

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

**Кафедра водоснабжения
и водоотведения**

**ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
КАНАЛИЗАЦИИ**

Часть 5. Расчет нитрификатора-денитрификатора.

Методические указания
к курсовому и дипломному проектам
для студентов специальности 290800
«Водоснабжение и водоотведение»
всех форм обучения.

Новосибирск – 2005 г.

Методические указания разработаны к.т.н. профессором Г.Т. Амбросовой, доцентом О.П. Цветковой, к.т.н. О.В.Ксенофонтовой, ассистентом Н.М. Гребенниковой., ассистентом Т.А. Бойко.

Утверждено методической
комиссией инженерно-
экологического факультета
« 15 » марта 2005

Рецензенты:

О.Г. Гириков к.т.н., доцент (НГАСУ)

Е.Л. Войтов к.т.н., доцент (НГАСУ)

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин).

Содержание.

Введение.

1. Механизм процесса нитрификации-денитрификации.
2. Возможные варианты удаления азота из сточной жидкости.
3. Пример расчета нитрификатора-денитрификатора по схеме «а»

4. Пример расчета нитрификатора-денитрификатора по схеме «в»

Список использованной литературы.

Приложение 1

Приложение 2

Приложение 3

Введение

Поступление в водоем со сточными водами биогенных веществ вызывает в нем нарушение естественного равновесия, в частности, их эвтрофикацию.

Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота.

Данные методические указания являются 5 частью проекта «Очистные сооружения канализации» и включают рекомендации по расчету сооружений удаления азота и подбору необходимого оборудования. Указания состоят из трех разделов, в которых рассмотрен механизм изъятия азота, приведены технологические схемы очистки, алгоритмы и примеры расчетов.

Методические указания рекомендуются для выполнения курсового и дипломного проектирования для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» всех форм обучения.

1. Механизм процесса нитрификации-денитрификации.

Процесс трансформации органического азота, поступающего с физиологическими выделениями человека и животных, начинается в канализационной сети. В результате аммонификации, протекающей под воздействием уробактерий, мочевины $\text{-CO(NH}_2)_2$ - основная составляющая мочи, гидролизуется с образованием углекислого аммония.



Углекислый аммоний диссоциирует на аммиак, углекислый газ и воду



В водном растворе аммиак присутствует в виде гидроксида аммония

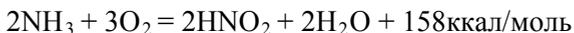


После полной аммонификации азот присутствует в сточной жидкости, в зависимости от значений pH, в виде аммиака (NH_3) или иона аммония (NH_4^+). При увеличении pH концентрация аммония (NH_4^+) снижается, а NH_3 увеличивается.

Сточная жидкость, поступающая на очистные сооружения канализации, содержит растворимые и нерастворимые вещества органического и минерального происхождения. Нерастворимые оседающие частицы органического и минерального происхождения задерживаются в песколовках и первичных отстойниках. В первичных отстойниках также происходит снижение азота органического, остаток которого в дальнейшем аммонифицируется в аэротенках. С осветленной сточной жидкостью в аэротенк направляются легко окисляемый органический субстрат, а также соединения азота, фосфора, серы и др.

В аэротенках облигатные аэробы и факультативные анаэробы окисляют легко окисляемый питательный субстрат до угольной кислоты, неустойчивого соединения, диссоциирующего на CO_2 и H_2O , при этом значения БПК_{полн} снижается до 15 мг/л. Если фактическая продолжительность нахождения сточной жидкости в аэротенке превышает расчетную, необходимую для снижения БПК_{полн} до 15 мг/л, в сооружении начинается процесс нитрификации, т.е. окисления азотсодержащих соединений.

Окисление азота осуществляется автотрофными облигатными аэробами, использующими для синтеза клетки неорганический углерод, присутствующий в сточной жидкости в виде CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} . Наиболее легкоусвояемой формой является бикарбонат. Окисление азота протекает в две стадии. На первой стадии образуются нитриты



В окислении азота аммонийного до NO_2^- принимают участие нитрозные бактерии (Nitrosomonas), имеющие грамотрицательный заряд. Нитриты относятся к неустойчивому соединению: при недостатке кислорода (0,5-1мг/л) они восстанавливаются до NO , N_2O , N_2 или NH_4^+ , а при его избытке (3-4мг/л) нитриты окисляются нитратными бактериями (Nitrobacter) до нитратов



В любой биологической системе в ходе изъятия загрязнений образуется избыточная биомасса. К сожалению, мнения по приросту активного ила в нитрификаторе расходятся. Одни исследователи считают, что прирост ила в нитрификаторе настолько мал, что им можно пренебречь. Другие исследователи настоятельно рекомендуют определять прирост из расчета 0,15мг ила на 1мг окисленного азота аммонийного. В рассматриваемых далее примерах прирост ила в нитрификаторе принят равным нулю.

На процесс нитрификации существенное влияние оказывает температура сточной жидкости, начальная концентрация азота аммонийного, растворенный кислород, доза ила и его зольность. Расчет нитрификатора, как и аэротенка, производится на самый неблагоприятный холодный период года. Концентрацию растворенного кислорода можно принимать равной 3-4мг/л. Зольность ила в нитрификаторе по сравнению с денитрификатором и аэротенком может быть выше на 5-10%.

В денитрификаторе при наличии питательного субстрата и циркулирующего активного ила, обогащенного нитратами, развивается процесс денитрификации, т.е. восстановление нитратов до элементарного азота.



В условиях острого дефицита кислорода (0,1-0,2мг/л) факультативные анаэробы способны использовать для дыхания связанный кислород нитратов. Поддержание активного ила во взвешенном состоянии производится мешалками. Не допускается перемешивание воздухом, так как микроорганизмы

активного ила очень быстро перестраиваются на использование свободного кислорода. В денитрификаторе необходимо поддерживать требуемое соотношение углерод- и азотсодержащих соединений. Это соотношение должно быть $\text{БПК}_{\text{полн}} : \text{N-NO}_3 = 3 \dots 6:1$, оптимальным является соотношение $\text{БПК}_{\text{полн}} : \text{N-NO}_3 = 4:1$. Процесс восстановления азота нитратного осуществляется факультативными анаэробами. При денитрификации в результате расщепления легко окисляемого субстрата сточная жидкость обогащается компонентами угольной кислоты (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}). В качестве питательного субстрата в денитрификаторе могут использоваться сточная жидкость, метанол (CH_3OH), этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), уксусная кислота (CH_3COOH) и другие карбоновые кислоты. При использовании метанола он окисляется до элементарных соединений, а нитраты восстанавливаются до N_2 .



