

ПОРЯДОК РАСЧЁТА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА

Исходные данные по городу и промышленному предприятию.

Город расположен в Московской области.

Расстояние до водоема, $S_{вод} = 250 \text{ м}$.

Перепад отметок на площадке очистных сооружений, $D_n = 2,7 \text{ м}$;

Характеристика грунтов – *супесь*.

Глубина залегания грунтовых вод, $h_{гр.вод} = 5,7 \text{ м}$;

Количество сточных вод от города, $Q_{быт} = 45000 \text{ м}^3 / \text{сут}$;

Норма водоотведения $q_0 = 225 \text{ л/чел} \times \text{сут}$;

Наименование производства - *химико-фармацевтический завод*;

Количество сточных вод от промышленного предприятия $Q_{пр} = 1200 \text{ м}^3 / \text{сут}$;

Концентрация взвешенных веществ в промышленных сточных водах $P_{пр. вэ} = 185 \text{ мг/л}$;

Концентрация загрязнений по БПК в промышленных сточных водах $P_{пр. БПК} = 200,00 \text{ мг/л}$;

Температура сточных вод $T = 18^\circ \text{C}$;

рН сточных вод - 7, 20;

Данные по водоёму

Минимальный расход воды при 95% обеспеченности створе реки у места выпуска сточных вод $Q_p = 4,00 \text{ м}^3 / \text{с}$;

Средняя скорость течения воды $v_c = 0,08 \text{ м/с}$;

Средняя глубина водоема $H_{ср} = 2,00 \text{ м}$;

Содержание взвешенных веществ в водоеме до спуска сточных вод $C_p = 6,00 \text{ г/м}^3$;

Концентрация органических загрязнений по БПК_{полн} $L_p = 2,80 \text{ г/м}$;

Концентрация растворенного кислорода $O_p = 6,50 \text{ г/м}$;

Расстояние до пункта водопользования по фарватеру $L_{фар} = 6000,0 \text{ м}$;

Расстояние до пункта водопользования по прямой $L_{пр} = 5000,0 \text{ м}$;

Коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод $\varphi = 1,0$ (береговой выпуск).

ЧАСТЬ 1.

РАЗДЕЛ 1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

Задача 1. Оцените результаты анализа трех проб сточной воды, отобранных из разных коллекторов, и поясните к какой-категории сточных вод могут быть отнесены эти пробы (таблица 1)

Таблица 1.

Показатель	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Сухой остаток	700	1200	800
Потери при прокаливании сухого остатка, мг/л	390	700	420
Плотный остаток, мг/л	430	840	540
Потери при прокаливании плотного остатка, мг/л	210	550	250
Взвешенные вещества, мг/л	270	400	200
Потери при прокаливании взвешенных веществ, мг/л	189	100	150
Оседающие вещества, мг/л	178	320	70
ХПК, $\text{мгO}_2/\text{л}$	375	680	470
БПК _{полн} , $\text{мгO}_2/\text{л}$	300	470	480
N-NH_4^+ , мг/л	31	100	Отсутств.
Фосфаты (Р) , мг/л	6,5	Отсутств.	То же
Число колоний на МПА, тыс/мл	840	980	340
Число колоний на ЭНДО тыс/мл	100	10	Отсутств.
Яйца гельминтов (шт/л)	0,5	0,1	То же

Решение задачи. Наличие бактерий группы кишечной палочки (БГКП), растущих на среде ЭНДО, присутствие яиц гельминтов в сточной воде позволяют предполагать, что эта вода может быть бытового происхождения или иметь примеси фекальных сточных вод. К таким водам относятся пробы 1 и 2. Чтобы проверить это предположение, сделаем некоторые расчеты.

Для бытовых сточных вод вследствие постоянства их состава определены соотношения между отдельными показателями качества. Например, отношение БПК/ХПК примерно равно 86%, оседающие вещества составляют 65...70% от взвешенных, отношение БПК : N : P, рассчитанное по нормам загрязнений на 1 жителя в сутки, составляет 100 : 10,7 : 1,9. Расчет для пробы 1 показал, что соотношение БПК/ХПК=0,8; оседающие вещества составляют 66% от взвешенных веществ, а отношение БПК : N : P = 100 : 10,3 : 2,2. Это достаточно хорошее совпадение, что, наряду с наличием яиц гельминтов и БГКП, позволяет отнести пробу 1 к бытовым сточным водам. Чтобы окончательно убедиться в этом, рассчитаем, пользуясь табл. 25 СНиП, норму водоотведения. При концентрации взвешенных веществ 270 мг/л норма водоотведения составит: $65 \cdot 1000 / 270 = 241$ л/(чел.сут). Аналогичные расчеты по БПК, аммонийному азоту и фосфору дают весьма близкие значения нормы водоотведения, в среднем составляющей 235 л/(чел.сут). Таким образом, можно достаточно уверенно считать воду пробы 1 бытовой сточной водой. Воду пробы 2, несмотря на наличие яиц гельминтов и БГКП, скорее всего следует отнести к производственной сточной воде с примесью фекальной воды, так как соотношения показателей ее качества не укладываются в пределы для бытовых сточных вод.

Проба 3 не имеет биологических загрязнений, присущих хозяйственно-фекальным сточным водам, поэтому вероятней всего относится к чисто производственной воде.

По сухому остатку, характеризующему общую загрязненность воды; наиболее концентрированной является проба 2. Соотношение сухого остатка и потерь при его прокаливании для всех трех проб приблизительно одинаково и свидетельствует о том, что более половины общей массы загрязнений приходится на долю органических веществ. Из них в растворенном состоянии находится около 54,78 и 60% в пробах 1, 2 и 3, соответственно.

Солесодержание может быть определено как разность плотного остатка и потерь при его прокаливании. Расчеты показывают, что проба 3 содержит

больше всего солей - 349 мг/л против 220 и 290 мг/л в пробах 1 и 2, соответственно.

Нерастворенные примеси во всех трех пробах содержат как органические (потери, при прокаливании взвешенных веществ), так и неорганические примеси. При этом самая большая доля органических нерастворенных примесей в пробе 3 - 0,75, самая маленькая - 0,25 в пробе 2.

По соотношениям оседающих и взвешенных веществ, равным 0,66, 0,8 и 0,35 в пробах 1,2 и 3, соответственно, можно предполагать, что отстаивание сточных вод проб 1 и особенно 2 будет проходить достаточно эффективно, в то время как для сточной воды пробы 3 характерно присутствие значительной части не оседающих веществ.

Отношение БПК/ХПК свидетельствует о возможности биологической очистки проб 1 и 2, но при условии введения соединений фосфора в сточную воду пробы 2. Для пробы 3 в результате анализа получены практически одинаковые значения БПК и ХПК. Такой результат нельзя считать правильным, так как на биохимическое окисление даже самых легко окисляемых веществ всегда затрачивается кислорода меньше, чем при химическом окислении. Это связано с тем, что в биохимических процессах только часть исходного вещества окисляется до высших окислов, другая часть преобразуется в клеточное вещество. И хотя на этот последний процесс тоже затрачивается кислород, расход его меньше, чем при полном окислении.

Проверить правильность выполнения анализа можно и по другим данным. Например, разность между сухим и плотным остатком должна приблизительно равняться концентрации взвешенных веществ, концентрация оседающих примесей всегда должна быть меньше концентрации взвешенных веществ и т.д.

Порядок расчёта очистных сооружений города

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК и взвешенным веществам.

Суточная производительность очистных сооружений составляет – 46200

м³/сут.

Средний секундный расход – 0,535 м³/с.

