МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра водоотведения

Пояснительная записка к курсовому проекту:
«Очистка сточных вод города»

Выполнил студент ВиВ-4-1
Быков Д.Е.
Принял профессор
Саломеев В.П.

Москва, 2006

Содержание

Задание на проектирование	3
1. Определение количества сточных вод	4
2. Определение качества воды	4
3. Определение коэффициента смешения	5
4. Расчет сооружений по очистке сточных вод	6
4.1. Расчет решеток	6
4.2. Расчет песколовков	7
4.3. Расчет первичных отстойников	8
4.4. Расчет аэротенков	9
4.5. Расчет вторичных отстойников	13
4.6. Расчет биореакторов	13
5. Расчет сооружений по обработке осадков	14
5.1. Расчет илоуплотнителей	14
5.2. Расчет метантенков	15
5.3. Расчет аварийных иловых площадок	16
5.4. Расчет фильтр-прессов	16
6. Список литературы	17

Состав сточных вод и определение необходимой степени очистки.

1. Определение количества сточных вод.

Для начала найдём расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= Q_{\Gamma} \cdot Q_{\text{п/п}} = 42000 + 15000 = 57000 \text{ м}^3/\text{сут} \\ Q_{\text{ср}}^{\text{час}} &= \Sigma Q/24 = 57000/24 = 2375 \text{ м}^3/\text{час} \\ q_{\text{ср}}^{\text{сек}} &= Q_{\text{ср}}^{\text{час}}/3600 = 2375/3600 = 0,66 \text{ м}^3/\text{сек} = 660 \text{ л/с} \\ K_{\text{max}} &= 1,49 \\ Q_{\text{max}}^{\text{сек}} &= 0,66 \cdot 1,49 = 0,983 \text{ м}^3/\text{сек} = 983 \text{ л/с} \\ Q_{\text{max}}^{\text{час}} &= 0,983 \cdot 3600 = 3539 \text{ м}^3/\text{час} \\ Q_{\text{ср}}^{\text{час}}_{\text{п.п}} &= 15000/16 = 937,5 \text{ м}^3/\text{час}\end{aligned}$$

2. Определение качества воды.

Количество загрязнений, находящихся в бытовых сточных водах, по отдельным показателям определяют по табл. 25 СНИП 2.04.03-85. Зная норму водоотведения 290 л/чел-сут, и количество загрязнений a , приходящихся на 1 чел/сут, можно вычислить содержание их в единице объёма сточных вод, т.е. их концентрацию в мг/л:

$$P = a \cdot 1000/q$$

Получаем следующие концентрации загрязнений:

*	Взвешенные вещества.....	241
*	БПК _{полн} не осветлённой жидкости.....	278
*	Азот аммонийных солей.....	30
*	Фосфаты (в пересчёте на P ₂ O ₅).....	18
*	Хлориды.....	33,3
*	Поверхностно активные вещества.....	9,26

В городе находится промышленное предприятие. Концентрация загрязнений по взвешенным веществам и по БПК_{полн} для сточных вод этой фабрики равна:
Взвешенные вещества, мг/л – 117;
БПКп, мг/л – 130.

Концентрацию загрязнений на входе, содержащихся в городских сточных водах, поступающих на очистные сооружения, определяют по уравнению:

$$P_{\text{см}} = (P_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + P_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}})/(Q_{\text{быт}} + Q_{\text{пр}})$$

где $P_{\text{быт}}$, $Q_{\text{быт}}$ - концентрация загрязнений и расход бытовых сточных вод, мг/л; $P_{\text{пр}}$, $Q_{\text{пр}}$ - концентрация и расход производственных вод отдельных предприятий, мг/л.

Концентрация по БПКп :

$$P_{\text{см}} = (278 \cdot 42000 + 130 \cdot 15000)/(42000 + 15000) = 239 \text{ мг/л};$$

Концентрация по взвешенным веществам:

$$P_{\text{см}} = (241 \cdot 42000 + 117 \cdot 15000)/(42000 + 15000) = 208,4 \text{ мг/л}.$$

Получим следующие концентрации в мг/л:

- Взвешенные вещества.....208,4
- БПКп.....239

3. Определение коэффициента смешения.

Для расчёта разбавления сточных вод в реке используем метод Фролова-Родзиллера. Для учёта расхода реки, участвующего в смешении, т.е. процессов разбавления, вводят коэффициент смешения – a , показывающий какую часть расхода реки смешивается со сточной водой в данном створе.

Коэффициент смешения сточных вод с водой водоёма определяем по формуле:

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

где: $Q = 11 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход реки

$q = 0,66 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход сточных вод

$L_\phi = 13000 \text{ м}$ – длина русла от места выпуска сточных вод до расчётного створа

α – коэффициент, зависящий от гидравлических условий

Коэффициент a вычисляется по формуле:

$$\alpha = \xi \cdot \phi \cdot \sqrt[3]{E/q},$$

где ξ – коэффициент, учитывающий место расположения выпуска (для берегового $\xi = 1,0$);

ϕ – коэффициент извилистости русла, определяемый как отношение длины русла от выпуска до расчётного створа по фарватеру к расстоянию между этими сечениями по прямой;

$$\phi = 13000/8000 = 1,62$$

E – коэффициент турбулентной диффузии

Коэффициент E вычисляется по формуле:

$$E = v_{cp} \cdot H_{cp} / 200 = 0,7 \cdot 2 / 200 = 0,007$$

где v_{cp} – средняя скорость течения воды в реке; H_{cp} – средняя глубина реки.