Прирост активного ила в денитрификаторе некоторые исследователи рекомендуют определять из расчета 0,5 мг активного ила на 1 мг восстановленного азота нитратов. На наш взгляд, это ошибочные рекомендации, так как количество образующейся биомассы зависит от $\text{БПК}_{\text{полн}}$ сточной жидкости, поступающей в денитрификатор.

В рассматриваемых далее примерах прирост ила в денитрификаторе $(\text{Pi})_{\text{ден}}$ определяется в зависимости от вида органического субстрата:

- в случае использования метанола, уксусной кислоты, спиртов и др. прирост ила принят равным $\text{БПК}_{\text{полн}}$ поступающей сточной жидкости - $(\text{Pi})_{\text{ден}} \approx (\text{Len})_{\text{ден}}$

- при использовании сточной воды - он определяется по формуле определения прироста ила в аэротенках.

Если денитрификатор устанавливается на последней стадии очистки, то после него предусматривается постаэрактор с продолжительностью пребывания сточной жидкости в течение 0,5 - 1 часа для отдувки азота (N_2), который, попав во вторичный отстойник, затруднит осаждение активного ила. Отдувка производится воздухом, удельный расход которого составляет $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в час. В

после аэрации одновременно с отдувкой азота происходит частичное доокисление органических веществ, поступивших из денитрификатора в случае передозировки питательного субстрата.

2. Возможные варианты удаления азота из сточной жидкости.

Удаление азота методом нитрификации-денитрификации (по Людзак-Эттингеру) может осуществляться по трем схемам (рис.1).

При удалении из сточной жидкости азота *по схеме «а»* денитрификатор устанавливается в начале. При этом в качестве питательного субстрата используются загрязнения поступающей на очистку сточной жидкости. В случае недостатка питательного субстрата вводится искусственный субстрат. Если количество питательного субстрата сточной жидкости превышает количество, необходимое для восстановления поступающего в денитрификатор азота нитратного, то после денитрификации желательно предусмотреть аэротенк, в котором БПК_{полн.} сточной жидкости будет снижаться до 15 мг/л. Устройство нитрификатора на последней стадии очистки стоков не позволяет удалить из сточной жидкости азот, как *в схеме «б»*, а может лишь обеспечить полное окисление азота аммонийного до азота нитратного. Концентрация $N-NO_3$ в очищенной сточной жидкости зависит от степени рециркуляции активного ила: чем она выше, тем ниже концентрация азота нитратного.

Применяя технологическую *схему «б»*, в которой денитрификатор расположен в конце и применяется искусственный органический субстрат, из сточной жидкости можно удалить практически весь азот.

Схема «в» отличается от *схемы «б»* тем, что поступающая из первичных отстойников сточная жидкость делится на два потока: один направляется в аэротенк, другой – в

денитрификатор. При высоких значениях БПК_{полн.} осветленной сточной жидкости исключается применение искусственного питательного субстрата. Недостатком этой схемы является присутствие в очищенной сточной жидкости, сбрасываемой в водоем, азота аммонийного, поступившего в денитрификатор с осветленной водой. Его концентрация также зависит от степени рециркуляции.

В состав сооружений по удалению азота методом нитрификации-денитрификации входят: аэротенки, нитрификаторы, денитрификаторы, постаэраторы.

Расчет сооружений по удалению из сточной жидкости азота сводится к определению:

- объемов аэротенка, нитрификатора, денитрификатора, постаэратора;

- требуемого объема воздуха для аэротенка, нитрификатора и постаэратора;

- требуемого количества питательного субстрата для восстановления окисленной формы азота (NO_3^-) до элементарного (N_2);

- сухого вещества и объема избыточного ила, образующегося в аэротенках, нитрификаторах, денитрификаторах в результате изъятия из сточной жидкости органических загрязнений и азота.

Ниже приводятся алгоритмы расчета нитрификаторов-денитрификаторов по двум схемам («а» и «в»).

Расшифровка буквенных обозначений, использованных в расчетных формулах, приведена в алгоритме расчета по схеме «а».

При выполнении курсового проекта в полном объеме подбор воздуходувок производится с учетом расхода воздуха на все технологические нужды.

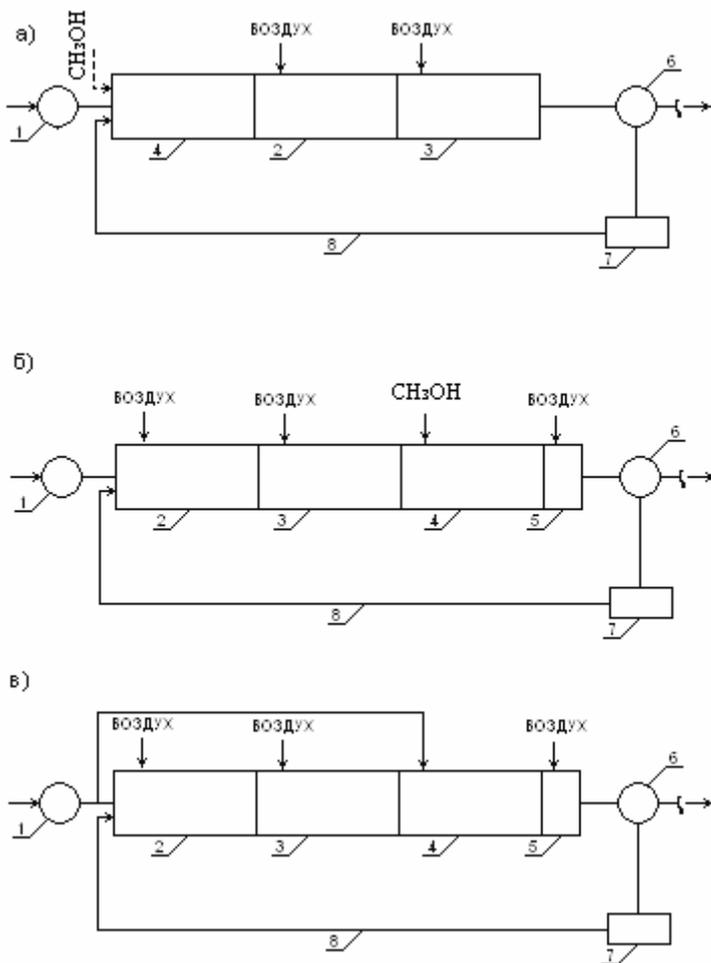


Рис. 1. Возможные схемы удаления из сточной жидкости азота методом нитрификации-денитрификации.
 1-первичный отстойник; 2-аэротенк; 3-нитрификатор;
 4-денитрификатор; 5-постаэратор; 6-вторичный отстойник;
 7-насосная станция циркулирующего активного ила;
 8-циркулирующий активный ил.