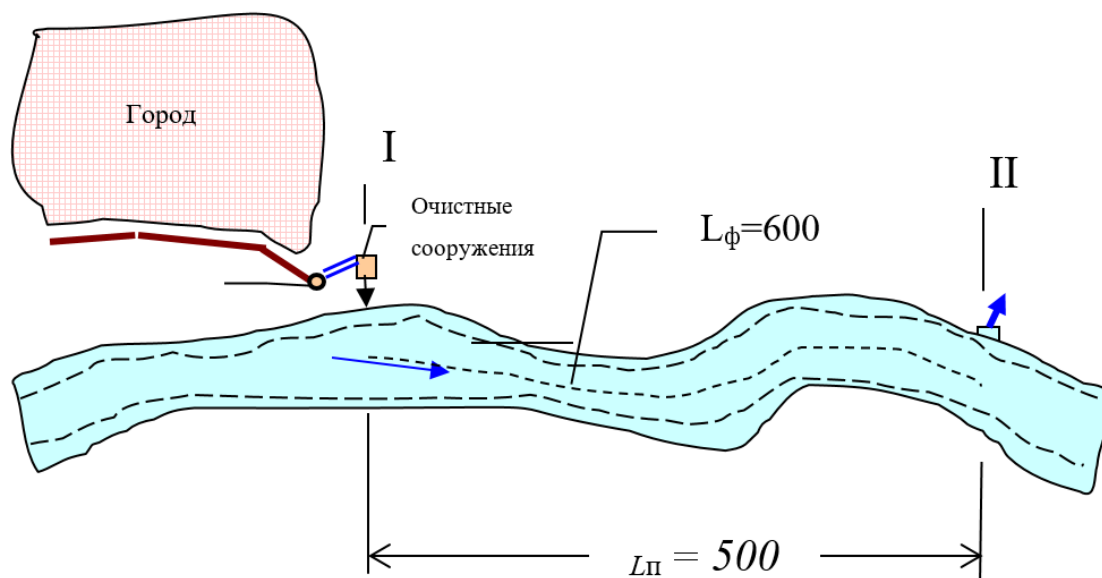


Рис. 1. Условия сброса очищенных сточных вод в водоём.

Расчет концентрации загрязнений сточных вод

По СП 32.13330.2012 содержание загрязнений в бытовых водах на одного жителя составляет: по взвешенным веществам - 65 (г/чел×сут); по БПК_{полн} – 75 (г/чел×сут).

Определяем концентрацию загрязнений в бытовых водах: по взвешенным веществам:

$$C_{в.в}^{быт} = \frac{65 \cdot 1000}{n} = \frac{65 \cdot 1000}{225} = 288,9 \text{ мг / л}$$

Определяем концентрацию загрязнений в бытовых водах: БПК:

$$C_{БПК}^{быт} = \frac{75 \cdot 1000}{n} = \frac{75 \cdot 1000}{225} = 333,3 \text{ мг / л.}$$

Определение концентрации загрязнения смеси по взвешенным веществам:

$$C_{в.в}^{см} = \frac{C_{в.в}^{быт} \cdot Q_{ср}^{быт} + C_{в.в}^{пр} \cdot Q_{ср}^{пр}}{Q_{ср}^{быт} + Q_{ср}^{пр}} = 286,2 \text{ мг / л}$$

Где: $C_{в.в}^{быт}$ – концентрация взвешенных веществ в бытовых сточных водах;

$Q_{ср}^{быт}$ – расход бытовых сточных вод;

$C_{в.в}^{пр}$ – концентрация взвешенных веществ в производственных сточных водах;

Q_{cp}^{np} - расход производственных сточных вод;

- по БПК:

Где $\tilde{N}_{AIE}^{\acute{a}\acute{u}\acute{o}}$ – концентрация органических веществ по БПК_{полн} в бытовых сточных водах;

$\tilde{N}_{AIE}^{\acute{a}\acute{u}\acute{o}}$ – концентрация органических веществ по БПК_{полн} в производственных сточных водах;

$$C_{БПК}^{см} = \frac{C_{БПК}^{быт} \cdot Q_{cp}^{быт} + C_{БПК}^{np} \cdot Q_{cp}^{np}}{Q_{cp}^{быт} + Q_{cp}^{np}} = 329,90 \text{ мг / л.}$$

Водоемы обладают самоочищающей способностью, что позволяет экономично и обосновано запроектировать очистные сооружения, на которых сточная вода очищается до необходимой степени.

Расчет разбавления сточных вод в реке

Для учета расхода реки, участвующего в смешении, то есть, процессов разбавления, вводят коэффициент смешения – а, показывающий какая часть расхода реки смешивается со сточной водой в данном створе:

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + \frac{Q_p}{q} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{l_\phi}}}$$

Где Q_p – расход воды в створе реки, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q – расход сточных вод $\text{м}^3/\text{с}$;

l_ϕ - длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створ по фарватеру, м;

e – коэффициент, зависящий от гидравлических условий смешения.

$$\alpha = \varphi \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}} = 0,164$$

Где φ – коэффициент, учитывающий место выпуска сточных вод. Выпуск у берега, следовательно, $\varphi = 1$;

φ - коэффициент извилистости реки;

$$\varphi = \frac{l_\phi}{l_{np}} = 1,2$$

Где l_{np} - длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створа по прямой, м;

E – коэффициент турбулентной диффузии

$$E = \frac{v_{cp} \cdot H_{cp}}{200} = 0,0008$$

Где: v_{cp} – средняя скорость течения воды в реке;

Коэффициент смешения $a = 0,69$

Расчет степени очистки сточных вод по взвешенным веществам.

Предельно допустимое содержание взвешенных веществ, в спускаемых в водоем сточных водах определяется по формуле:

$$m = P \cdot \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + B \text{ мг/л}$$

Где a – коэффициент смешения;

P – допустимое санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод, для водоёма рыбохозяйственного значения $P = 0,25 \text{ мг/л}$;

B – содержание взвешенных веществ в водоеме выше створа выпуска.

$$m = 7,5 \text{ мг/л}$$

Требуемый эффект очистки составит:

$$\mathcal{O}_{в.в} = \frac{C_{en}^{взвещ} - m}{C_{en}^{взвещ}} \cdot 100 \approx 97,4 \%$$

Расчет степени очистки сточных вод по БПК_{полн}

Предельно допустимое содержание по БПК, в спускаемых в водоем сточных водах определяется по формуле:

$$L_{cm} = \frac{a \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{cm} \cdot t}} \cdot (L_{np.d} - L_p \cdot 10^{-K_p \cdot t}) + \frac{L_{np.d}}{10^{-K_{cm} \cdot t}};$$

Где K_{cm} , K_p – константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой;

$$K_{cm} = 0,16; \text{ принимаем } K_p = 0,1$$

$L_{np.d}$ – предельно допустимая БПК смеси речной и сточной воды в расчетном створе;

$L_{np.o} = 6 \text{ мг/л}$ (категория водоема – рыбохозяйственный);

L_p – БПК речной воды до места выпуска;

t – продолжительность перемещения воды от места выпуска сточных вод до расчетного створа, определяется по формуле:

$$t = \frac{l_\phi}{v_{cp}} = 0,9 \text{ сут}$$

$$L_{cm} = 5,7 \text{ мг/л.}$$

Требуемый эффект очистки составит:

$$\mathcal{E}_{БПК} = \frac{C_{en}^{БПК} - L_{cm}}{C_{en}^{БПК}} \cdot 100 \approx 97,4$$

Расчет степени очистки сточных вод по растворённому кислороду

Допустимая величина БПК сточных вод, сбрасываемых в водоем, исходя из условий минимального содержания растворенного кислорода, определяется по формуле:

$$L_{cm} = \frac{a \cdot Q}{0,4 \cdot q} \cdot (Q_p - 0,4 \cdot L_p - 4) - 10$$

Где O_p – содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод;

L_p – БПК_{полн} речной воды;

0,4 – коэффициент для пересчета БПК_{полн} в двухсуточное;

q – суммарные расходы сточной и речной воды участвующий в смешении.