$$\alpha = 1,0 \cdot 1,62 \cdot \sqrt[3]{0,007 / 0,66} = 0,36$$

Подставляя данные получим:

$$a = \frac{1 - e^{-0,36^3 \sqrt[3]{13000}}}{1 + \frac{11}{0,66} \cdot e^{-0,36^3 \sqrt[3]{13000}}} = 0,997$$

Кратность разбавления в расчетном створе

$$n = \frac{a \cdot Q + q}{q} = \frac{0,997 \cdot 11 + 0,66}{0,66} = 17,6 \text{ г/м}^3$$

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

$$m = p \cdot \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + b = 0,75 \cdot \left(\frac{0,997 \cdot 11}{0,66} + 1 \right) + 12 = 25,2 \text{ мг/л}$$

p – допустимое по санитарным условиям содержание взвешенных веществ в водоёме после спуска сточных вод, – 0,75

b – содержание взвешенных веществ в водоёме до спуска сточных вод.

Необходимая степень очистки по взвешенным веществам в %

$$\mathcal{E}^{66} = \frac{C_{см}^{66} - m}{C_{см}^{66}} \cdot 100\% = \frac{208,4 - 25,2}{208,4} \cdot 100 = 88\%$$

Допустимую величину БПК сточной жидкости при выпуске в водоём определяется по формуле:

$$L_{ст} = \frac{a \cdot Q}{q \cdot 10^{-k_{ст} \cdot t}} \cdot (L_{пр.доп} - L_p \cdot 10^{-k_p \cdot t}) + \frac{L_{пр.доп}}{10^{-k_{ст} \cdot t}}, \text{ где}$$

$k_{ст} = 0,15$; $k_p = 0,1$ – константы скорости потребления кислорода сточной и речной воды;

$L_{пр.доп}$ – предельно допустимая БПК смеси речной и сточной воды в расчётном створе;

$L_{пр.доп} = 3$ мг/л

L_p – БПК речной воды до места выпуска;

t – продолжительность перемещения воды от места выпуска СВ до расчётного створа:

$$t = \frac{L_\phi}{v_\phi} = \frac{13000}{0,7 \cdot 86400} = 0,215 \text{ суток}$$

$$L_{см} = \frac{0,997 \cdot 11}{0,66 \cdot 10^{-0,15 \cdot 0,215}} \cdot (3 - 1,4 \cdot 10^{-0,1 \cdot 0,215}) + \frac{3}{10^{-0,15 \cdot 0,215}} = 33,66 \text{ мг/л}$$

Необходимая степень очистки по БПК_{полн}

$$\mathcal{E}^{БПК} = \frac{239 - 33,66}{239} \cdot 100\% = 85,9\%$$

Необходимая степень очистки по кислороду

$$L_{см} = \frac{a \cdot Q}{0,4 \cdot Q} \cdot (O_p - 0,4 L_p - 4) - \frac{4}{0,4} \text{ Кислород } O_p = 6,1 \text{ мг/л } L_p = 1,4 \text{ мг/л}$$

$$L_{см} = \frac{0,997 \cdot 11}{0,66 \cdot 0,4} \cdot (6,1 - 0,4 \cdot 1,4 - 4) - \frac{4}{0,4} = 53,97 \text{ мг/л}$$

$$\mathcal{E}^{O_2} = \frac{239 - 53,97}{239} \cdot 100\% = 77,4\%$$

4. Расчет сооружений по очистке сточных вод.

4.1. Расчет решеток

Для улавливания из сточных вод крупных нерастворимых загрязнений применяем решетки. Они выполнены из прямоугольных металлических стержней. Прозоры между ними принимаем равными $b = 0,004$ мм. Для удобства съема загрязнений решетки устанавливаем под углом к горизонту 80 градусов.

При расчете решетки в начале определим общее количество прозоров n решетки по формуле:

$$n = \frac{q_{\max}}{b \cdot h_1 \cdot v_p} \cdot k_3, \text{ где}$$

q – максимальный расход сточных вод, м³/с

h_1 – глубина воды перед решеткой, принимаемой равной 1,5

v_p – средняя скорость в прозорах решетки, которая рекомендуется принимать равной 1 м/с

k_3 – коэффициент, учитывающий стеснение прозоров граблями и задержанными загрязнениями и равен 1,05

К установке принимаем 2 рабочих и 1 резервную решетки. Тогда расход на одну решетку составит:

$$Q_{реш} = \frac{0,982}{2} = 0,491 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$n = \frac{0,982}{0,004 \cdot 1,5 \cdot 1} \cdot 1,05 = 171,85 / 2 = 86 \text{ прозоров в 1 решетке}$$

Общая ширина решетки

$$B_p = S \cdot (n - 1) + b \cdot n = 0,008 \cdot (86 - 1) + 0,004 \cdot 86 = 1,024 \text{ м}$$

Принимаем типовую решетку МГ-6Т:

- номинальные размеры канала $B \times H$, 2000×2000
- ширина канала в месте установки решетки - 2290 мм
- число прозоров 84
- толщина стержней 8 мм
- радиус поворота 2850 мм
- скорость в канале 1,5 м/с

Принимаем 3 решетки (2 рабочих и 1 резервную).