3. Пример расчета нитрификатора-денитрификатора по схеме «а».

Исходные данные.

$$Q_{\text{сут}} = 50 \text{ тыс. м}^3 \quad C_{N-NH_4} = 34 \text{ мг/л} \quad pH = 8$$

$$K_{\text{ген макс}} = 1,51 \quad C_{N-Nopz} = 4 \text{ мг/л} \quad \mathcal{E}_{\text{осв}} = 50\%$$

$$q_{\text{max}} = 3150 \text{ м}^3/\text{ч} \quad T_W^3 = 13^\circ\text{C} \quad C_{N-NH_4}^{\text{ПДК}} = 0,4 \text{ мг/л}$$

$$C_{\text{ен}} = 250 \text{ мг/л} \quad T_W^t = 21^\circ\text{C} \quad C_{N-NO_3}^{\text{ПДК}} = 9 \text{ мг/л}$$

$L_{\text{ен}} = 270 \text{ мг/л}$ Водоем рыбохозяйственного назначения
Категория водоема - I

3.1. Концентрация взвешенных веществ в сточной жидкости, поступающей в денитрификатор из первичных отстойников, работающих с $\mathcal{E}_{\text{осв}} = 50\%$.

$$C_{\text{сдп}} = \frac{C_{\text{ен}}(100 - \mathcal{E}_{\text{осв}})}{100} = \frac{250(100 - 50)}{100} = 125 \text{ мг/л}$$

3.2. Значение $BPK_{\text{полн}}$ сточной жидкости, поступающей в денитрификатор из первичных отстойников, работающих с $\mathcal{E}_{\text{осв}} = 50\%$.

$$L_{\text{сдп}} = L_{\text{ен}} - 0,01 C_{\text{ен}} \mathcal{E}_{\text{осв}} (1-s)$$

где s – зольность частиц, поступающих со сточной жидкостью в денитрификатор, принимается равной 0,25-0,3.

$$L_{\text{сдп}} = 270 - 0,01 \times 250 \times 50(1-0,3) = 183 \text{ мг/л}$$

3.3. Прирост активного ила в денитрификаторе и аэротенке.

$$Pi = 0,8 \cdot C_{\text{сдп}} + 0,3 \cdot L_{\text{сдп}}$$

$$Pi = 0,8 \cdot 125 + 0,3 \cdot 183 = 155 \text{ мг/л}$$

3.4.Количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в денитрификаторе и аэротенке

$$(\Delta N) = \Pi i \times M \times m(1 - s)$$

где $M^{ден, аэр}$ – доля микроорганизмов в активном иле, принимается равной 0,2-0,3;

m – доля азота в клетках микроорганизмов в пересчете на сухое вещество, принимается равной 0,05-0,15

$$(\Delta N)_{ден, аэр} = 155 \times 0,3 \times 0,1(1-0,3) = 3,3 \text{ мг/л}$$

3.5.Концентрация азота органического, поступающего в денитрификатор из первичного отстойника.

$$(C_{N-Nopz})_{cdp} = \frac{C_{N-Nopz}(100 - \xi_{ocв})}{100} = \frac{4(100 - 50)}{100} = 2 \text{ мг/л}$$

3.6.Требуемая степень рециркуляции активного ила в системе «вторичный отстойник – аэротенк - вторичный отстойник», обеспечивающая снижение N-NO₃ в очищенной сточной жидкости до значений, соответствующих ПДК (9мг/л), определяется из уравнения материального баланса по азоту.

$$C_{N-NO_3}^{ПДК} + \Delta N_{ден, аэр} + C_{N-NH_4}^{ПДК} = \frac{(C_{N-NH_4} + C_{N-Nopz})_{cdp}}{1 + Ri}$$

$$9 + 3,3 + 0,4 = \frac{34 + 2}{1 + Ri}; \quad Ri = 1,84$$

3.7.Количество азота нитратов, поступивших в денитрификатор из вторичного отстойника с рециркуляционным потоком.

$$A_{N-NO_3} = \frac{(C_{N-NO_3})_{ден} \times Q_{сум} \times Ri}{10^6}$$

$$A_{N-NO_3} = \frac{9 \times 50000 \times 1,84}{10^6} = 0,83 \text{ т/сут.}$$

3.8.Значение азота нитратного в сточной жидкости, поступающей в денитрификатор с учетом рециркуляционного потока.

$$(C_{N-NO_3})_{ден} = \frac{(C_{N-NO_3})_{ен} \times Q_{сум} + (C_{N-NO_3})_у \times Q_у}{Q_{сум} + Q_у}$$

где $(C_{N-NO_3})_{ен}$ и $(C_{N-NO_3})_у$ – концентрация азота нитратного соответственно в исходной сточной жидкости и в циркулирующем иле, составляет: $(C_{N-NO_3})_{ен} = 0$ мг/л, $(C_{N-NO_3})_у = 9$ мг/л;

$Q_{сум}$, $Q_у$ – расход сточной жидкости и циркулирующего ила.

$$Q_у = Q_{сум} \times R_i$$

$$(C_{N-NO_3})_{ден} = \frac{0 + 9 \times 50000 \times 1,84}{50000 + 96500} = 5,65 \approx 6 \text{ мг} / \text{л}$$

3.9. Количество загрязнений по БПК_{пол.}, затраченных в денитрификаторе на восстановление азота нитратного.

$$(A_L)_{вос.} = K_i^{ден} \times A_{N-NO_3} = 4 \times 0,83 = 3,32 \text{ т/сут.}$$

где $K_i^{ден}$ – коэффициент, принимаемый равным 4 для обеспечения полного восстановления нитратов до элементарного азота (БПК_{пол.}: $C_{N-NO_3} = 4:1$)

3.10. Количество загрязнений по БПК_{пол.}, поступающих в денитрификатор.

$$(A_L)_{ден} = \frac{L_{сдр} \times Q_{сум}}{10^6} = \frac{183 \times 50000}{10^6} = 9,15 \text{ т/сут.}$$

3.11. Количество загрязнений по БПК_{пол.}, поступающих в аэротенк.

$$(A_L)_{аэр} = (A_L)_{ден} - (A_L)_{вос} = 9,15 - 3,32 = 5,83 \text{ т/сут.}$$

3.12. Значение БПК_{пол} в сточной жидкости, поступающей в аэротенк.