$$L_{cm} \approx 7,8 \text{ мг/л.}$$

Требуемый эффект очистки составит:

$$\mathcal{E}_{O_2} \approx 96\%.$$

На основании полученного расчёта необходимой степени очистки по БПК_{полн} и взвешенным веществам необходимо разработать очистные сооружения с глубокой биологической очисткой сточных вод, удалением соединений азота и фосфора. Принимаем для проектирования следующую технологическую схему очистки сточных вод и обработки осадков:

1. Мелкопрозорные решётки с шириной прозоров 4 мм;

2. Песколовки горизонтальные;
3. Первичные отстойники горизонтального типа;
4. Аэротенки-вытеснители с регенерацией активного ила;
5. Вторичные горизонтальные отстойники;
6. Хлораторная на жидком гипохлорите натрия;
7. Контактные резервуары.
8. Сооружения по дехлорированию очищенных сточных вод;
9. Метантенки;
10. Уплотнители активного ила;
11. Уплотнители смеси сброженного активного ила и осадка сточных вод;
12. Цех механического обезвоживания на фильтр-прессах;
13. Песковые площадки;
14. Аварийные иловые площадки;
15. Площадки для складирования обезвоженного осадка;
16. Площадки компостирования.
17. Блок производственно-бытовых помещений;
18. Насосно-воздуходувную станцию;
19. Газгольдеры;
20. Котельная очистных сооружений;

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ, ДООЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Расчёт очистных сооружений

Исходные данные для расчёта

Исходные данные	Ед. измерения	Значения
Средний суточный расход, $Q_{ср.сут}$	$м^3/сут$	46200,0
Средний часовой расход, $Q_{ср.час}$	$м^3/ч$	2083,3
Средний секунднй расход, $q_{ср.сек}$	$м^3/сек$	0,58
Средний секунднй расход, $q_{ср.сек}$	$л/сек$	578,7
Коэф. неравномерности, $K_{qep\ max}$	-	1,49
Максимальный секунднй расход, $q_{max\ сек}$	$м^3/сек$	0,86
Максимальный часовой расход, $Q_{max\ час}$	$м^3/ч$	3105,7
Средний часовой расход в часы макс. притока, $Q_{maxср.час}$	$м^3/ч$	2576,6
БПК _{полн}	$мг/л$	329,9
БПК ₅	$мг/л$	286,2
Взвешенные вещества	-«-	260
Аммонийный азот	-«-	32
Фосфаты	-«-	13,2

Расчет сооружений механической очистки

Принимаем общий коэффициент неравномерности водоотведения: $K_{об.макс} = 1,49$, тогда максимальный секунднй расход будет равен $q_{макс} = q \times K_{об.макс} = 0,864\ м^3/с$.

Расчет решеток.

Принимаем глубину воды в камере решетки: $h_p = 1,40\ м$, средняя скорость воды в прозорах решетки $v_p = 1,00\ м/с$. Ширина прозоров между стержнями $b = 0,006\ м$. Находим число прозоров решетки по формуле:

$$n = q_{\text{макс}} \times k_3 / (b \times h \times v_p) = 108 \text{ шт.}$$

Принимаем толщину стержней решетки $s = 0,008 \text{ м}$. Определяем ширину решёток:

$$B_p = s(n-1) + bn = 1,50 \text{ м.}$$

В соответствии с выполненными расчетами принимаем типовые решетки $N = 2 \text{ МГ-8Т}$ со следующими данными: размеры камеры перед решёткой $B \times H = 1400 \times 2000 \text{ мм}$, с числом прозоров $n = 55$ и углом наклона решетки к горизонту $\alpha = 60^\circ$.

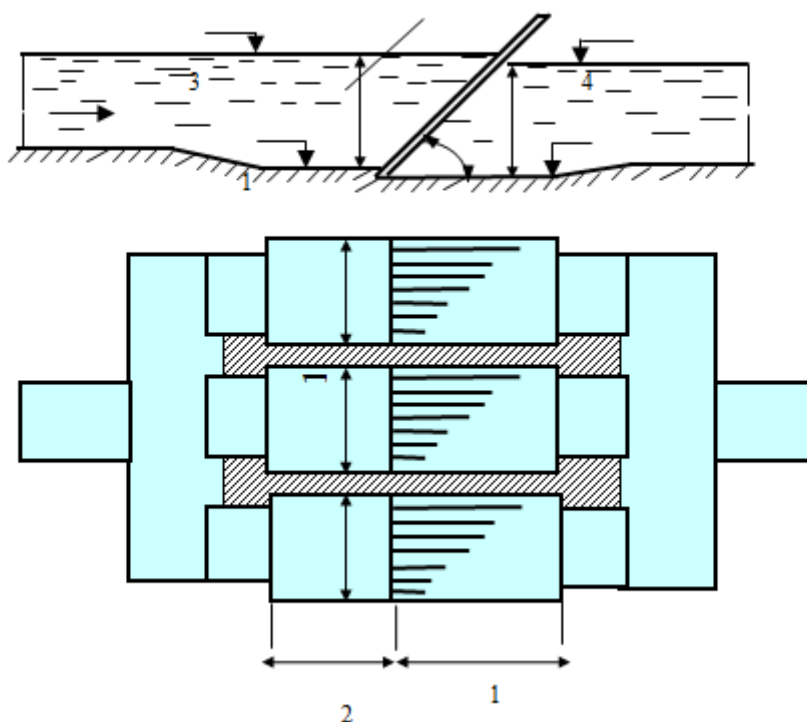


Рис.2. Решетки

Перепад между дном камеры до и после решётки

$$Z_1 - Z_2 = 0,1 \text{ м.}$$

Проверяем скорость воды в позорах решётки:

$$v_p = q_{\text{макс}} \times k_3 / N \times b \times h_1 \times n = 0,98 \text{ м/с.}$$

Вычисляем длину камеры решетки (величины l_1, l_2 приняты конструктивно):

$$l_p = l_1 + l_2 = 1,2 + 0,8 = 2,00 \text{ м}$$

Отметки уровня воды: $Z_2 = 0,00 \text{ (м)}$; $Z_1 = 0,10 \text{ (м)}$;
 $Z_3 = Z_1 + h = 1,50 \text{ (м)}$.

Для определения отметки уровня воды в канале после решетки Z_4 составим

уравнение Бернулли для двух сечений: перед решеткой и после решетки относительно плоскости, проходящей по дну камеры после решетки:

$$Z_1 + p_1/g + v_1^2/2g = Z_2 + p_2/g + v_2^2/2g + h_m$$

С учетом принятых обозначений и условий имеем:

$$p_1/g = h_1 = 1,40 \text{ (м)};$$

$$p_2/g = h_2 = 1,2.$$

Величина скорости в сечениях будет составлять:

$$v_1 = q_{\text{макс}} / (N \times B_k \times h_1) = 0,219 \text{ (м/с)};$$

$$v_2 = q_{\text{макс}} / (N \times B_k \times h_2) = 0,576 / h_2 \text{ (м/с)};$$

где $B_k = 1,0 \text{ м}$ - ширина канала перед решеткой.