Проверка условий:

$$V_p = \frac{Q_{реш} \cdot k_3}{h_k \cdot b_k \cdot n} = \frac{0,491 \cdot 1,05}{1,5 \cdot 0,004 \cdot 84} = 1,02 \text{ м/с}$$

Потери напора в решетках:

$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \rho$$

ξ – коэффициент местного сопротивления, принимаем равным 1,72;

V – скорость движения воды в камере перед решёткой, равная 1,02 м/с;

ρ – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решётки, принимается равным 3;

$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \rho = 1,72 \cdot \frac{1,02^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 3 = 0,27 \text{ м}$$

Определяем количество загрязнений, задерживаемых решетками

$$W = \frac{N_{np} \cdot 8}{1000 \cdot 365}, \text{ где}$$

N_{np} – приведенное число жителей

8 – кол-во отбросов на 1 чел в год

$$N_{np} = N_{ж} + N_{экс} = \frac{Q_{сут} \cdot 1000}{\Pi} = \frac{42000 \cdot 1000}{300} + \frac{15000 \cdot 1000}{65} = 140000 + 230770 = 370770 \text{ чел}$$

$$W = \frac{370770 \cdot 8}{1000 \cdot 365} = 8,13 \text{ м}^3/\text{сут}$$

При объемном весе отбросов 750 кг/м^3 вес их суточного количества будет равен

$$V = 8,13 \cdot 0,75 = 6,1 \text{ т/сут}$$

4.2. Песколовки

Для улавливания из сточных вод песка и других минеральных нерастворимых загрязнений с крупностью частиц свыше $0,2 \div 0,25$ мм применяем песколовки. К расчету применяем аэрируемую песколовку с прямолинейным движением. Число песколовок или отделений песколовки принимаем не менее 2-х, причем все песколовки должны быть рабочими.

В начале определяем площадь живого сечения одного отделения по формуле:

$$\omega = \frac{q_{\max.сек}}{Vs \cdot n} = \frac{0,982}{0,078 \cdot 2} = 6,3 \text{ м}^2, \text{ где}$$

q – максимальный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$

V – скорость течения сточных вод, при максимальном притоке принимаем равной 0,078 м/с (СНиП т.28)

n – количество отделений, равный 2.

$$H_s = 2,1 \text{ м}; B = 3 \text{ м}; B/H = 1,34 \quad K_s = 2,46; U_o = 18,7$$

$$L = \frac{1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot V_s}{U_0} = \frac{1000 \cdot 2,46 \cdot 2,1 \cdot 0,078}{18,7} = 21,5 \text{ м}$$

Принимаем песколовку:

пропускная способность 70000 м³/сут

Число отделений 2

Расчетный расход 0,982 м³/с

Длина 21,5 м

Ширина 3 м

Глубина 2,1 м

4.3. Первичные отстойники

Исходя из величины расхода сточных вод, принимаем к строительству первичные отстойники радиального типа.

При поступлении сточных вод с концентрацией взвешенных веществ $C_{в.в}^{см} = 208,4 \text{ мг/л}$, необходимо снизить их в первичных отстойниках до 100 – 150 мг/л и не более чем на 50% от исходной концентрации.

Тогда минимальный процент очистки от взвешенных веществ составит:

$$\mathcal{E}_{\min} = \frac{C_{см}^{вв} - C_g}{C_{см}^{вв}} \cdot 100\% = \frac{208,4 - 150}{208,4} \cdot 100 = 28\%$$

Максимальный эффект, который следует обеспечить в отстойниках, составляет:

$$\mathcal{E}_{\max} = \frac{C_{см}^{вв} - C_g}{C_{см}^{вв}} \cdot 100\% = \frac{208,4 - 100}{208,4} \cdot 100 = 52\%$$

Из практики работы первичных отстойников известно, что они способны устойчиво обеспечить эффект очистки в 40%. Этот эффект нас устроит, т.к. он находится между минимальным и максимальным эффектом, его и закладываем в расчет. Расчет отстойников ведем по СНиП 2.04.03-85.

Определяем гидравлическую крупность U_0 , выделяемых взвешенных веществ по формуле:

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot k_{set}}{t_{set} \left(\frac{H_{set} \cdot k_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \text{ где}$$

H_{set} – глубина проточной части в отстойнике, м, принимаем равной 3,1 м;

k_{set} – коэффициент использования объема проточной части отстойника, по СНиП т.31, принимаем равным 0,45;

t_{set} – продолжительность отстаивания соответствует заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое $h_1 = 0,5$ м;

n_2 – показатель степени, зависящей от агломерации взвеси в процессе осаждения.

По табл. СНиП II-32-74 определяем t_{set} при концентрации $C_{в.в}^{см} = 208,4 \text{ мг/л}$ и принятого эффекта осветления $\mathcal{E} = 40\%$, $t_{set} = 633 \text{ с}$. По СНиП 2.04.03-85 определяем показатель степени $n_2 = 0,31$.

Глубину проточной части отстойников назначаем глубиной типового отстойника. Строительная глубина большинства типовых отстойников составляет $H_{от} = 3,4$ м. Т.к. величина нейтрального слоя в отстойнике в соответствии СНиП 2.04.03-85 п.6.63, должна быть 0,3 м, то проточная глубина составит $H_{set} = 3,4 - 0,3 = 3,1$ м.