$$(L_{ен})_{аэр.} = \frac{(A_L)_{аэр} \times 10^6}{Q_{сум}} = \frac{5,83 \times 10^6}{50000} \approx 117 \text{ мг} / \text{л}$$

3.13.Продолжительность обработки сточной жидкости в денитрификаторе.

$$t_{\text{ден}} = \frac{(C_{N-NO_3})_{\text{ен}}^{\text{ден}} - (C_{N-NO_3})_{\text{ex}}^{\text{ден}}}{a_i (1 - s_i^{\text{ден}}) \rho_{\text{ден}}} \times \frac{20}{T_W^3},$$

где $(C_{N-NO_3})_{\text{ен}}^{\text{ден}}$ и $(C_{N-NO_3})_{\text{ex}}^{\text{ден}}$ – концентрация нитратов соответственно на входе и выходе из него;

a_i –доза ила в денитрификаторе принимается равной 1-5г/л, рекомендуется принимать 2г/л (оптимальная концентрация);

$\rho_{\text{ден}}$ –скорость восстановления нитратов, принимается в зависимости от начального значения нитратов [2] табл. на стр. 303

$(C_{N-NO_3})_{\text{ен}}^{\text{ден}}$, МГ/Л	10	20	30	40	50	60	70	80
$\rho_{\text{ден}}$, МГ/(Г·Ч)	7,5	11, 5	13, 5	15	17	17, 5	18, 5	19

$s_i^{\text{ден}}$ –зольность активного ила, принимается 0,25-0,3;

T_W^3 –температура сточной жидкости для самого неблагоприятного холодного времени года, °С.

$$t_{\text{ден}} = \frac{6-0}{2 \cdot (1-0,3)} \cdot \frac{20}{7,5 \cdot 13} = 0,88 \text{ ч} \approx 0,9 \text{ ч}$$

3.14.Объем денитрификатора

$$W_{\text{ден}} = q_m \times t_{\text{ден}} (1 + R_i)$$

где q_m –средний расход сточной жидкости, поступающей на сооружения биологической очистки, при $t_{\text{ден}} = 0,9$ ч

$$q_m = q_{\text{max}} = 3150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$W_{\text{ден}} = 3150 \times 0,9 (1 + 1,84) = 80541 \text{ м}^3$$

3.15. Продолжительность обработки сточной жидкости в аэротенке

$$t_{at} = \frac{1 + \varphi \times a_i}{\rho_{max} C_0 a_i (1 - s_i)} \left[(C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_0 \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] \times K_p \times \frac{15}{T_w^3};$$

где φ – коэффициент ингибирования процесса биохимического окисления органических веществ продуктами распада активного ила, принимается равным 0,07л/г (табл.40[1]);
 ρ_{max} -максимальная скорость окисления органических веществ в аэротенке, принимается по табл.40[1] равной 85 мг БПК_{пол}/(г.ч);

C_0 -концентрация растворенного кислорода в аэротенке, принимается по СНиП [1] равной 2мг/л;

a_i –доза ила в аэротенке, принимается такой же, как и в денитрификаторе 1-5г/л;

s_i -зольность активного ила в аэротенке примерно равна зольности ила в денитрификаторе;

K_0 -константа, характеризующая влияние кислорода, принимается по табл.40[1];

L_{mix} -БПК_{пол} сточной жидкости с учетом разбавления рециркуляционным расходом

$$L_{mix} = \frac{L_{cdp} + L_{ex} \times R_i}{1 + R_i} = \frac{117 + 15 \times 1,84}{1 + 1,84} = 51 \text{ мг/л};$$

K_l – константа, характеризующая свойства органических загрязнений по БПК_{пол}, принимается по табл.40 [1];

K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания, принимается согласно рекомендациям [1] п.6.144.

$$t_{at} = \frac{1 + 0,07 \times 2}{85 \times 2 \times 2(1 - 0,3)} \left[(2 + 0,625)(51 - 15) + 33 \times 2 \ln \frac{117}{15} \right] \times 1,5 \times \frac{15}{13} = 1,35 \text{ ч}$$

3.16. Требуемый объем аэротенка

$$W_{at} = q_m \times t_{at} = 3150 \times 1,35 = 4253 \text{ м}^3$$

$$q_m = \frac{50000(6.3 + 6.3)}{2 \times 100} = 3150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3.17. Требуемая продолжительность нахождения сточной жидкости в нитрификаторе.

$$t_{num} = \frac{(C_{N-NH_4} + C_{N-Nopz})_{cdp} - (\Delta N)_{at, ден} - C_{N-NH_4}^{ПДК}}{a_i(1 - s_i^{num})\rho_{num}K_{pH}} \times \frac{20}{T_w^3},$$

где a_i – доза ила в нитрификаторе равна дозе ила в аэротенке и денитрификаторе, г/л;

s_i^{num} – зольность ила в нитрификаторе принимается выше, чем в аэротенке и денитрификаторе, поскольку процесс денитрификации сопровождается минерализацией органических веществ, однако, s_i^{num} для академического проекта можно принять равной 0,3;

ρ_{num} – скорость окисления азота аммонийного, принимается согласно рекомендациям [2], табл. на стр. 302;

C_{N-NH_4} , мг/л	90	70	50	30	20	5
ρ_{num} , мг/(г·ч)	22,5	19,5	15,6	11	4	2,5

K_{pH} – коэффициент, учитывающий влияние pH

pH	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----

K_{pH}	0,14	0,28	0,48	0,73	0,95	1,0	0,87	0,68
----------	------	------	------	------	------	-----	------	------

$$t_{num} = \frac{(34 + 2) - 3,3 - 0,4}{2(1 - 0,3) \times 12,38 \times 0,95} \times \frac{20}{13} = 3 \text{ ч}$$

3.18. Требуемый объем нитрификатора

$$W_{num} = q_m \times t_{num} = 3150 \times 3 = 9450 \text{ м}^3$$

3.19. Требуемый объем денитрификатора, аэротенка, нитрификатора

$$\sum W = 8051 + 4253 + 9450 = 21754 \text{ м}^3$$

3.21. Подбираем аэротенк-нитрификатор-денитрификатор.