Определяем потери напора в решетках h_m , коэффициент местного сопротивления решетки x :

$$x = b \times (s/b)^{4/3} \sin \alpha = 3,076.$$

где $b = 2,42$ для прямоугольных стержней (1,72 для круглых стержней);

$$h_m = p \times x \times v_1^2 / 2g = 0,023 \text{ (м)};$$

$$(Z_1 - Z_2) + p_1/g + v_1^2/2g - h_m = 1,480 \text{ м.}$$

С учетом полученных данных уравнение Бернулли приобретает вид:

$$h_2^3 - 1,075h_2^2 + 0,017 = 0,30826$$

Решая это уравнение графически, получаем:

$$h_2 = 1,06 \text{ (м)}; Z_4 = 1,06 \text{ (м)};$$

Определим количество загрязнений, улавливаемых решетками. Количество отбросов, снимаемых с решёток, имеющих ширину прозоров $b = 6 \text{ мм}$, равно 8 л/год на 1 чел. Принимая норму водоотведения $n = 225 \text{ л/ч} \times \text{сут}$, определим приведенное число жителей:

$$N_{np} = Q_{\text{ср.сут.}} / n = 205333 \text{ (чел.)}.$$

Объем улавливаемых загрязнений:

$$V_{\text{сут}} = N_{np} \times 8 / 1000 \times 365 = 4,50 \text{ (м}^3\text{/сут)}$$

При их плотности $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$ масса загрязнений составляет:

$$M = V_{\text{сут}} \times \gamma = 3375,3 \text{ (кг/сут)} = 2,301 \text{ (т/сут)}$$

Для измельчения задерживаемых загрязнений применяем две дробилки

типа Д-3б (в том числе одну резервную) со следующими характеристиками: производительность 300 м³/ч; мощность электродвигателя 22 кВт.

Расчет песколовки

Для улавливания из сточных вод песка применяем горизонтальную песколовку с круговым движением воды. Принимаем два рабочих отделения песколовки $n = 2$. Площадь живого сечения ω каждого отделения равна при скорости движения сточной воды в песколовке при максимальном притоке сточных вод принимаем $v_n = 0,3(\text{м/с})$:

$$w = q_{\text{макс}} / (v_n n) = 1,43(\text{м}^2)$$

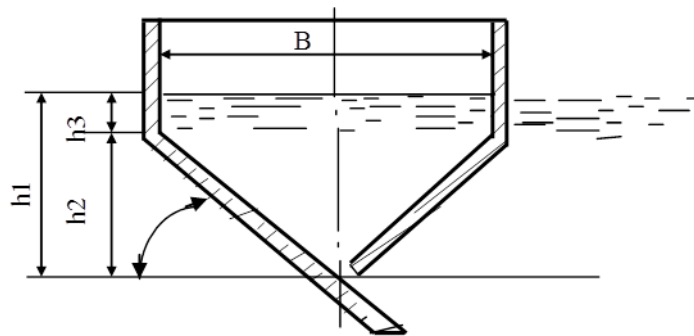


Рис 3.. Песколовка

Принимаем сечение песколовки с размерами:

Угол наклона лотка равен $\alpha = 60^\circ$

Ширина осадочного лотка $B = 1,50(\text{м})$;

Глубина наклонной части: $h_2 = (B/2) \times \text{tg} \alpha = 1,30(\text{м})$

Глубина цилиндрической части лотка: $h_3 = (w - h_2 \times B/2) / B = 0,31(\text{м})$;

Общая глубина погруженной части лотка: $h_1 = h_2 + h_3 = 1,61(\text{м})$;

Время обработки воды в песколовке: $t = 50(\text{с})$;

Длина песколовки равна: $L = v_n \times t = 15,00(\text{м})$;

Диаметр песколовки по оси проточной части: $D_0 = L/p = 4,77(\text{м})$;

Принимаем по типовому проекту горизонтальные песколовки с круговым движением воды со следующими размерами: пропускная способность $Q_{\text{песк}} = 25000 \dots 40000 \text{ м}^3/\text{сут}$; диаметром $D = 6,0 \text{ м}$; расстояние между центрами песколовки 10, 0 м; расстояние между осями подводящего лотка и камерами переключения 7,5 м; ширина кольцевого желоба $B = 1,0 \text{ м}$; ширина

подводящего и отводящего лотков 0,6 м.

Задача 2. Оцените качество осадка, удаляемого из песколовок по данным табл.2.

Таблица 2

Показатель	Песколовка 1	Песколовка 2	Песколовка 3
Объемная масса, кг/л	1,7	1,3	1,5
Содержание песка, %	82	74	80
Зольность, %	85	87	78
Фракции песка >0,25 мм	75	82	76
Фракции песка <0,25 мм	25	18	24

Решение задачи. Наиболее чистый песок задерживается в песколовке 1. Об этом свидетельствуют более высокие значения удельной массы и содержания песка. По этим показателям самое плохое качество осадка получено в песколовке 2. Наличие органических примесей в осадке из песколовок определяется также разностью значений показателей "содержание песка" и "зольность". Чем меньше эта разность, тем меньше органических загрязнений в осадке. Следует обратить внимание на результаты анализа осадка из песколовки 3, для которого зольность оказалась ниже содержания песка. Такое соотношение этих показателей говорит об ошибке при выполнении аналитических процедур, поэтому из дальнейшего рассмотрения песколовка 3 должна быть исключена.

Песколовки 1 и 2 задерживали песок расчетных фракций 0,25 и более, но при этом в первой песколовке одну треть задержанного песка составляет песок мелких фракций, тогда как во второй содержание мелкого песка составляет чуть больше одной пятой.

Чем больше песка мелких фракций задерживает песколовка, тем меньше его окажется в осадке первичных отстойников, что очень важно для работы насосного оборудования и сооружений по обработке осадков.

Таким образом, качество осадка в первой песколовке оказалось

существенно лучше, чем в песколовке 2.

Расчет первичных отстойников.

Для улавливания из сточных вод взвешенных веществ применяем радиальные отстойники. Для расчёта отстойников принимаем:

Скорость движения воды в отстойнике: $v_o = 0,0025 \text{ (м/с)}$.

Глубина проточной части: $H_1 = 3,10 \text{ (м)}$.

Число отстойников $n_{отд} = 3$

Допустимое содержание взвешенных веществ в осветлённой воде: $C_t = 150 \text{ (мг/л)}$.

Требуемый эффект осветления: $\mathcal{E}_{от} = (C_o - C_t) \times 100 / C_o = 42,3 \%$.

Определяем условную гидравлическую крупность при $H_1 = 3,5 \text{ м}$ и $t = 20^\circ\text{C}$, соответствующей требуемому эффекту осветления воды. Требуемая продолжительность осветления воды в цилиндре высотой $h_1 = 500 \text{ мм}$ будет: $t_1 = 1200 \text{ (с)}$ при $n = 0,2$.

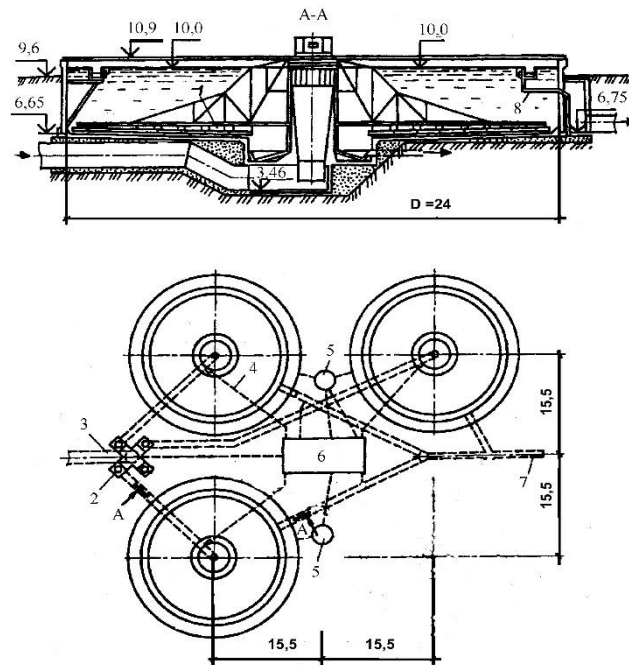


Рис. 4. Первичные радиальные отстойники: 1 - илоскреб; 2 – распределительная камера; 3 – подводящий трубопровод; 4 – трубопровод выгрузки осадка; 5 – жиросборник; 6 – насосная станция перекачки осадка; 7 – трубопровод отвода осветленной воды; 8 – жиропровод.

