

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«20» января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению курсового проекта
по дисциплине (модулю)
«Технология удаления биогенных элементов из сточных вод»
основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
08.04.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080401-01-22

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний

Бурдова М.Г., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Задание на КП

№	Тема	Расход, м3/сут	Концентрация загрязнений, мг/л	Методика	Примечание
1	Биологическая очистка сточных вод с нитрификацией	90 тыс.	$T=14^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=180,$ $L_{\text{en}}=190$	Санкт-Петербург	
2	Биологическая очистка сточных вод с нитрификацией	130 тыс.	$T=14^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=170,$ $L_{\text{en}}=200$	Приложение к СНиП	
3	Биологическая очистка сточных вод с предшествующей денитрификацией	110 тыс.	$T=15^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=180,$ $L_{\text{en}}=210$	Санкт-Петербург	
4	Биологическая денитрификация с применением метанола	45 тыс.	$T=16^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=180,$ $L_{\text{en}}=240$	Приложение к СНиП	
5	Биологическая очистка сточных вод с предшествующей денитрификацией	60 тыс.	$T=13^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=140,$ $L_{\text{en}}=190$	Приложение к СНиП	
6	Биологическая денитрификация и дефосфатирование сточных вод	50 тыс.	$T=15^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{en}}=140, L_{\text{en}}=210$	Санкт-Петербург	
7	Химическое удаление фосфора из сточных вод	75 тыс.	$C_{\text{en}}=200,$ $L_{\text{en}}=200$ $\text{PO}_4^{3-} = 4$		Реагент $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; I отстойник
8	Химическое удаление фосфора из сточных вод	105 тыс.	$C_{\text{en}}=190,$ $L_{\text{en}}=220$ $\text{PO}_4^{3-} = 4,3$		Реагент $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; аэротенк
9	Биологическая очистка сточных вод с дефосфатированием	135 тыс.	$C_{\text{en}}=130,$ $L_{\text{en}}=200$ $\text{PO}_4^{3-} = 4,6$	Двухступенчатая биологическая очистка	

	ем				
1 0	Химическое удаление фосфора из сточных вод	140 тыс.	$C_{en}=190,$ $L_{en}=220$ $PO_4^{3-} = 3,8$		Реагент $FeCl_3$ во II отстойник
1 1	Химическое удаление фосфора из сточных вод	70 тыс.	$C_{en}=120,$ $L_{en}=170$ $PO_4^{3-} = 3,3$		Реагент $FeCl_3$ в доочистку на механическ их фильтрах

Расчет денитрификатора по методике Санкт –Петербурга.

Расчет базируется исходя из возврата активного ила средний возраст которого составляет 9-10 суток.

Расчетные формулы аналогичны, как при расчете нитрификатора, т.е. расчет базируется на параметрах: нагрузка на ил, возраст ила, удельный прирост активного ила при средней концентрации активного ила 3 кг/м³.

К тому же в этой методике предусматривается, что соотношения WDi Hдолжно составлять D/H=0.4/1

1. Расчет денитрификатора.

1.1. Задаемся возрастом активного ила 10 суток.

1.2. Принимаем технологическую схему N2.

2. Прирост активного ила определяется по формуле

$$P_i = \frac{(0,5C_{\text{адп}} + K_g L_{\text{ен}}) 1,1}{\theta^{\frac{1}{6}}} * 1,01; \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

3. Удельный прирост активного ила

4. Нагрузка на ил

5. Объем сооружения

$$W_{\text{ат}} = \frac{Q_w L_{\text{ен}}}{N_i a_i}$$

a_i – доза ила принимаемая 2,5 – 3,5 .

6. Объем денитрификатора

$$W_{\text{H}} = W_{\text{ат}} * 2,5$$

7. Продолжительность пребывания

$$t_{\text{ат}} = \frac{W_{\text{ат}}}{Q_w}$$

$$t_{\text{H}} = \frac{W_{\text{H}}}{Q_w}$$

8. Принимаем типовой аэротенк вытеснитель по справочнику проектировщика под редакцией Самохина

9. Определяем удельный расход воздуха

$$q_{\text{air}} = \frac{q_0 (L_{\text{ен}} - L_{\text{сх}})}{K_1 K_2 K_3 K_T (C_a - C_0)}$$

$K_1 K_2$ – принимаются по таблице 42, 43 СНиП .