Принимается 3 секции четырех коридорного аэротенка

(А-4-6-4,4) [2], табл.66.18

Ширина коридора -6 м	Длина секции – 72 м
Ширина секции - 24 м	Объем секции – 7600 м ³
Глубина секции -4,4 м	Общий объем – 22800 м ³

3.22. Размеры денитрификатора, аэротенка и нитрификатора

$$L = L_{общ} \cdot P_n;$$

где $L_{общ}$ – общая длина коридоров в секции, м.

$$L_{общ} = 72 \times 4 = 288 \text{ м.}$$

$$L_{ден} = 288 \times 0,37 = 107 \text{ м}$$

$$L_{ат} = 288 \times 0,2 = 57 \text{ м}$$

$$L_{нит} = 288 \times 0,43 = 124 \text{ м}$$

Распределение объемов сооружений приведено на рис.2

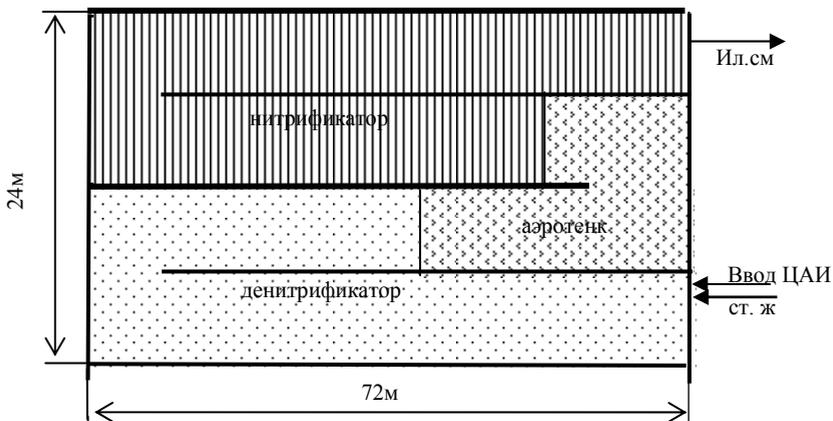


Рис.2. Распределение объемов сооружения между денитрификатором, аэротенком и нитрификатором.

3.23. Требуемый удельный расход воздуха в аэротенке и нитрификаторе

$$q_{air} = \frac{q_0 [(L_{cdp} - L_{ex}) + (L_{en}^{экв} - L_{ex}^{экв})]}{K_1 K_2 K_3 K_4 (C_a - C_0)}$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий тип аэратора; для мелкопузырчатой аэрации $K_1=1,34$ при соотношении $f_{air}/F_{at}=0,05$, табл.42 [1];

K_2 - коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора, при $H_{air}=4,4-0,2=4,2$ м $K_2=2,6$, где 4,4м-глубина аэротенка; 0,2м-высота расположения аэратора над дном аэротенка;

K_3 - коэффициент, учитывающий температуру сточной жидкости $K_3=1+0,02(T-20)=1+0,02(21-20)=1,02$;

K_4 – коэффициент качества воды, принимается равным 0,85 для хозяйственно-фекальных стоков;

$L_{en}^{экв}$ – количество кислорода, необходимое для полного окисления азота

$$L_{en}^{экв} = (C_{N-NH_4} + C_{N-Nop2} - \Delta N_{ден,аэп}) \cdot 3,43$$

$$L_{en}^{экв} = (34 + 2 - 3,3) \times 3,43 = 112 \text{ мг/л}$$

$L_{ex}^{экв}$ – количество кислорода, необходимое для окисления оставшегося азота

$$L_{ex}^{экв} = C_{N-NH_4}^{ПДК} \times 3,43 = 0,4 \times 3,43 = 1,4 \text{ мг/л};$$

C_a – растворимость кислорода в сточной жидкости при заданной температуре

$$C_a = C_m \left(1 + \frac{H_{air}}{20,6} \right) \frac{P_{атм}}{P_{норм}}$$

где C_m – растворимость кислорода воздуха в дистиллированной воде при самой неблагоприятной температуре (летний период), принимается по табл. 2. [4] (приложение 1).

$P_{атм.}$ – расчетное атмосферное давление района проектирования, принимается равным минимальному значению, например, для г.Новосибирска можно принять 720 мм рт. ст.;

$P_{норм.}$ – нормальное атмосферное давление равно 760 мм рт.ст.

$$C_a = 8,84 \left(1 + \frac{4,2}{20,6} \right) \times \frac{720}{760} = 10,1 \text{ мг/л}$$

$$q_{air} = \frac{1,1[(117 - 15) + (112 - 1,4)]}{1,34 \times 2,6 \times 1,02 \times 0,85(10,1 - 2)} = 9,7 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{ч}$$

3.24.Общий расход воздуха, подаваемый в аэротенк и нитрификатор

$$Q_{air} = q_{air} \times q_m = 9,7 \times 3150 = 30555 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3.25. Подбор воздуходувок. Количество воздуходувок с учетом их параллельной работы

$$N_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{air}}}{k \times Q_{\text{в}}}$$

где $Q_{\text{в}}$ – производительность воздуходувки, м³/ч;

k - коэффициент, вводимый при работе двух и более воздуходувок, принимается равным 0,8

Принимаем воздуходувки марки ТВ-175-1,6 (табл.V.28[3]) со следующими характеристиками: производительность – 10000 м³/ч, давление - 1,6 атм, мощность на валу электродвигателя – 250 кВт, число оборотов - 3290 об/мин

$$N_{\text{в}} = \frac{30555}{0,8 \times 10000} = 3,8 = 4 \text{ возд.}$$

3.26. Количество избыточного активного ила, удаляемого из биологической системы

$$\Delta P_i = P_i - a_t = 155 - 10 = 145 \text{ мг/л}$$

где a_t - вынос частиц активного ила из вторичных отстойников.

3.27. Суточное количество избыточного ила по сухому веществу

$$A_i = \frac{\Delta P_i \times Q_{\text{сум}}}{10^6} = \frac{145 \times 50000}{10^6} = 7,25 \text{ т/сут}$$

3.28. Объем избыточного активного ила

$$Q_i = \frac{100 \times A_i}{(100 - P_i)\gamma}$$

$$P_i = \left(1 - \frac{a_{\text{ил.кам}}}{1000} \right) 100$$

$$a_{\text{ил.кам}} = a_i \left(\frac{1 + R_i}{R_i} \right) = 2 \left(\frac{1 + 1,84}{1,84} \right) = 3,1 \text{ г/л}$$

$$P_i = \left(1 - \frac{3,1}{1000} \right) 100 = 99,69\%$$

$$Qi = \frac{100 \times 7,25}{(100 - 99,69) \times 1} = 2339 \text{ м}^3/\text{сут}$$

3.29. Подбор насосов циркулирующего активного ила [5],
Принимаем насос марки СД-800/32, мощностью 105 кВт, с
числом оборотов 960 об/мин.

$$N_{\text{нас}} = \frac{Ri \times Q_{\text{сут}}}{24 \times k_{\text{нас}} \times q_{\text{нас}}}$$

$k_{\text{нас}}$ - коэффициент, учитывающий совместную работу
нескольких насосов на один трубопровод, $k_{\text{нас}} = 0,8 \dots 0,9$.

$$N_{\text{нас}} = 1,84 \times 50000 / 24 \times 0,8 \times 800 = 6 \text{ нас.}$$

3.30. Подбираем мешалки для денитрификатора.