Коэффициент использования объема k_{set} принимаем по СНиП 2.04.03-85 т.31 в зависимости от выбранного типа отстойника, для радиального отстойника $k_{set} = 0,45$.

$$U_0 = \frac{1000 \cdot 3,1 \cdot 0,45}{633 \left(\frac{3,1 \cdot 0,45}{0,5} \right)^{0,31}} = 1,6 \text{ мм/с}$$

Т.к. величина U_0 получена для $T=20\text{ }^\circ\text{C}$, а нам надо для $T=10\text{ }^\circ\text{C}$, то приводим пересчет по формуле 31 СНиПа. Динамическая вязкость воды при $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ $\mu = 0,0101 \cdot 10^{-3}$, при $T=10\text{ }^\circ\text{C}$ $\mu = 0,0131 \cdot 10^{-3}$.

$$U_0^{10} = \frac{0,0101 \cdot 10^{-3}}{0,0131 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,0016 = 0,00123 \text{ м/с} = 1,23 \text{ мм/с}$$

Задаемся числом отстойников $n=4$.

Определим диаметр отстойника D_{set} по формуле при $V_{\text{tb}}=0$, тогда СНиПа 2.04.03-85

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{max}}}{n \cdot \pi \cdot (U_0 - V_{\text{tb}}) k_{\text{set}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,982}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,45(0,00123 - 0)}} = 23,8 \text{ м.}$$

Принимаем ближайший диаметр типового отстойника $D_{\text{min}} = 24 \text{ м.}$

4.4. Расчет аэротенка

Так как расход сточных вод составляет значительную величину ($57000 \text{ м}^3/\text{сут}$), то в качестве сооружений биологической очистки принимаем аэротенки. Поскольку БПК поступающих вод равно 239 мг/л , то в соответствии со СНиП стр. 35 п. 6.141 рассчитываем аэротенки с регенераторами.

Определяем БПК сточных вод, выходящих из отстойника. Она снижается на 20-25% по сравнению БПК воды, поступающей на отстаивание.

$$L_{\text{en}} = L \cdot (1 - 0,25) = 239 \cdot 0,75 = 179,3 \text{ мг/л}$$

Задаемся дозой ила в аэротенке: $a_i = 3 \text{ г/л}$ и иловый индексом $J=100 \text{ см}^3/\text{г}$

Тогда процент рециркуляции составит:

$$R = \frac{a}{\frac{1000}{J} - a} = \frac{3}{\frac{1000}{100} - 3} = 0,43$$

Рассчитываем БПК в начале аэротенка с учетом разбавления (СНиП стр.36)

$$L'_{\text{en}} = \frac{L_{\text{en}} + L_{\text{ex}} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{179,3 + 15 \cdot 0,43}{1 + 0,43} = 129,9 \text{ мг/л}$$

где: L_{ex} - БПК_{полн} очищенной воды, принимается равной 15 мг/л , т.к. очищать сточную воду до меньшей величины в аэротенках не целесообразно.

Рассчитываем время пребывания сточной воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \lg \frac{L'_{\text{en}}}{L_{\text{ex}}} = \frac{2,5}{3^{0,5}} \lg \frac{129,9}{15} = 1,35 \text{ ч}$$

Определяем дозу ила в регенераторе:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) = \left(\frac{1}{2 \cdot 0,43} + 1 \right) \cdot 3 = 6,49 \text{ г/л}$$

Определим удельную скорость окисления органических загрязнений:

$$\rho_0 = \rho_{\text{max}} \cdot \frac{L_{\text{ex}} \cdot C_0}{L_{\text{ex}} \cdot C_0 + k_e \cdot C_0 + k_0 \cdot L_{\text{ex}}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}$$

где: ρ_{max} - максимальная скорость окисления, $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$

C_0 - концентрация растворенного кислорода, мг/л (принимаем равной 2)

k_e - константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ

k_0 - константа, характеризующая влияние кислорода

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

$$\rho_{10} = 85 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 6,49} = 16,64 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$$

Определение продолжительности окисления органических загрязнений (СНиП т.54):

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho} = \frac{179,3 - 15}{0,43 \cdot 6,49 \cdot (1 - 0,3) \cdot 16,64} = 5,05 \text{ ч}$$

где: S – зольность ила, принимается равной 30% по т.40 СНиПа

Вычислим продолжительность регенерации:

$$t_r = t_0 - t_a = 5,05 - 1,35 = 3,7 \text{ ч}$$

Определим продолжительность пребывания воды в системе «аэротенк – регенератор»:

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_a + R_i \cdot t_r = (1 + 0,43) \cdot 1,35 + 0,43 \cdot 3,7 = 3,52 \text{ ч}$$

Определим объём аэротенка W_{at} СНиП ф.58 и регенератора W_r ф.59

$$W_a = t_a \cdot (1 + R_i) \cdot q_w = 1,35 \cdot (1 + 0,43) \cdot 3466 = 6691 \text{ м}^3$$

$$W_r = t_{a-r} \cdot R_i \cdot q_w = 3,52 \cdot 0,43 \cdot 3466 = 5246 \text{ м}^3$$

Определим суммарный объём аэротенка

$$W = W_a + W_r = 6691 + 5246 = 11937 \text{ м}^3$$

Проверим иловый индекс:

Определим иловой индекс активного индекса:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_a \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}} = \frac{1,43 \cdot 1,35 \cdot 3 + 0,43 \cdot 3,7 \cdot 6,49}{3,52} = 4,58 \text{ г/л}$$

$$q_{cp} = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{a-r}} = \frac{24 \cdot (179,3 - 15)}{4,58(1 - 0,3) \cdot 3,52} = 349,4 \text{ мг/(г} \cdot \text{сут)}$$

По т.41 СНиП определяем иловой индекс, который соответствует этой нагрузке:

$$J_i = 74,9 \text{ см}^3/\text{г}$$

Расчитанный иловый индекс не совпадает с принятым в начале расчета, поэтому продолжаем итерации.