K_3 – для городских сточных вод 0,85 .

$$K_T = 1 + 0.02(T_w - 20)$$

$$C_a = \left(1 - \frac{h_{\text{ат}}}{20.6}\right) C_T$$

10. Интенсивность аэрации

$$I = \frac{q_{\text{air}} h_{\text{ат}}}{t_{\text{ат}}}$$

11. Расход воздуха

$$Q_{air} = q_{air} Q_w$$

12. Подбираем воздухоувку вытеснитель по справочнику проектировщика под редакцией Самохина

Расчёт денитрификатора по методике приложения к СНиП.

Денитрификатор согласно приложению: аэротенк – вытеснитель или аэротенк – смеситель. Сам процесс – восстановительный процесс, требующий дополнительного внешнего источника энергии. Установлено, что для восстановления 1 часа азота нитратного требуется от 4 до 6 часов легкоокисляемых веществ БПК₅. К числу этих веществ относятся органические вещества такие, как метанол и этанол.

Расчёт производится на определении скорости реакции восстановления:

$$p_{dn} = p_{dn \max} \cdot \frac{(L_{ex} \uparrow dn)}{(L_{ex} \uparrow dn + K_{dn})} \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi_{dn} \cdot a_i} \right)$$

В зависимости от скорости окисления вычисляется продолжительность пребывания процесса в сооружении для аэротенка – вытеснителя и аэротенка – смесителя соответственно.

$$t_{atm} = \frac{L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn}}{p_{dn} \cdot a_i \cdot (1 - S)}$$

$$t_{at} = \left((L_{en}^{dn} - L_{ex}^{dn}) + 2,3 \cdot K_{dn} \cdot \frac{L_{en}^{dn}}{L_{ex}^{dn}} \right) \cdot \frac{1 + \varphi_{dn} \cdot a_i}{p_{max} \cdot a_i}$$

Расчёт предусматривает наличие после аэротенка резервуар по отдувки молекулярного азота в течение 0,5 – 1 часа. Этот резервуар устанавливается перед отстойниками, работающими в замкнутом цикле в денитрификаторе.

После расчёта находим объём и подбираем типовой аэротенк. Также подбирается воздуходувка для отдувки.

Расчет нитрификатора по методике Санкт –Петербурга.

Расчет нитрификатора базируется на взаимоувязывании основных технологических параметров, таких как: нагрузка на ил, возраст ила, удельный прирост ила. Взаимоувязывание выражается в том, что произведение этих показателей должно быть равно 1.

1. Нагрузка на ил:

$$N_i = \frac{Q_w L_{en}}{W_{at} a_{mid}}$$

2. Возраст ила:

$$\Theta = \frac{W_{at} Q_{mid}}{Q_w P_i}$$

3. Удельный прирост ила:

$$P_y = \frac{P_i}{L_{en}}$$

Где Q_w -суточный расход сточных вод.

L_{en} -концентрация БПК в воде, поступающей на очистку.

W_{at} -объем аэротенка.

a_{mid} - концентрация активного ила.

P_i -прирост активного ила.

$$N_i \Theta P_y = \frac{Q_w L_{en}}{W_{at} a_{mid}} \frac{W_{at} Q_{mid}}{Q_w P_i} \frac{P_i}{L_{en}} = 1$$

Следует отметить, что такое предположение о произведении таких показателей равно единице не учитывает таких показателей, как:

-концентрации БПК на выходе в очищенной воде;

-значение концентрации активного ила принято без учета его зольности.

Основным фактором среди принятых подразумевают возраст активного ила, то есть показатель Θ .

Так как бактерии нитрификаторы являются медленно растущими, то минимальная продолжительность возраста активного ила 5-6 суток. В среднем этот показатель составляет 7-8 суток. Возраст нитрификации зависит от температуры.

Таблица 1-Зависимость процесса нитрификации от температуры.