После построения балансовой схемы (рис.3, приложение 2)
производится уточнение расчетных параметров.

4. Пример расчета аэротенка, нитрификатора и денитрификатора по схеме «в».

Исходные данные.

$Q_{\text{сут}} = 50 \text{ тыс. м}^3$	$C_{\text{en}} = 200 \text{ мг/л}$	$T_{\text{w}}^3 = 12^0\text{C}$
$q_{\text{cp}} = 2083 \text{ м}^3/\text{ч}$	$L_{\text{en}} = 235 \text{ мг/л}$	$T_{\text{w}}^{\text{л}} = 23^0\text{C}$
$q_{\text{cp s}} = 579 \text{ л/с}$	$pH = 7$	$\mathcal{E}_{\text{осв}} = 60\%$
$K_{\text{gen max}} = 1,51$	$C_{\text{N-NH}_4} = 20 \text{ мг/л}$	$C_{\text{N-NH}_4}^{\text{ПДК}} = 2 \text{ мг/л}$
$q_{\text{max}} = 3150 \text{ м}^3/\text{ч}$	$C_{\text{N-NO}_2} = 2 \text{ мг/л}$	$C_{\text{N-NO}_3}^{\text{ПДК}} = 0 \text{ мг/л}$

4.1. Концентрация взвешенных веществ в сточной
жидкости, поступающей в аэротенк

$$C_{\text{cdp}} = \frac{C_{\text{en}} (100 - \mathcal{E}_{\text{осв}})}{100} = \frac{200(100 - 60)}{100} = 80 \text{ мг/л}$$

4.2.Значение БПК_{полн} сточной жидкости, поступающей в аэротенк

$$L_{cdp} = L_{en} - 0,01 C_{en} \cdot \Theta_{осв} (1-s) = 235 - 0,01 \cdot 200 \cdot 60 (1-0,3) = 151 \text{ мг/л}$$

4.3.Концентрация азота органического в сточной жидкости, поступающей в аэротенк.

$$(C_{N-Норг})_{cdp} = \frac{C_{N-Норг} (100 - \Theta_{осв})}{100} = \frac{2(100 - 60)}{100} = 0,8 \text{ мг/л}$$

4.4.Прирост активного ила в аэротенке.

$$(Pi)_{at} = 0,8 C_{cdp} + 0,3 L_{cdp} = 0,8 \times 80 + 0,3 \times 151 = 109 \text{ мг/л}$$

4.5.Количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в аэротенке.

$$\begin{aligned} (\Delta N)_{at} &= (Pi)_{at} \times M \times m (1-s) \\ (\Delta N)_{at} &= 109 \times 0,25 \times 0,105 (1-0,3) = 2 \text{ мг/л} \end{aligned}$$

4.6.Общее количество азота, поступающего в нитрификатор

$$\begin{aligned} (C_{N-Нобщ})_{нит} &= (C_{N-Норг})_{cdp} + C_{N-NH_4} - (\Delta N)_{at} \\ (C_{N-Нобщ})_{нит} &= 0,8 + 20 - 2 = 18,8 \text{ мг/л} \end{aligned}$$

4.7.Концентрация азота нитратного, поступающего в денитрификатор

$$(C_{N-NO_3})_{ден} = (C_{N-Нобщ})_{нит} = 18,8 \text{ мг/л}$$

4.8.Требуемое количество органических веществ (органический субстрат), направляемых в денитрификатор для полного восстановления NO_3^- до азота элементарного

$$\begin{aligned} (L_{en})_{ден} &= 4 \cdot (C_{N-NO_3})_{ден} \\ (L_{en})_{ден} &= 4 \times 18,8 = 75 \text{ мг/л} \end{aligned}$$

4.9. Количество осветленной сточной жидкости, направляемой в денитрификатор, определяется из уравнения материального баланса загрязнений

$$(L_{en})_{ден} \times Q_{сут} = L_{сдр} \times Q_{ден}$$

$$Q_{ден} = Q_{сут} (L_{en})_{ден} / L_{сдр}$$

$$Q_{ден} = 50000 \times 75 / 151 = 24834 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Тогда в аэротенк будет направляться:

$$Q_{ат} = Q_{сут} - Q_{ден} = 50000 - 24834 = 25166 \text{ м}^3/\text{сут}$$

4.10. Распределение сточной жидкости между аэротенком и денитрификатором в долях единицы:

$$G_{ден} = 24834 / 50000 = 0,497$$

$$G_{ат} = 25166 / 50000 = 0,503$$

4.11. Прирост ила в денитрификаторе

$$(Pi)_{ден} = 0,8 C_{сдр} + 0,3 (L_{en})_{ден}$$

$$(Pi)_{ден} = 0,8 \times 80 + 0,3 \times 75 = 87 \text{ мг/л}$$

4.12. Количество азота, пошедшего на синтез клеток микроорганизмов в денитрификаторе

$$(\Delta N)_{ден} = (Pi)_{ден} \times M \times m(1 - s)$$

$$(\Delta N)_{ден} = 87 \times 0,25 \times 0,1(1 - 0,3) = 1,5 \text{ мг/л}$$

4.13. Концентрация общего азота в денитрификаторе без учета рециркуляционного расхода

$$(C_{N-NH_4})_{ден} = C_{N-NH_4} + (C_{N-Nor})_{сдр} - (\Delta N)_{ден}$$

$$(C_{N-NH_4})_{ден} = 20 + 0,8 - 1,5 = 19,3 \text{ мг/л}$$

4.14. Требуемая степень рециркуляции, обеспечивающая на выходе из денитрификатора концентрацию азота аммонийного равную 2 мг/л, что соответствует заданному $C_{N-NH_4}^{ПДК}$ на сброс в водоем, определяется из уравнения материального баланса загрязнений

$$(C_{N-NH_4})_{ден} \times Q_{ден} = C_{N-NH_4}^{ПДК} \times Q_{сут}(1 + R_i)$$

$$R_i = \frac{(C_{N-NH_4})_{\text{ден}} \times Q_{\text{ден}}}{C_{N-NH_4}^{\text{ПДК}} \times Q_{\text{сум}}} - 1$$

$$R_i = \frac{19,3 \times 24834}{2 \times 50000} - 1 \approx 3,8$$

4.15. Общая продолжительность обработки загрязнений в аэротенке с регенератором при БПК_{пол} = 151 мг/л.