Степень рециркуляции, который соответствует этому иловому индексу определяется по ф.52 СНиПа:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} = \frac{3}{\frac{1000}{74,9} - 3} = 0,29$$

Расчитываем БПК в начале аэротенка с учетом разбавления (СНиП стр.36)

$$L'_{en} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{179,3 + 15 \cdot 0,29}{1 + 0,29} = 142,4 \text{ мг/л}$$

Расчитываем время пребывания сточной воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \lg \frac{L'_{en}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{3^{0,5}} \lg \frac{142,4}{15} = 1,41 \text{ ч}$$

Определяем дозу ила в регенераторе:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) = \left(\frac{1}{2 \cdot 0,29} + 1 \right) \cdot 3 = 8,17 \text{ г/л}$$

Определим удельную скорость окисления органических загрязнений:

$$\rho_0 = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + k_e \cdot C_0 + k_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}$$

$$\rho_0 = 85 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 8,17} = 15,4 \text{ мг/(г} \cdot \text{ч)}$$

Определение продолжительности окисления органических загрязнений (СНиП т.54):

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho} = \frac{179,3 - 15}{0,29 \cdot 8,17 \cdot (1 - 0,3) \cdot 15,4} = 6,43 \text{ ч}$$

Вычислим продолжительность регенерации:

$$t_r = t_0 - t_a = 6,43 - 1,41 = 5,02 \text{ ч}$$

Определим продолжительность пребывания воды в системе «аэротенк – регенератор»:

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_a + R_i \cdot t_r = (1 + 0,29) \cdot 1,41 + 0,29 \cdot 5,02 = 3,27 \text{ ч}$$

Определим объём аэротенка W_a СНиП ф.58 и регенератора W_r ф.59

$$W_a = t_a \cdot (1 + R_i) \cdot q_w = 1,41 \cdot (1 + 0,29) \cdot 3466 = 6304 \text{ м}^3$$

$$W_r = t_{a-r} \cdot R_i \cdot q_w = 3,27 \cdot 0,29 \cdot 3466 = 3287 \text{ м}^3$$

Определим суммарный объём аэротенка

$$W = W_a + W_r = 6304 + 3287 = 9591 \text{ м}^3$$

Проверим иловый индекс:

Определим иловый индекс активного индекса:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_a \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}} = \frac{1,29 \cdot 1,41 \cdot 3 + 0,29 \cdot 5,02 \cdot 8,17}{3,27} = 5,31 \text{ г/л}$$

$$q_{cp} = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{a-r}} = \frac{24 \cdot (179,3 - 15)}{5,31 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,27} = 324,4 \text{ мг/(г} \cdot \text{сут)}$$

По т.41 СНиП определяем иловый индекс, который соответствует этой нагрузке:

$$J_i = 72,4 \text{ см}^3/\text{г}$$

Степень рециркуляции, которая соответствует этому иловому индексу определяется по ф.52 СНиПа:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} = \frac{3}{\frac{1000}{72,4} - 3} = 0,277$$

Рассчитываем БПК в начале аэротенка с учетом разбавления (СНиП стр.36)

$$L'_{en} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{179,3 + 15 \cdot 0,277}{1 + 0,277} = 143,7 \text{ мг/л}$$

Рассчитываем время пребывания сточной воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \lg \frac{L'_{en}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{3^{0,5}} \lg \frac{166,2}{15} = 1,42 \text{ ч}$$

Определяем дозу ила в регенераторе:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) = \left(\frac{1}{2 \cdot 0,277} + 1 \right) \cdot 3 = 8,42 \text{ г/л}$$

Определим удельную скорость окисления органических загрязнений:

$$\rho_0 = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + k_e \cdot C_0 + k_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}$$
$$\rho_0 = 85 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 8,42} = 15,23 \text{ мг/(г} \cdot \text{ч)}$$

Определение продолжительности окисления органических загрязнений (СНиП т.54):

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho} = \frac{179,3 - 15}{0,277 \cdot 8,42 \cdot (1 - 0,3) \cdot 15,23} = 6,61 \text{ ч}$$

Вычислим продолжительность регенерации:

$$t_r = t_0 - t_a = 6,61 - 1,42 = 5,19 \text{ ч}$$

Определим продолжительность пребывания воды в системе «аэротенк – регенератор»:

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_a + R_i \cdot t_r = (1 + 0,277) \cdot 1,42 + 0,277 \cdot 5,19 = 3,25 \text{ ч}$$

Определим объём аэротенка W_a СНиП ф.58 и регенератора W_r ф.59

$$W_a = t_a \cdot (1 + R_i) \cdot q_w = 1,42 \cdot (1 + 0,277) \cdot 3466 = 6285 \text{ м}^3$$

$$W_r = t_{a-r} \cdot R_i \cdot q_w = 3,25 \cdot 0,277 \cdot 3466 = 3120 \text{ м}^3$$

Определим суммарный объем аэротенка

$$W = W_a + W_r = 6285 + 3120 = 9405 \text{ м}^3$$

Проверим иловый индекс:

Определим иловой индекс активного индекса:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_a \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}} = \frac{1,277 \cdot 1,42 \cdot 3 + 0,277 \cdot 5,19 \cdot 8,42}{3,25} = 5,4 \text{ г/л}$$

$$q_{cp} = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{a-r}} = \frac{24 \cdot (179,3 - 15)}{5,4 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,25} = 321 \text{ мг/(г} \cdot \text{сут)}$$

