек 5...6. Таким образом, требуется секционирование аэротенка.

Уточняются нагрузка на активный ил q_i и величина илового индекса J_i

$$q_i = \frac{24 \cdot (C_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - s) \cdot \tau_{at}} \quad (7.8)$$

$$q_i = \frac{24 \cdot (10 - 13)}{3,0 \cdot (1 - 0,3) \cdot 1,64} = 537 \text{ мг БПК}_{\text{полн}} / (\text{г} \cdot \text{сут}).$$

Этой нагрузке на ил соответствует иловый индекс $J_i = 105 \text{ см}^3/\text{г}$, что близко к предварительно принятому значению $J_i = 100 \text{ см}^3/\text{г}$. Следовательно, пересчета параметров не требуется.

Варианты задания.

Принимается:

- доза ила $a_i = 3,0 \text{ г/л}$;
- иловый индекс $J_i = 100 \text{ см}^3/\text{г}$;
- концентрация растворенного кислорода $C_o = 2 \text{ мг/л}$.

По графику притока бытовых и промышленных сточных вод города приток в часы максимального расхода в % от $Q_{\text{сут}}$ составляет:

Таблица 7.2 – Исходные данные по часам

Часы суток	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
Приток в % от $Q_{\text{сут}}$	2,6	5,2	5,3	6,3	6,1	6,1	5,2
	2,3	4,2	5,3	6,1	6,0	6,0	5,9
	2,8	4,1	5,8	6,1	6,2	6,2	5,4
	3,2	4,2	5,3	6,1	6,3	6,3	5,4

Таблица 7.3 – Варианты задания

Вариант	БПК _{полн} поступающих стоков L_{en} , г/л	БПК _{полн} очищенных стоков L_{ex} , г/л	Среднегодовая температура стоков, T_w , °С	Среднемесячная температура сточных вод, T_w , °С
1-5	50-100	11-15	11	23
6-10	110-150	16-20	11	23
11-15	160-200	21-25	11	23
16-20	210-250	26-30	11	23

Шаг БПК_{полн} поступающих стоков для вариантов – $10 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Шаг БПК_{полн} очищенных стоков для вариантов – 1 г/л.

8 Уравнение материального баланса в фильтре, нахождение объема осадка и объема очищенной воды (фильтрата)

Задача. Производительность фильтра $G_{oc} = 500$ кг/ч осадка влажностью $\omega_{oc} = 34$ % (масс.). Начальная концентрация суспензии сточной воды по твердой фазе $x_c = 5$ % (масс.). Составить уравнение материального баланса и найти объем осадка V_{oc} и объем очищенной воды (фильтрата) V_{ϕ} , если $x_{\phi} = 0$, $\rho_{жс} = 1000$ кг/м³ и $\rho_{oc} = 1440$ кг/м³.

Уравнение материального баланса по потокам в фильтре

$$G_c = G_{oc} + G_{\phi}. \quad (8.1)$$

Уравнение материального баланса по твердой фазе

$$G_c x_c = G_{oc} x_{oc} + G_{\phi} x_{\phi}, \quad (8.2)$$

где $x_{oc} = 100 - \omega_{oc}$.

Объем осадка равен

$$V_{oc} = \frac{G_{oc}}{\rho_{oc}} \quad (8.3)$$

$$V_{oc} = \frac{500}{1440} = 0,347 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для определения объема фильтрата (очищенной воды) по аналогичной формуле выразим массовую производительность по фильтрату через производительность по осадку из уравнений материального баланса.