Условная гидравлическая крупность u_o равна: $u_o = H_1/t_1(H_1/h_1)^n = 0,00179 \text{ (м/с)}$. Условная гидравлическая крупность u_o при $t = 16^\circ\text{C}$, $\mu_{лаб} = 0,0101$ и

$\mu_{pr}=0,0131$ равна:

$$u_o = \mu_{лаб} \times u / \mu_{pr} = 0,00138 \text{ (м/с)}$$

Вертикальная турбулентная составляющая w скорости равна:

$$w = 0,05 \times v_o = 0,00013 \text{ (м/с)}.$$

$$D = ((4q_{\max}) / (n \times k_{set} \times \pi \times (u_o - w)))^{1/2} = 23,8 \text{ м}.$$

Где: $k_{set} = 0,45$ - коэффициент использования объема отстойника.

Принимаем отстойники по типовому проекту со следующими размерами: диаметр $D = 24,00 \text{ (м)}$, глубина отстойника с осадочной части $H_m = 3,7 \text{ (м)}$; глубина проточной части $H_1 = 3,10 \text{ м}$; объем зоны отстаивания $V_{отст} = 1401,7 \text{ (м}^3\text{)}$; объем зоны накопления $V_n = 210 \text{ (м}^3\text{)}$.

Скорость на половине радиуса:

$$v = 2 \times q_{\max} / \pi \times n_{от} \times D \times H_1 = 0,0025 \text{ (м/с)}.$$

Масса улавливаемого осадка в сутки составит:

$$G_{сyx} = C_o \times \mathcal{E}_{от} \times K \times Q / 1000000 = 6,10 \text{ (т/сут)}.$$

При влажности $W_{oc} = 94\%$ и плотности $\rho = 1 \text{ т/м}^3$ объём осадка составит:

$$V = 100 \times G_{сyx} / (100 - W_{oc}) \times \rho = 101,6 \text{ (м}^3\text{/сут)}.$$

Теоретическая продолжительность осветления:

$$T = n_{отд} V_{от} / q_{\max} = 4890 \text{ (с)} = 1,36 \text{ (час)}.$$

Задача 3. Дайте технологическую оценку изменениям состава сточных вод в процессе отстаивания по результатам, приведенным в табл.3.

Таблица 3.

Показатели	Исходная вода	После отстаивания
Осадок по объему, мл/л	5	2
Взвешенные вещества, мг/л	220	110
БПК ₅ , мгО ₂ /л	180	150
Хлориды, мг/л	115	114
Азот аммонийный, мг/л	20	19
Фосфаты, мг/л	3,5	3,1
БГКП, тыс.кол/мл	100	40

Решение задачи В процессе отстаивания из сточной воды перешло в осадок 50% взвешенных веществ, что соответствует снижению оседающих веществ (по объему) на 60%. Такие результаты - свидетельство высокой эффективности работы первичных отстойников.

Снижение величины БПК₅ незначительно и составляет около 17%. Это означает, что основная часть биохимически окисляемых органических примесей находится в воде в виде истинно- и коллоидно растворенных соединений. Доля нерастворенных примесей, способных окисляться биохимическим путем, невелика: при снижении концентрации взвешенных веществ на 110 мг/л БПК₅ снижается только на 30 мг/л.

В процессе отстаивания примерно на 11% снижается концентрация фосфатов. Такая невысокая эффективность отстаивания по фосфатам объясняется тем, что в осадок переходят только трудно растворимые фосфаты, относительное содержание которых в сточных водах невелико.

При отстаивании не происходит снижения концентрации хлоридов и аммонийного азота, поскольку эти примеси присутствуют в сточных водах в виде хорошо растворимых соединений.

В целом приведенные результаты лабораторного контроля работы отстойников закономерны и сомнений не вызывают.

Расчет сооружений биологической очистки.

Расчетный расход сточных вод: $q_{расч} = 0,72 \text{ (м}^3/\text{с)} = 2576,6 \text{ (м}^3/\text{час)}$;

БПК_{полн} поступающих сточных вод: $L_{en} = 233,3 \text{ (мг/л)}$;

БПК_{полн} очищенных сточных вод: $L_{ex} = 15,00 \text{ (мг/л)}$.

Расчет аэротенков

В качестве технологической схемы биологической очистки принимаем аэротенки-вытеснители с регенерацией активного ила. По данным СНиП 2.04.03-85 принимаем: максимальная скорость окисления $\rho_{max} = 85,0 \text{ (мгБПК/г*ч)}$; константы $K_L = 24 \text{ (мгБПК/л)}$ и $K_O = 1,66 \text{ (мгO}_2/\text{л)}$; коэффициент

ингибирования $\varphi = 0,07(\text{л/г})$; зольность $S = 0,27$, $K_p = 1,5 \text{ мг O}_2/\text{л}$.

Принимаем концентрацию кислорода в аэротенке $C_0 = 2,00 (\text{мг/л})$; средняя доза ила $a_{cp} = 3,5 (\text{г/л})$; иловый индекс $J = 130 (\text{см}^3/\text{г})$.

Определяем БПКполн иловой смеси L_{mix} по формуле:

$$L_{mix} = \frac{(L_{en} + L_{ex} \times R_i)}{1 + R_i} = 134,0 \text{ мг / л}$$

Где R_i определяется по формуле:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} = 0,83$$

Удельную скорость окисления ρ определяем по формуле 49 СНиП 2.04.03-85:

$$\rho = \rho_{\text{MAX}} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_l C_0 + K_o L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \times a_i} = 19,90 \text{ мг / гсут}$$

При этом нагрузка на 1 г активного ила составит:

$$q_i = \frac{24 \times (L_{en} - L_{ex})}{a_i \times (1 - s) \times t_{at}} = 586 \text{ мг / гч}$$

Определяем общую продолжительность аэрации:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1 - S) \rho} = 3,22 \text{ ч.}$$

Дозу активного ила в регенераторе вычисляем по формуле:

$$a_r = a_i \times \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 5,6 (\text{г / л})$$

Определяем общий объем аэротенка и регенератора:

$$V_0 = q_{расч} \times t_0 = 8287 (\text{м}^3)$$

Определяем продолжительность обработки сточных вод в аэротенке:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \times Lg \frac{L_{en}}{L_{ex}} = 1,59 (\text{ч})$$

Объем аэротенка определяется по формуле:

$$W_{at} = t_{at} \times (1 + R_i) \times q_w = 7529,9 \text{ м}^3$$

Продолжительность регенерации t_r продолжительность регенерации

определяем по формуле:

$$t_r = t_0 - t_{at} = 1,62 \text{ ч.}$$

Объём регенератора определяется по формуле:

$$W_r = t_r \times R_i \times q_w = 3492,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

По полученным данным уточняем нагрузку на 1 г активного ила:

$$q_i = \frac{24 \times (L_{en} - L_{ex})}{a_i \times (1 - s) \times t_{at}} = 637,7 \text{ мг / гсут}$$

При этом значении q_i для городских сточных вод по табл. находим: $J = 130,0 \text{ (см}^3\text{/г)}$.

Уточняем степень рециркуляции:

$$R = a_i / (1000/J - a_i) = 0,83$$

Определяем дозу ила в аэротенке:

$$a_i^y = V \times a_{cp} / (V_a + (1/2R + 1) \times V_p) = 2,94 \text{ (г/л)}.$$

Принимаем трёхкоридорные аэротенки с 33 % регенерацией активного ила.

Ширина коридора 6 м, длиной коридора 42 м, общий объём одной секции 3780 (м³). Число секций 3, общий объём аэротенков будет составлять 11340 (м³), глубина аэротенка $H_{at} = 5 \text{ м}$.