По т.41 СНиП определяем иловой индекс, который соответствует этой нагрузке:

$$J_i = 72,1 \text{ см}^3/\text{г}$$

Степень рециркуляции, которая соответствует этому иловому индексу определяется по ф.52 СНиПа:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} = \frac{3}{\frac{1000}{72,1} - 3} = 0,276$$

Рассчитываем БПК в начале аэротенка с учетом разбавления (СНиП стр.36)

$$L'_{en} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{179,3 + 15 \cdot 0,276}{1 + 0,276} = 143,8 \text{ мг/л}$$

Рассчитываем время пребывания сточной воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \lg \frac{L'_{en}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{3^{0,5}} \lg \frac{143,8}{15} = 1,42 \text{ ч}$$

Определяем дозу ила в регенераторе:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) = \left(\frac{1}{2 \cdot 0,276} + 1 \right) \cdot 3 = 8,43 \text{ г/л}$$

Определим удельную скорость окисления органических загрязнений:

$$\rho_0 = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + k_e \cdot C_0 + k_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r}$$
$$\rho_0 = 85 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 8,43} = 15,22 \text{ мг/(г} \cdot \text{ч)}$$

Определение продолжительности окисления органических загрязнений (СНиП т.54):

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho} = \frac{179,3 - 15}{0,276 \cdot 8,43 \cdot (1 - 0,3) \cdot 15,22} = 6,63 \text{ ч}$$

Вычислим продолжительность регенерации:

$$t_r = t_0 - t_a = 6,63 - 1,42 = 5,21 \text{ ч}$$

Определим продолжительность пребывания воды в системе «аэротенк – регенератор»:

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_a + R_i \cdot t_r = (1 + 0,276) \cdot 1,42 + 0,276 \cdot 5,21 = 3,25 \text{ ч}$$

Определим объем аэротенка W_a СНиП ф.58 и регенератора W_r ф.59

$$W_a = t_a \cdot (1 + R_i) \cdot q_w = 1,42 \cdot (1 + 0,276) \cdot 3466 = 6280 \text{ м}^3$$

$$W_r = t_{a-r} \cdot R_i \cdot q_w = 3,25 \cdot 0,276 \cdot 3466 = 3109 \text{ м}^3$$

Определим суммарный объем аэротенка

$$W = W_a + W_r = 6280 + 3109 = 9389 \text{ м}^3$$

Проверим иловый индекс:

Определим иловой индекс активного индекса:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_a \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}} = \frac{1,276 \cdot 1,42 \cdot 3 + 0,276 \cdot 5,21 \cdot 8,43}{3,25} = 5,4 \text{ г/л}$$

$$q_{cp} = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{a-r}} = \frac{24 \cdot (179,3 - 15)}{5,4 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,25} = 321 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{сут})$$

По т.41 СНиП определяем иловой индекс, который соответствует этой нагрузке:

$$J_i = 72,1 \text{ см}^3/\text{г}$$

Процент регенерации составляет

$$P = \frac{3109}{9389} \cdot 100 = 33,1\%$$

Подбираем четыре секции 3-х коридорного аэротенка-вытеснителя с шириной каждого коридора 4,5м, длиной 54м, рабочей глубиной 3,2м и объемом каждой секции 2340 м³. Общий объем аэротенков 9360 м³.

4.5. Расчет вторичных отстойников

Из-за значительного расхода сточных вод вторичные отстойники проектируем радиального типа. Расчет ведется по нагрузке $q_{ssa} [м^3/(м^2 \cdot ч)]$ по СНиП ф.67. Принимаем H, м, ориентируясь на типовые отстойники. Строительная высота вторичных отстойников диаметром до 30 м равна 3,4 м, где $H_{set} = 3,4 - 0,3 = 3,1$ м

где: 0,3 – высота нейтрального слоя

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ss} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5 - 0,01 \cdot a_i}}$$

где: K_{ss} – коэффициент отстаивания объема зоны отстаивания, принимаемый для радиальных отстойников – 0,4;

a_i – следует принимать не менее 10 мг/л, принимаем 12 мг/л;

Значения J_i и a_i берем из расчета аэротенка ($J_i = 72,1 \text{ см}^3/\text{г}$, $a_i = 3 \text{ г}/\text{л}$)

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 3,1^{0,8}}{(0,1 \cdot 72,1 \cdot 3)^{0,5 - 0,01 \cdot 12}} = 1,38 [м^3/(м^2 \cdot ч)]$$

Определим площадь всех отстойников F, м²

$$F = \frac{Q_{\text{max.час}}}{q_{ssa}} = \frac{3539}{1,38} = 2565 [м^2]$$

Задаемся диаметром отстойников $D_{set} = 24$ м.

Определим площадь поверхности отстойника

$$F_{set} = \frac{\pi \cdot D_{set}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} = 452,2 [м^2]$$

Определим число отстойников

$$n = \frac{F}{F_{set}} = \frac{2565}{452,2} = 5,7 \approx 6 [шт.]$$

Принимаем 6 шт. типовых отстойников $D = 24$ м.

4.6. Расчет биореактора

В связи с тем, что расчет биореактора не указан в учебной литературе, мы воспользовались расчетом, основанным на опытных данных лаборатории МГСУ.