$$t_0 = \frac{L_{cdp} - L_{ex}}{a_r R_i (1-s) \rho} \times \frac{15}{T_w^3}$$

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

$$\rho = \rho_{\text{max}} \frac{L_{ex} \times C_0}{L_{ex} C_0 + C_0 K_c + L_{ex} K_0} \times \frac{1}{1 + \varphi \times a_r}$$

$$\rho = \frac{85 \cdot 15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 15 \cdot 0,625} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 2,3} = 20,8 \text{ мг/(г} \times \text{ч)}$$

$$t_0 = \frac{151 - 15}{2,3 \times 2(1 - 0,3) \times 20,8} \times \frac{15}{12} = 2,5 \text{ ч}$$

4.16. Продолжительность нахождения сточной жидкости в аэротенке

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{cdp}}{L_{ex}}$$

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \lg \frac{151}{15} = 1,8 \text{ ч.}$$

Принимаем $t_{at} = 2$ ч (п.6.143, приложение 2 [1]).

4.17. Продолжительность нахождения загрязнений в регенераторе

$$t_r = t_0 - t_{at}$$

$$t_r = 2,5 - 2 = 0,5 \text{ ч}$$

4.18. Продолжительность нахождения сточной жидкости в нитрификаторе

$$t_{num} = \frac{(C_{N-N_{общ}})_{num} - (C_{N-NH_4})_{ex}}{a_i(1-s_i^{num})\rho_{num}K} \times \frac{20}{T_W^3},$$

$$t_{num} = \frac{18,8 - 0}{2 \times (1 - 0,3) \times 3,88 \times 0,48} \times \frac{20}{12} = 12 \text{ ч}$$

4.19. Продолжительность обработки сточной жидкости в денитрификаторе.

$$t_{ден} = \frac{(C_{N-NO_3})_{ден} - C_{N-NO_3}^{ПДК}}{a_i(1-s_i^{ден})\rho} \times \frac{20}{T_W^3},$$

$$t_{ден} = \frac{18,8 - 0}{2 \cdot (1 - 0,3) \cdot 11,02} \cdot \frac{20}{12} = 2 \text{ ч}$$

4.20. Расчетный расход сточной жидкости, проходящий через денитрификатор

$$(q_m)_{ден} = \frac{Q_{сум} (P_1 + P_2 + \dots + P_n)}{T \times 100}$$

P_1, P_2, \dots, P_n – принимаются аналогично расчету аэротенка в примере 4.

$$(q_m)_{ден} = \frac{50000(6,3 + 6,3)}{2 \times 100} = 3150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.21. Расчетный расход сточной жидкости, направляемой в аэротенк

$$(q_m)_{ат} = G_{ат} \times (q_m)_{ден},$$

$$(q_m)_{ат} = 0,503 \times 3150 = 1585 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.22. Расчетный расход осветленной сточной жидкости, направляемой в денитрификатор

$$(q_m^{осв})_{ден} = (q_m)_{ден} - (q_m)_{ат}$$

$$(q_m^{ocв})_{ден} = 3150 - 1585 = 1565 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.23. Требуемый объем регенератора

$$W_r = (q_m)_{at} \times t_r \times R_i$$

$$W_r = 1585 \times 0,5 \times 3,8 = 30112 \text{ м}^3$$

4.24. Требуемый объем аэротенка

$$W_{at} = (q_m)_{at} \times t_{at} (1 + R_i)$$

$$W_{at} = 1585 \times 2(1 + 3,8) = 15216 \text{ м}^3$$

4.25. Требуемый объем нитрификатора

$$W_{нит} = (q_m)_{нит} \times t_{нит}$$

$$(q_m)_{нит} = (q_m)_{at}$$

$$W_{нит} = 1585 \times 12 = 19020 \text{ м}^3$$

4.26. Требуемый объем денитрификатора

$$W_{ден} = (q_m)_{ден} \times t_{ден}$$

где $(q_m)_{ден} = (q_m)_{at}$, т.к. концентрация азота нитратного в расчетной формуле принята без учета его количества в органическом субстрате.

$$W_{ден} = 1585 \times 2 = 3170 \text{ м}^3$$

4.27. Требуемый объем постаэрата

$$W_{пост} = (q_m)_{пост} \times t_{пост}$$

$$W_{пост} = 3150 \times 1 = 3150 \text{ м}^3$$

4.28. Общий объем регенератора, аэротенка, нитрификатора, денитрификатора, постаэрата

$$W = W_r + W_{at} + W_{нит} + W_{ден} + W_{пост}$$

$$W = 30112 + 15216 + 19020 + 3170 + 3150 = 43568 \text{ м}^3$$

4.29. Доля каждого сооружения от общего объема

$$P_{at} = 15216 / 43568 = 0,35; \quad P_r = 30112 / 43568 = 0,07;$$

$$P_{нит} = 19020 / 43568 = 0,44; \quad P_{ден} = 3170 / 43568 = 0,07;$$

$$P_{пост} = 3150 / 43568 = 0,07$$

4.30. Подбираются размеры сооружения.

Принимается 5 секций трех коридорного аэротенка А-3-9-4,4

Объем секции - 9270 м^3

Общий объем – 46350 м^3

Длина сооружения – 78 м

4.31. Размеры каждого сооружения

$$L_{\text{общ}} = 78 \times 3 = 234\text{ м}$$

$$L_{\text{нит}} = 234 \times 0,44 = 103\text{ м}$$

$$L_{\text{ат}} = 234 \times 0,35 = 82\text{ м}$$

$$L_{\text{ден}} = 234 \times 0,07 = 16\text{ м}$$

$$L_r = 234 \times 0,07 = 16\text{ м}$$

$$L_{\text{пост}} = 234 \times 0,07 = 17\text{ м}$$

4.32. Распределение объема сооружения между регенератором, аэротенком, нитрификатором, денитрификатором и постаэротенком приведено на рис.4