Для этого сначала выразим количество фильтрата через количество суспензии и осадка из формул (8.1) и (8.2)

$$G_{\phi} = G_c - G_{oc}, \quad (8.4)$$

а количество суспензии через количество осадка:

$$G_c = \frac{G_{oc} x_{oc} + G_c x_{\phi} - G_{oc} x_{\phi}}{x_c} = G_{oc} \frac{x_{oc} - x_{\phi}}{x_c - x_{\phi}}, \quad (8.5)$$

оттуда с учетом условия $x_{\phi} = 0$ получим

$$G_{\phi} = G_{oc} \left(\frac{x_{oc}}{x_c} - 1 \right) = G_{oc} \left[\frac{w_{oc} - \omega_{oc}}{x_c} - 1 \right]. \quad (8.6)$$

$$G_{\phi} = 500 \left[\frac{0,00 - 0,34}{5} - 1 \right] = 6100 \text{ кг/ч}$$

Тогда объем очищенной воды-фильтрата равен, м³/ч

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_{ж}}. \quad (8.7)$$

$$V_{\phi} = \frac{6100}{1000} = 6,1$$

Таблица 8.1 – Вариант задания

№ варианта	Производительность фильтра G_{oc} , кг/ч	Влажность осадка ω_{oc} , % (масс.)	Начальная концентрация суспензии сточной воды по твердой фазе, % (масс.)	Плотность жидкости $\rho_{жс}$, кг/м ³	Плотность осадка ρ_{oc} , кг/м ³
1-5	500-900	30-34	5	1000	1440
6-10	1000-1400	35-39	6	1000	1500
11-15	1500-1900	40-44	7	1000	1550
16-20	2000-2400	45-49	8	1000	1500
21-25	2500-2900	50-54	9	1000	1440

Примечание: Шаг G_{oc} производительности фильтра для вариантов – 100 кг/ч.

Шаг влажности осадка ω_{oc} – 1%.

Неуказанные значения характеристик сточных вод и фильтрата брать из примера.

Список использованных источников

1. Ветошкин, А.Г. Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. - 2-е изд. испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 296 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9729-0125-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444179>.

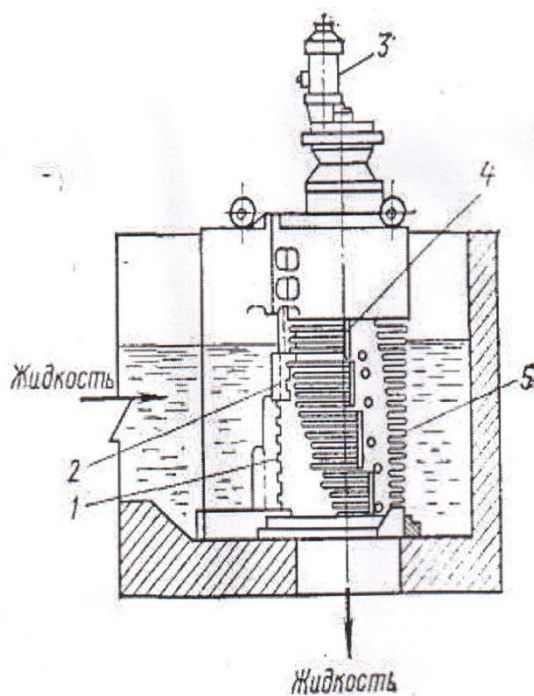
2. Ветошкин, А.Г. Основы инженерной защиты окружающей среды : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. - 2-е изд. испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 456 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9729-0124-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444182>

Приложение А (справочное)

Решетка-дробилка

Для задержания и измельчения загрязнений непосредственно в потоке сточной воды без извлечения их на поверхность применяют решетки-дробилки (типа РД). Схема решетки-дробилки показана на рисунке А.1.

Решетка-дробилка состоит из щелевого барабана с трепальными гребнями и приводного механизма. Принцип действий такой решетки-дробилки заключается в следующем. Сточная вода поступает на вращающийся барабан с щелевыми отверстиями. Мелкие фракции отходов вместе с потоком сточной воды проходят через щелевые отверстия внутрь барабана и далее вниз на выход из решетки-дробилки. Крупные фракции отходов задерживаются на перемычках между щелевыми отверстиями барабана (которые составляют как бы круглую решетку) и транспортируются при вращении барабана к трепальным гребням.



1 – барабан; 2 – трепальный гребень; 3 – электродвигатель; 4 – режущая пластина; 5 – резец.

Рисунок А.1 – Схема решетки-дробилки типа РД