Рассчитываем общую площадь биореакторов:

$$F = \frac{q_{\text{час}}^{cp}}{q_6} = \frac{2375}{4} = 593,8 \text{ м}^2$$

q_6 - нагрузка на биореактор, принимается равной 2-6 м³/м²·ч.

Принимаю биореакторы размерами 9x18м, тогда количество биореакторов будет:

$$N = \frac{F}{9 \cdot 18} = \frac{593,8}{9 \cdot 18} \approx 4 \text{ шт}$$

5. Расчет сооружений по обработке осадков

Количество сырого осадка:

$$O_{\text{сyx}} = \frac{C_{\text{ex}} \cdot \Xi \cdot K}{1000 \cdot 1000} \cdot Q = \frac{208,4 \cdot 0,4 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1000} \cdot 57000 = 5,23 \text{ т/сут}$$

$K=1,1$; – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализов (равный 1,1 – 1,2);

$C_{\text{ex}}=208,4$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающие на первичные отстойники;

$Q=57000$ – средний расчетный расход сточных вод;

$\Xi=0,4$ – эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках;

Объем сырого осадка вычисляем по формуле:

$$V_{\text{oc}} = \frac{100 \cdot O_{\text{сyx}}}{(100 - B_{\text{л}}) \cdot \gamma} = \frac{100 \cdot 5,23}{(100 - 95) \cdot 1} = 104,6 [\text{м}^3 / \text{сут}]$$

$\gamma=1$ т/м² плотность осадка;

$B_{\text{л}}=95\%$ влажность сырого осадка.

Расход избыточного активного ила:

$$I_{\text{сyx}} = \frac{0,8 \cdot (1 - \Xi)C + a \cdot L_a - b}{1000 \cdot 1000} \cdot Q = \frac{0,8(1 - 0,4)208,4 + 0,3 \cdot 179,3 - 15}{1000 \cdot 1000} \cdot 57000 = 7,91 [\text{т} / \text{сут}]$$

a – коэффициент прироста активного ила (0,3 – 0,5), принимаем равным 0,3;

$L_a=179,3$ – БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной воды;

b – вынос активного ила из вторичных отстойников (12 –15 мг/л), принимаем равным 15 мг/л.

Объем избыточного активного ила:

$$V_{\text{ила}} = \frac{100 \cdot I_{\text{сyx}}}{(100 - B_{\text{л}}) \cdot \gamma} = \frac{100 \cdot 7,91}{(100 - 97,5) \cdot 1} = 316,4 [\text{м}^3 / \text{сут}]$$

$B_{\text{л}}=97,5\%$ – влажность неуплотненного активного ила.

Определение средней влажности смеси активного ила и сырого осадка :

$$B_{\text{л}} = 100 \left(1 - \frac{O_{\text{сyx}} + I_{\text{сyx}}}{V_{\text{oc}} + V_{\text{ила}}} \right) = 100 \left(1 - \frac{5,23 + 7,91}{104,6 + 316,4} \right) = 97 \%$$

5.1. Расчет илоуплотнителя

Рассчитываем прирост активного ила:

$$P = 0,8B_{\text{в}} + 0,3L_a$$

где $B_{\text{в}}$ – количество взвешенных веществ, поступающих в аэротенк;

L_a – БПК сточной воды, поступающей в аэротенк.

$$P = 0,8 \cdot 125 + 0,3 \cdot 179,3 = 153,8 \text{ мг/л}$$

Максимальный прирост:

$$P_{\max} = K \cdot \Pi = 1,2 \cdot 153,8 = 184,55 \text{ мг/л}$$

Максимальный приток избыточного активного ила при его концентрации $C=20\text{г/л}$

$$q_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot Q}{24C} = \frac{184,55 \cdot 57000}{24 \cdot 20000} = 21,92 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Предполагаем, что будут использованы два радиальных илоуплотнителя. Согласно СНиП 2.04.03-85 при $C=20\text{г/л}$ принимаем расчетную нагрузку на площадь зеркала уплотнителя $q \approx 0,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Полезная площадь поперечного сечения радиальных илоуплотнителей

$$F_{\text{пол}} = \frac{q_{\max}}{q} = \frac{21,92}{0,3} = 73 [\text{м}^2]$$

Диаметр радиального илоуплотнителя высчитываем

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{пол}}}{\pi \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 73}{3,14 \cdot 2}} = 6,8 \text{ м}$$

Принимаю два радиальных илоуплотнителя диаметром $D=9\text{м}$ (один рабочий и 1 резервный).

Необходимая высота рабочей зоны при продолжительности уплотнения 8ч составит $H=0,3 \cdot 8=2,4\text{м}$

Общая высота илоуплотнителя при использовании илососеба $H_0=2,4+0,3+0,3=3\text{м}$.

5.2. Расчет метантенка

Расчет метантенков заключается в определении необходимого их объема в зависимости от количества поступающего в них сырого осадка и избыточного активного ила. Расчёт расхода осадка и ила по беззольному веществу при зольности осадка $Z_{oc}=30\%$, зольности активного ила $Z_{ил}=25\%$ и гигроскопической влажности осадка и ила $B_{г}$ и $B_{г'}$ равной 5%:

$$O_{\text{без}} = \frac{O_{\text{сых}} \cdot (100 - B_{г})(100 - Z_{oc})}{100 \cdot 100} = \frac{5,23(100 - 5)(100 - 30)}{100 \cdot 100} = 3,48 \text{ т/сут}$$

$$I_{\text{без}} = \frac{I_{\text{сых}} \cdot (100 - B_{г})(100 - Z_{oc})}{100 \cdot 100} = \frac{7,91(100 - 5)(100 - 30)}{100 \cdot 100} = 5,26 \text{ т/сут}$$

$$M_{\text{без}} = O_{\text{без}} + I_{\text{без}} = 3,48 + 5,26 = 8,74 \text{ т/сут}$$

$$M_{\text{общ}} = V_{oc} + V_{ил} = 104,6 + 316,4 = 421 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$M_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + I_{\text{сух}} = 5,23 + 7,91 = 13,14 \text{ т/сут}$$