Температура, °С	11	13	15	17
Возраст ила, сут	7	6	5	4

Расчет биологической очистки нитрификацией по методике прил. к СНиП 2.04.03

Процесс нитрификации сопровождается образованием нитрифицирующего активного ила, то есть нитрификатора. Максимальный уровень скорости роста составляет $1,77 \text{ сут}^{-1}$. Такую скорость обеспечивают оптимальные параметры процесса, в том числе температура, рН-среды, насыщение кислородом воздуха, отсутствие токсичных веществ и другое. Протекание процесса исходя из этих условий должно производиться в аэротенке-смесителе.

При отсутствии органических веществ для протекания реакции нитрификации рекомендуется добавка неорганического углерода в виде HCO_3^- , исходя из дозы 2 мг/ 1 мг азота аммонийного NH_4^+ . Продолжительность процесса нитрификации в зависимости от условий протекания от 5 до 70 суток.

Исходя из возраста и удельной скорости нитрификации определяется скорость окисления веществ, продолжительность окисления в аэротенке-смесителе и его объем.

Алгоритм расчета нитрификатора.

1. Определение удельной скорости роста нитрификатора по формуле:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot k_{\text{pH}} \cdot k_t \cdot k_{\text{oc}} \cdot k_c \cdot N / (N + k_n)$$

где μ_{\max} – максимальная удельная скорость, составляющая $1,77 \text{ сут}^{-1}$;

k_{pH} – коэффициент, учитывающий влияние рН-среды и определяющийся по таблице 1;

k_t – коэффициент, учитывающий температуру сточной воды и определяющийся по таблице 2;

k_{oc} – коэффициент, учитывающий влияние концентрации раствора кислорода и определяющийся по формуле

k_c – коэффициент, учитывающий влияние токсичных веществ;

N – концентрация аммонийного азота в очищенной жидкости;

k_n – константа полу насыщения азотом аммонийным.

Таблица 1.

рН	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,4	9,0
k_{pH}	0,15	0,31	0,5	0,6	0,87	1,0	1,23

Таблица 2.

t	10	15	20	25	30
k_t	0,32	0,56	1,0	1,79	3,2

$$k_{\text{oc}} = \frac{C_o}{C_o + k'_o}$$

где C_o – концентрация растворенного кислорода в иловой смеси;

k'_o – константа насыщения.

2. Возраст активного ила определяется по формуле:

$$\theta = \frac{1}{\mu}, \text{сут}$$

3. Скорость окисления органических веществ определяется по формуле:

$$\rho = k_3 + 0,0417 * \frac{k_p}{\theta}, \text{ мг/(ч*час)};$$

где k_3 – коэффициент энергетический, составляющий 3,7 мг;

k_p – коэффициент роста микроорганизмов активного ила, составляющий 864 мгБПК/(г*час).

4. Доза активного ила определяется исходя из скорости окисления и составляет:

$$\rho = \frac{\rho_{\max} * (L_{ex} * C_O)}{L_{ex} * C_O + k_O * C_O + k_O * L_{ex}} * \frac{1}{1 + a_i * \varphi};$$

где ρ_{\max} – максимальная скорость окисления, определяющаяся по табл. 40, СНиП 2.04.03-85;

C_O – концентрация растворенного кислорода;

k_O – константа, характеризующая влияние кислорода и определяющаяся по таблице 40, СНиП 2.04.03-85;

φ – коэффициент ингибирования, определяющийся по таблице 40, СНиП 2.04.03-85;

a_i – доза активного ила.

5. Продолжительность окислителя в аэротенке-смесителе определяется по формуле:

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{\rho * a_i * (1 - S)}, \text{ ч.}$$

6. Объем аэротенка определяется по формуле:

$$W_{atmix} = t_{atm} * Q_w, \text{ м}^3.$$

Расчет аэротенка направлен на определение удельного расхода подаваемого воздуха, количества воздуха, требуемой воздуходувки и расчета вторичных отстойников по стандартной методике.

7. Помимо всего перечисленного определяется прирост избыточного активного ила по формуле:

$$k_g = 41,7 * t_{atm} * \frac{a_i}{L_{en} - L_{ex}} * \theta.$$

Определяется объем всего ила исходя из удельного прироста активного ила по формуле:

$$Q_i = \frac{k_g * Q_w * (L_{en} - L_{ex})}{10^6}, \text{ т/сут.}$$