Расчет аэрационной системы и подбор воздуходувок

Принимаем мелкопузырчатый аэратор из керамических фильтросных пластин, отношение площади фильтросов к площади аэротенка $f/F=0,2$. Удельный расход кислорода воздуха, принимаем для полной биологической очистки ($\text{БПК}_{\text{полн}} = 15\text{-}20 \text{ мг/л}$) принимаем 1,10.

Коэффициент, учитывающий тип аэратора при соотношении $f/F = 0,1$ принимаем по табл. 42 СНиП 2,04.03-85 $K_1 = 1,68$ ($I_{\text{max}}=20,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$), коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора, $K_2 = 2,92$, коэффициент качества воды $K_3 = 0,85$, для городских сточных вод. Коэффициент K_t , учитывающий температуру сточных вод, $K_m = 1 + 0,02(T_{cp} - 20) = 0,92$.

Растворимость кислорода воздуха в воде $C_m = 9,82 \text{ мг/л}$ при температуре

16°C.

Определяем растворимость кислорода воздуха в сточной воде:

$$C_a = (1 + h_a/20,6) \times C_m = 12,20 \text{ мг/л.}$$

Рассчитываем удельный расход воздуха:

$$q_{air} = \frac{q_0 \times (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \times K_2 \times K_T \times K_3 \times (C_a - C_o)} = 6,14 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{ч.}$$

Интенсивность аэрации определяется по формуле:

$$J_a = q_{air} \times H_{at} / t_{at} p = 19,3 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \times \text{ч}).$$

Вычисленная интенсивность аэрации $I_{min} < I < I_{max}$ для принятых значений $K_1=1,68$ ($I_{max} = 20,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$) и $K_2 = 2,92$ ($I_{min}=3,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$), следовательно, пересчета интенсивности аэрации не требуется.

Общий расход воздуха:

$$D_{общ} = Q_{ср.сут} \times q_{air} = 283470 (\text{м}^3/\text{сут}) = 11811 (\text{м}^3/\text{ч}).$$

В качестве аэраторов принимаем керамические фильтросные пластины размером 300×300 мм с удельным расходом воздуха $q_{нл}=80\text{-}120 \text{ л/мин}$ на одну пластину.

Определяем требуемое число пластин:

$$n_{нл} = D_{общ} \times 1000 / q_{нл} \times 60 \times 24 = 1969 \text{ шт.}$$

Для обеспечения условий биологического окисления загрязнений, содержащихся в сточных водах, располагаем ряды фильтросных пластин с одной стороны каждого коридора аэротенка на расстоянии 0,6 -0,8 м от стены. Число фильтросных пластин в одном ряду аэротенка:

$$n_{нл.к} = n_{нл} / n_{анк} = 164 \text{ шт.}$$

Общая площадь, занимаемая фильтросными пластинами $f=0,3 \times 0,3 \times n_{нл}=177,2 (\text{м}^2)$, что составляет 7,3 % площади дна аэротенка $F= 4320 \text{ м}^2$.

Рассчитываем воздухоудвную систему станции аэрации. Требуемый общий напор воздухоудовок, м:

$$H_{общ} = h_{тр} + h_m + h_\phi + H (\text{м.})$$

где $h_{тр}$ - потери напора по длине воздухоудовов от воздухоудовки до

наиболее удаленного стояка;

h_m - потери напора на местные сопротивления в воздуховодах;

h_ϕ - потери напора в фильтровых пластинах, принимаем $h_\phi=0,7(м)$;

H - рабочая глубина аэротенка, принимаем $H=4,9(м)$.

Воздуховоды рассчитываем, исходя из наиболее экономически целесообразной скорости движения воздуха: в распределительных и общем воздуховодах $v=10-20 (м/с)$; в воздухоподводящих стояках $v=4-10 (м/с)$.

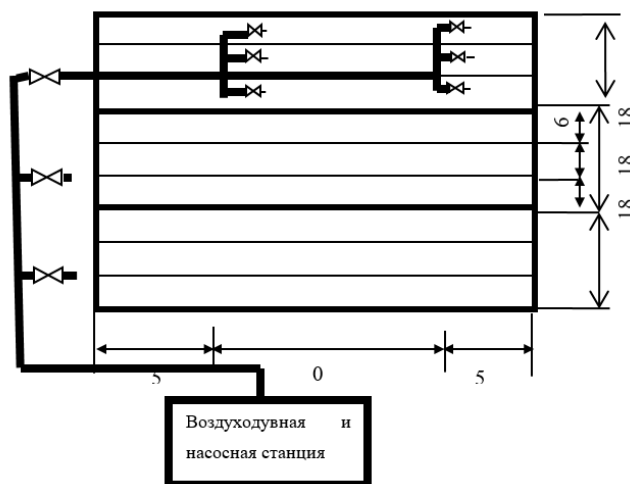


Рис. 5. Расчетная схема воздуховодов.

Для расчета используем таблицы потерь напора в вентиляционных трубопроводах при $T=20^{\circ}C$ и $P=0,1 Мпа$.

Плотность воздуха при $T_0=0^{\circ}C$ и $p_0=0,1 Мпа$, $r_0=1,293(кг/м^3)$

Принимаем давление воздуха в воздуховодах $p=0,15(Мпа)$

Плотность воздуха при расчётных $T=16^{\circ}C$ и $p=0,15 Мпа$:

$$r = r_0(273+T_0)/p_0(273+T) = 1,83(кг/м^3)$$

С учетом поправок потери напора по длине трубопровода:

$$h_{mp} = i \times L_{mp} \times a_t \times a_p.$$

где $i (мм/м)$ - потери напора на единицу длины воздуховода при $T=20^{\circ}C$ и $p=0,1 МПа$ (по таблице 5).

L_{mp} - длина воздуховода;

a_t - поправка на изменение температуры, равна 1,02;

a_p - поправка на изменение давления, равна 1,41.

Потери напора на местные сопротивления:

$$h_m = \xi \times v^2 \times r \times a_p \times a_v / 2g$$

где ξ - коэффициент, зависящий от вида местного сопротивления;

v - скорость движения воздуха.

Расчеты воздухопроводов сводим в таблицу.

Получаем $h_{mp} = 0,045(м)$; $h_m = 0,042(м)$

Требуемый общий напор

$$H_{общ} = h_{mp} + h_m + h_{\phi} + H_{ат} = 5,787(м)$$

Полное давление воздуха

$$p = 0,1 + 0,01 \times H_{общ} = 0,158 (Мпа)$$

Таблица 5

Уч.	Местное сопротивление	z	v, м/с	h_m , мм	L_{mp} , м	Q, м ³ /с	d, мм	i, мм/м	h_{mp} , мм
1-1	Два колена	0,6	12	11,60	50,0	4,26	700	0,16	11,51
1-2	Переход	0,08	11	2,92	18,0	3,195	600	0,21	5,44
	Тройник на проход	0,1							
2-3	Переход	0,08	10,5	2,66	18,0	2,13	500	0,19	4,92
	Тройник на проход	0,1							
3-4	Переход	0,08	9	6,30	33,0	1,065	400	0,18	8,54
	Колено	0,3							
	Задвижка	0,1							
	Тройник на проход	0,1							
4-5	Тройник на проход	0,1	8	0,86	30,0	0,533	300	0,24	10,36
5-6	Переход	0,08	7	10,39	3,0	0,355	250	0,25	1,08
	Тройник в ответвл	1,5							
6-7	Переход	0,08	6	7,15	7,0	0,178	200	0,25	2,52
	Колено	0,3							
	Задвижка	0,1							
	Выход из трубы	1							
	S=			41,9	S=				44,4

Воздуходувки выбираем по каталогу исходя из полного давления воздуха

$p_n = 0,158 (МПа)$ и расчетного расхода воздуха $D_{общ} = 11811 (м^3/ч)$. В здании

воздуходувной станции устанавливаем две рабочие и одну резервную воздуходувки типа ТВ-80-1,6. Производительностью 6000 ($m^3/ч$) каждая.