Средние значение зольности

$$Z_{ил} = 100 \left(1 - \frac{M_{\text{без}}}{O_{\text{сых}}(100 - B_{г})/100 + I_{\text{сых}}(100 - B_{г'})/100} \right)$$

$$Z_{ил} = 100 \left(1 - \frac{8,74}{5,23(100 - 5)/100 + 7,91(100 - 5)/100} \right) = 30 \%$$

Требуемый объём метантенка:

$$V_1 = \frac{M_{\text{общ}} \cdot 100}{D} = \frac{421 \cdot 100}{19} = 2216 \text{ м}^3$$

D – суточная доза загрузки осадка в метантенк, в %

При влажности исходной смеси 97% доза загрузки для термофильного режима составит $D=19\%$.

Принимаем 2 типовых метантенка $d=12,3\text{м}$, полезным объёмом одного резервуара 1000м^3 . Высота верхнего конуса 1,9 м, цилиндрической части 9,6 м, нижнего конуса 2,15 м.

Распад беззольного вещества:

$$R_r = R_{lim} - K_r * D = 47,6 - 0,17 * 19 = 44,37\%$$

$K_r = 0,17$ - коэффициент зависящий от влажности осадка (таблица 61 СНиП 2.04.03-85)

Максимально возможное сбраживания беззольного вещества осадка, т.е. предел сбраживания

$$R_{lim} = (a_o * O_{б\acute{e}з} + a_{и} * I_{б\acute{e}з}) / M_{б\acute{e}з} = (53 * 3,48 + 44 * 5,26) / 8,74 = 47,6\%$$

$a_o = 53\%$, $a_{и} = 44\%$ - пределы распада осадка и ила.

Выход газа:

$$\Gamma_{\sigma} = (R_{lim} - K_r * D) / 100 = (47,6 - 0,17 * 19) / 100 = 0,4437 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Суммарный выход газа:

$$\Gamma = \Gamma_{\sigma} * M_{б\acute{e}з} * 1000 = 0,4437 * 8,74 * 1000 = 3878 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Для выравнивания давления газа в газовой сети предусматриваем мокрые газгольдеры, вместимость которых V_{Γ} , рассчитывается на 2-4 часовой выход газа:

$$V_{\Gamma} = \frac{\Gamma \cdot T}{24} = \frac{3878 \cdot 4}{24} = 646,3 \text{ м}^3$$

Принимаем 2 газгольдера $V = 300 \text{ м}^3$ с внутренним диаметром резервуара 9,3 м, колокола 8,5 м, высота газгольдера 12,5 м, резервуара 5,92 м и колокола 6,88 м.

5.3. Расчет аварийных иловых площадок

Количество осадка $421 \text{ м}^3 / \text{сут}$ или $421 * 60 \text{ дней} = 25260 \text{ м}^3 / \text{год}$.

Принимаем иловые площадки на искусственном основании с дренажом.

Определим полезную площадь иловых площадок:

$$F_{пол} = \frac{V_{ос}}{q_{ил}}, \text{ где}$$

$V_{ос}$ – годовой объем осадка, $V_{ос} = 25260 \text{ м}^3 / \text{год}$.

$q_{ил}$ – нагрузка на площадку, составляющая $1,5 \text{ м}^3 / \text{м}^2$.

$$F_{пол} = \frac{25260}{1,5} = 16840 \text{ м}^2$$

Общая площадь иловых площадок составит:

$$F_{общ} = 1,2 * F_{пол} = 1,2 * 16840 = 20208 \text{ м}^2.$$

1,2 – коэффициент, учитывающий наличие пандусов и откосов.

Принимаем карты размером $40 * 100 \text{ м}$. Тогда число карт равно:

$$N = \frac{20208}{40 \cdot 100} \approx 6 \text{ шт}$$

5.4. Расчет фильтр-прессов

Расчет фильтр-прессов ведется по формулам, предоставленным лабораторией МГСУ.

Количество сухого вещества обезвоженного осадка в сутки определяется по зависимости:

$$W = \frac{M_{сух} (100 - P)}{100} = \frac{13,14(100 - 97)}{100} = 0,394 \text{ т} / \text{сут}$$

где $M_{сух}$ – количество осадка на станции;

P – среднее значение влажности.

Принимаем производительность фильтр-прессов $\Pi = 7 \text{ кг} / \text{ч}$ (по табл.62 СНиП).

При работе фильтр-прессов 8 часов в сутки необходимая площадь фильтров составит:

$$F = \frac{W}{\Pi \cdot t} = \frac{394}{7 \cdot 8} = 7,04 \text{ м}^2$$

Принимаю два рабочих и один резервный фильтр-пресс ФПАКМ-5У.

6.Список литературы

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. «*Водоотведение и очистка сточных вод*», Москва АСВ 2004;
2. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. «*Водоотведение и очистка сточных вод*», Москва Стройиздат 1996;
3. СНиП 2.04.03-85;
- 4.Лекции профессора Саломеева В.П.;