

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/м<sup>3</sup>.

К тому же в этой методике предусматривается, что соотношения  $WDи$   $N_{до}$  должно составлять  $D/N=0.4/1$

### 1. Расчет денитрификатора.

1.1. Задаемся возрастом активного ила 10 суток.

1.2. Принимаем технологическую схему N2.

### 2. Прирост активного ила определяется по формуле

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

### 3. Удельный прирост активного ила

### 4. Нагрузка на ил

### 5. Объем сооружения

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

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

### 6. Объем денитрификатора

$$W_H = W_{at} * 2,5$$

### 7. Продолжительность пребывания

$$t_{at} = \frac{W_{at}}{Q_w}$$

$$t_H = \frac{W_H}{Q_w}$$

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

### 9. Определяем удельный расход воздуха

$$q_{air} = \frac{q_0 (L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_3 K_T (C_a - C_0)}$$

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

$K_3$  – для городских сточных вод 0,85 .

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

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

### 10. Интенсивность аэрации

$$I = \frac{q_{air} h_{at}}{t_{at}}$$

### 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  $BPK_5$ . К числу этих веществ относятся органические вещества такие, как метанол и этанол.

Расчёт производится на определении скорости реакций восстановления:

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

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  $\Theta$ .

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, °C	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, pH-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  $\text{HCO}_3^-$ , исходя из дозы 2 мг/ 1 мг азота аммонийного  $\text{NH}_4^+$ . 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  $\mu_{\max}$  – максимальная удельная скорость, составляющая  $1,77 \text{ сут}^{-1}$ ;

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

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

$k_{\text{oc}}$  – 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.

pH	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,4	9,0
$k_{\text{pH}}$	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:

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

где  $k_a$  – 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  $\rho_{\max}$  – 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;

$\varphi$  – 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:

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