Задача 4. Необходимо рассчитать недостающие технологические параметры работы аэротенков по приведенным в таблице 6-12 данным и дайте оценку полученным результатам.

Таблица 6

Число коридоров аэротенка	Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Длина аэротенка, м
3	6	4,4	54

Таблица 7

Отчетный период, сут.	Работало аэротенков	Очищено воды. тыс. m^3
30	5,7	2340

Таблица 8

Температура поступающей воды, $^{\circ}C$	БПК ₅ , mgO_2/l	ХПК, mgO_2/l	Взвешенные вещества, mg/l
20	214	283	190

Таблица 9

БПК очищенной воды, mgO_2/l	ХПК, mgO_2/l	Вынос ила, mg/l	Азот нитритов, mg/l	Азот нитратов, mg/l
13	96	18	0,8	3,9

Таблица 10

Доза ила в аэротенке, g/l	Доза ила в регенераторе, g/l	Иловый индекс, ml/g	Зольность ила, %
1,8	5,9	96	29

Таблица 11

Растворенный кислород в аэротенке, мг/л	Растворенный кислород в регенераторе, мг/л	Растворенный кислород в очищенной воде, мг/л	Прирост активного ила, т/100 тыс. м ³ воды
7,2	1,6	5,7	17,8

Таблица 12

Расход возвратного ила, тыс.м ³ за месяц	Подано воздуха, тыс.м ³ за месяц	Затрачено электроэнергии, тыс.кВт·ч за месяц
936	21294	548

Решение задачи. В условии задачи представлены средние отчетные данные о работе аэротенков за один месяц их эксплуатации. По характеристикам качества очищенной сточной воды можно видеть, что была достигнута полная биологическая очистка, при этом развивался процесс нитрификации.

Проанализировать данные о работе сооружения - значит показать соответствие (или несоответствие) всех технологических параметров, характеризующих происходящие в нем процессы. Поэтому в первую очередь необходимо подсчитать все не приведенные в условии задачи технологические показатели и на основе их дать комплексную оценку работе сооружения.

Пользуясь отчетными данными, определим расчетным путем следующие технологические показатели:

1. Средняя продолжительность аэрации. Объем одного аэротенка

$$W = 6 \cdot 4,4 \cdot 54 \cdot 3 = 4276,8 \approx 4277 \text{ м}^3.$$

Общий объем всех ежесуточно работавших аэротенков

$$W_{\text{общ}} = 4277 \cdot 5,7 = 24379 \text{ м}^3.$$

Среднечасовой приток воды в аэротенки определится делением общего количества обработанной воды на число часов работы в отчетном периоде:

$$q_w = Q_{\text{общ}} / 30 \cdot 24 = 2340 / 720 = 3250 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Средняя продолжительность аэрации:

$$t = W_{\text{общ}} / Q_w = 24379/3250 = 7,5 \text{ ч.}$$

2. Время пребывания воды в собственно аэротенке. Рассчитаем объем собственно аэротенка $W_{\text{ат}}$, принимая во внимание, что по условию задачи объем регенератора составляет 33%:

$$W_{\text{ат}} = W_{\text{общ}} \cdot 0,67 = 24379 \cdot 0,67 = 16334 \text{ м}^3.$$

Часовой расход циркуляционного ила

$$Q_i = 936000/720 = 1300 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Наконец, продолжительность пребывания воды в собственно аэротенке $t_{\text{ат}}$ можно подсчитать делением его объема на сумму часовых притоков сточной воды и циркуляционного ила:

$$t_{\text{ат}} = W_{\text{ат}} / (q_w + Q_i) = 16334 / (3250 + 1300) = 3,6 \text{ ч.}$$

3. Время пребывания циркуляционного ила в регенераторе. Объем регенератора W_r составляет 33% общего объема аэротенков:

$$W_r = 0,33 \cdot 24379 = 8045 \text{ м}^3.$$

Тогда время регенерации активного ила

$$t_r = W_r / Q_p = 8045/1300 = 6,2 \text{ ч.}$$

4. Общее время окисления снятых загрязнений определяется по формуле

$$t_o = t_{\text{ат}} + t_r = 3,6 + 6,2 = 9,8 \text{ ч.}$$

5. Нагрузка по БПК₅ на единицу объема аэротенка рассчитывается по формуле:

$$N_w = 24 \cdot \text{БПК}_5 / t = 24 \cdot 214 / 9,8 = 685 \text{ г}/(\text{м}^3/\text{сут}).$$

6. Средняя доза ила в системе:

$$a_{\text{ср}} = a_{\text{ат}} \cdot 0,67 + a_r \cdot 0,33 = 1,8 \cdot 0,67 + 5,9 \cdot 0,33 = 3,15 \text{ г}/\text{л}.$$

7. Нагрузка на 1 г беззольного вещества активного ила по БПК₅ рассчитывается по формуле:

$$N_i = N / a_{\text{ср}}(1-S) = 685 \cdot 1000 / 3150 \cdot (1-0,29) = 306 \text{ мг}/\text{г беззольного вещества ила в сутки}.$$

8. Снятая нагрузка или окислительная мощность 1 г беззольного вещества активного ила по БПК₅ определяется по формуле

$q_i = (L_{en} - L_{ex}) \cdot 24/a_{cp} (1-S) \cdot t = 4824/3,15 \cdot 0,71 \cdot 7,5 = 288$ мг/г беззольного вещества
ила в сутки.

9. Удельная скорость окисления органических загрязнений определяется по формуле

$$\rho = 288/24 = 12 \text{ мг БПК}_5/\text{г беззольного вещества ила в час.}$$

10. Расход воздуха на очистку одного кубического метра воды рассчитывают по формуле

$$q_{air} = 21294/2340 = 9,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

11. Расход воздуха на 1 кг снятой БПК₅ определяется по формуле

$$q_{БПК} = q_{air} / \text{БПК}^{\text{пост}} - \text{БПК}^{\text{вых}} = 9,1 / (0,214 - 0,013) = 45,2 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

12. Интенсивность аэрации определяется по формуле

$$I_a = q_{air} \cdot N_{at} / t = 9,1 \cdot 4,4 / 7,5 = 5,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ ч}).$$

13. Процент использования кислорода воздуха.

Этот показатель определяется из отношения количества кислорода необходимого для очистки, к количеству поданного, принимаемого за 100%.

Подсчитаем количество использованного кислорода. Поданный кислород был использован на снижение БПК, нитрификацию аммонийного азота и насыщение очищенной воды растворенным кислородом. При определении количества кислорода на окисление органических загрязнений правильной пользоваться величиной БПК_{полн}. При отсутствии экспериментальных данных для пересчета можно воспользоваться следующими коэффициентами для городских сточных вод: для поступающей воды - 1,16; для очищенной - 1,67. Следовательно, для поступающей воды величина БПК_{полн} равна $214 \cdot 1,16 = 248$ мг/л, для очищенной - $13 \cdot 1,67 = 22$ мг/л. Снижение БПК_{полн} составило $(248 - 22) = 226$ мг/л.

На нитрификацию 1 мг азота до нитритов затрачивается 3,4 мг кислорода, а до нитратов - 4,57 мг. Всего на процесс нитрификации затрачено кислорода $(3,4 \cdot 0,8 + 4,57 \cdot 3,9) = 20,5$ мг/л.

В целом, при очистке воды с учетом растворенного кислорода в очищенной воде было использовано кислорода: $226+20,5+5,7=252$ мг/л или 252 г/м³.

Подсчитаем количество поданного кислорода, принимая, что при 20°C плотность воздуха равна 1,205 г/л. Содержание кислорода в воздухе (по массе) составляет 23,1%. Следовательно, на один кубический метр обрабатываемой воды было подано кислорода $1,205 \cdot 9100 \cdot 0,231 = 2533$ г.

Процент использования кислорода воздуха при этом составит $252 \cdot 100 / 2533 = 9,9\%$.

14. Затраты электроэнергии на 1 кг снятой БПК₅ равны $548000 / 2340 (214-13) = 1,17$ кВт·ч/кг.

Выполненные расчеты позволяют в совокупности с отчетными данными о работе аэротенков дать оценку эффективности работы сооружения.

На очистку поступала вода со средней концентрацией загрязнений. Из общей суммы органических веществ, учтенных величиной ХПК, биохимически окисляемые вещества по БПК₅ составляют более 75%. Этот показатель является предпосылкой возможности глубокой очистки сточной воды. Однако концентрация взвешенных веществ (190 мг/л) выше норм (150), принятых для аэротенков. Повышенная концентрация взвешенных веществ может быть результатом недостаточной эффективности работы первичных отстойников и приводит к увеличению прироста активного ила.

Аэротенки работают в условиях средней нагрузки на активный ил (306 мг БПК₅/г беззольного вещества ила в сутки) и очень хорошего кислородного режима. Об этом свидетельствует концентрация растворенного кислорода в системе. Даже в регенераторе, при высокой дозе ила - 5,9 г/л, удалось поддержать концентрацию кислорода на уровне 1,6 мг/л, что достаточно для поддержания условий аэробно-биологического процесса.

Условия работы аэротенков - высокое соотношение БПК и ХПК, умеренные нагрузки на активный ил, хороший кислородный режим, высокая

интенсивность аэрации - обеспечили полную очистку воды и развитие процессов нитрификации.

Несколько велик вынос ила - 18 мг/л. Поскольку седиментационные свойства ила удовлетворительны, о чем свидетельствует индекс ила - 96 мл/г, то полученный результат предположительно может быть объяснен неудовлетворительной эксплуатацией вторичных отстойников.

Следует обратить внимание на изменение соотношения величин БПК и ХПК в процессе очистки, снизившееся с 0,75 в поступающей до 0,14 в очищенной сточной воде. Такое снижение закономерно и свидетельствует о том, что в очищенной воде остались в основном биологически неокисляемые примеси.

Оценивая полученные результаты в целом, можно сделать следующие выводы:

- аэротенки работали удовлетворительно, обеспечивая полную биологическую очистку сточной воды и частичную нитрификацию аммонийного азота;
- следует обратить внимание на работу первичных и вторичных отстойников;
- затраты электроэнергии на очистку воды находятся в пределах обычной нормы (0,9-1,4) кВт·ч/кг БПК₅.

Для более полной оценки работы сооружения полезно сопоставить полученные эксплуатационные данные с расчетными параметрами сооружения. Сделаем некоторые проверочные расчеты, используя СНиП. Во всех последующих расчетах приведены ссылки на формулы СНиП и показаны лишь результаты расчетов по этим формулам.

1. По формуле (52) СНиП подсчитаем степень рециркуляции активного ила $R_i = 1,87(1000/96 - 1,8) = 0,21$.

Степень рециркуляции - это отношение расходов циркуляционного ила и сточной воды. По отчетным данным степень составляла: $1300/3250=0,4$. Эта же величина может быть подсчитана из балансового уравнения

$$R_i = (a_i - P_i) / (a_r - a_i) = (1,8 - 0,178) / (5,9 - 1,8) = 0,4.$$

Таким образом, два расчета, выполненные с использованием отчетных данных, дали один и тот же результат, тогда как при расчете по СНиП степень рециркуляции оказалась меньше почти в два раза. В соответствии с примечанием к п.6.145 СНиП степень рециркуляции не может быть меньше 0,3.

Такое несоответствие эксплуатационных данных расчетам по СНиП объясняется некорректностью формулы (52) СНиП, так как на практике величина $1000/J_i$, теоретически представляющая дозу возвратного ила, никогда не совпадает с реальным ее значением. Так, в нашем примере, доза возвратного ила (та же, что доза в регенераторе) составляет 5,9 г/л, тогда как по расчету СНиП - равна 10,4.

2. Подсчитаем необходимое время окисления загрязнений и время обработки в собственно аэротенке и регенераторе по формулам (54), (56) и (57) СНиП, учитывая реальные дозы ила, с которыми аэротенк работал в действительности. Предварительно по формуле (49) СНиП подсчитаем удельную скорость окисления в мг БПКполн на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч: $p = 20,8$. Скорость подсчитана при дозе ила в регенераторе, в котором происходят основные окислительные процессы, равной 5,9 г/л.

$$\text{Время окисления } t_o = (248 - 22) / 0,4 \cdot 5,9 \cdot (1 - 0,29) \cdot 20,8 = 6,5 \text{ ч.}$$

$$\text{Время обработки воды в аэротенке: } t_{at} = 2,5 / 1,8^{0,5} \cdot \lg(248/22) = 2 \text{ ч.}$$

$$\text{Время регенерации ила } t_r = 6,5 - 2 = 4,5 \text{ ч.}$$

Сравнивая реальные показатели времени с расчетами по СНиП, можно видеть, что собственно очистка воды в аэротенке продолжалась значительно дольше, чем рекомендуется нормами: 3,6 ч вместо 2 ч. Окисление загрязнений также продолжалось дольше - 9,8 ч против 6,5 ч. Можно ожидать, что следствием такого увеличения времени обработки воды по сравнению с расчетным может быть снижение прироста ила в результате частичного его самоокисления.

3. Рассмотрим до отчетным данным и по СНиП, каким был и каким мог ожидать прирост ила. В реальных условиях прирост ила составил, 178 мг/л. По формуле (60) СНиП прирост оказался равным $0,8 \cdot 190 + 0,3 \cdot 248 = 226$ мг/л.

Очевидно, в анализируемой системе наряду с очисткой воды происходят процессы минерализации активного ила. Ориентировочно степень окисления ила составляла $(226-178)100/226=21\%$.

4. Подсчитаем, сколько воздуха следовало подать в систему, учитывая его расход на нитрификацию и минерализацию ила. В числитель формулы (61) СНиП введем два дополнительных слагаемых: расход кислорода на нитрификацию 20,5 мг/л и на минерализацию $1,4 \cdot 48 \cdot (1-0,29) = 48$ мг/л,

где 1,4 - удельная теоретическая ХПК активного ила в мг/мг:

$$q_{\text{air}} = [1,1(248-22) + 20,5 + 48] / 1,47 \cdot 2,68 \cdot 1 \cdot 0,85 (11,1-2) = 9,6 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Рассчитанное значение несколько выше, чем получено на практике - 9,1 м³/м³. Такое несовпадение может объясняться отличием реальной концентрации кислорода в системе и принятой по СНиП. Кроме того, теоретическая величина удельной ХПК ила может отличаться от действительной. Тот и другой фактор при их учете приведут к снижению расчетного значения удельного расхода воздуха и к сближению расчетной и реальной величин.

Расчет вторичных отстойников

Количество вторичных отстойников принимаем равным числу первичных отстойников $n = 3$.

Площадь одной секции при их общем количестве:

$$F = q_{расч}/n \times q_{ssa} = 1025,9 \text{ (м}^2\text{)}.$$

По расчёту диаметр отстойника будет равен **20,9 м**.

Принимаем отстойники по типовому проекту со следующими размерами: диаметр $D = 24,00 \text{ м}$; глубина отстойника с осадочной части $H_m = 3,7 \text{ (м)}$; глубина проточной части $H_l = 3,1 \text{ м}$; объем зоны отстаивания $V_{от} = 1400,0 \text{ (м}^3\text{)}$; объем зоны накопления $V_n = 280 \text{ (м}^3\text{)}$ высота иловой зоны $h_{ил} = 0,6 \text{ (м)}$.