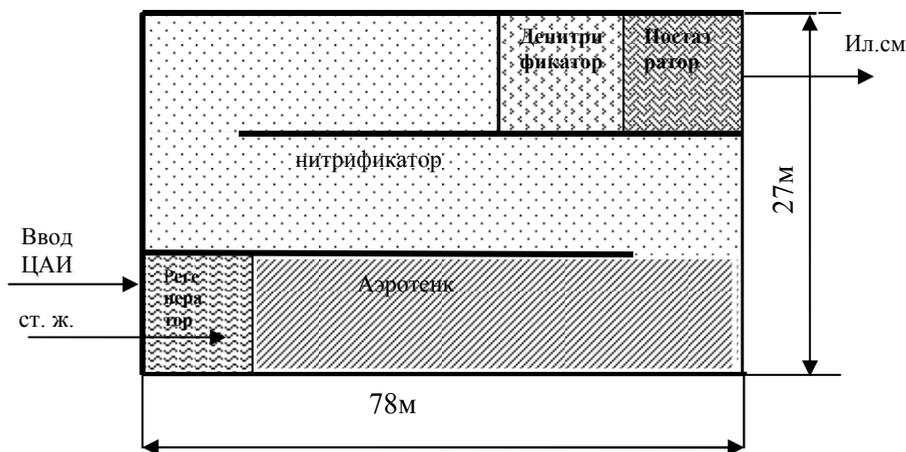


Рис.4. Распределение объема сооружения между аэротенком с регенератором, нитрификатором, денитрификатором и постаэротенком.

4.33. Требуемый удельный расход воздуха в аэротенке и нитрификаторе

$$q_{air} = \frac{q_0 [(L_{en} - L_{ex}) + (L_{en}^{экг} - L_{ex}^{экг})]}{K_1 K_2 K_3 K_4 (C_a - C_0)}$$

$$L_{en}^{экг} = (C_{N-Нобу})_{num} \times 3,43$$

$$L_{en}^{экг} = 18,8 \times 3,43 = 64,5 \text{ мг/л}$$

$$L_{ex}^{экг} = (C_{N-NH_4})_{ex} \times 3,43 = 0 \text{ мг/л};$$

$$K_3 = 1 + 0,02(T_w - 20)$$

$$K_3 = 1 + 0,02(23 - 20) = 1,06$$

$$C_a = C_m \left(1 + \frac{H_{air}}{20,6} \right) \frac{P_{атм}}{P_{норм}}$$

$$C_a = 8,5 \left(1 + \frac{4,2}{20,6} \right) \times \frac{720}{760} = 9,7 \text{ мг/л}$$

$$q_{air} = \frac{1,1 [(151 - 15) + (64,5 - 0)]}{1,34 \times 2,6 \times 0,85 \times 1,06 (9,7 - 2)} = 9,1 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ ч}$$

4.34. Требуемый расход воздуха в аэротенке и нитрификаторе

$$Q_{air} = q_{air} \times (q_m)_{at}$$

$$Q_{air} = 9,1 \times 1585 = 14424 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.35. Требуемый расход воздуха в постаэраторе

$$(Q_{air})_{носм} = q_{air}^{носм} \times (q_m)_{носм}$$

$$(Q_{air})_{носм} = 0,5 \times 3150 = 1575 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.36. Общий расход воздуха, подаваемый в аэротенки, нитрификаторы и постаэраторы

$$(Q_{air})_{общ} = Q_{air} + (Q_{air})_{носм}$$

$$(Q_{air})_{общ} = 14424 + 1575 = 15999 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4.37. Требуемое количество воздуходувок

Принимаем воздуходувки марки ТВ-175-1.6 со следующими характеристиками:

производительность – 10000 м³/час, давление – 1,6 атм,
 мощность на валу эл/двигателя – 250 кВт, число оборотов –
 3290 об/мин

$$N_{в} = \frac{(Q_{air})_{общ}}{k \times Q_{в}}$$

$$N_{в} = 15999 / (0,8 \times 10000) \approx 2 \text{ везд.}$$

4.38. Количество избыточного активного ила,
 образующегося в аэротенке

$$(A_i)_{at} = \frac{(\Pi_i)_{at} \times Q_{at}}{10^6}$$

$$(A_i)_{at} = \frac{109 \times 25166}{10^6} = 2,74 \text{ т/сут}$$

4.39. Количество избыточного активного ила по сухому
 веществу, образующегося в денитрификаторе

$$(A_i)_{ден} = \frac{((\Pi_i)_{ден} - a_t) \times Q_{сут}}{10^6}$$

$$(A_i)_{ден} = \frac{(87 - 10) \times 50000}{10^6} = 3,85 \text{ т/сут}$$

4.40. Общее количество избыточного активного ила,
 выгружаемого из биологической системы

$$(A_i)_{общ} = (A_i)_{at} + (A_i)_{ден}$$

$$(A_i)_{общ} = 2,74 + 3,85 = 6,59 \text{ т/сут}$$

4.41. Объем избыточного активного ила

$$(Q_i)_{общ} = \frac{100 \times (A_i)_{общ}}{(100 - Pi) \gamma}$$

$$Pi = \left(1 - \frac{a_{ил.кам}}{1000} \right) 100$$

$$a_{ил.кам} = a_i \left(\frac{1 + Ri}{Ri} \right) = 2 \left(\frac{1 + 3,8}{3,8} \right) = 2,5 \text{ г/л}$$

$$P_i = \left(1 - \frac{2,5}{1000}\right) 100 = 99,75\%$$

$$(Q_i)_{\text{общ}} = \frac{100 \times 6,59}{(100 - 99,75) \times 1} = 2636 \text{ м}^3/\text{сут}$$

4.42. Объем циркулирующего активного ила

$$Q_{\text{цаи}} = Q_{\text{сут}} \times R_i$$

$$Q_{\text{цаи}} = 50000 \times 3,8 = 190000 \text{ м}^3/\text{сут}$$

4.43. Подбор насоса циркулирующего активного ила [5]

Принимаем насос марки СД-2400/75, мощностью 737,5кВт, с числом оборотов 750 об/мин, КПД = 66,5%

$$N_{\text{нас}} = \frac{Q_{\text{цаи}}}{24 \times k_{\text{нас}} \times q_{\text{нас}}}$$

$$N_{\text{нас}} = 190000 / 24 \times 0,9 \times 2400 = 4 \text{ нас.}$$

4.44. Подбираем мешалки для денитрификатора.

После построения балансовой схемы (рис.5, приложение 3) производится уточнение расчетных параметров.

Список использованной литературы

1. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1986
2. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1981
3. Справочник монтажника. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. М.: Стройиздат, 1979
4. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. М.: Стройиздат, 1977
5. Балыгин В.В., Крыжановский А.Н., Похил Ю.Н. Насосы. Каталог-справочник. Новосибирск, 2000.
6. Яковлев С.В. и др. Канализация. Москва: Стройиздат, 1976.

Приложение 1

Таблица
растворимости кислорода воздуха в дистиллированной воде при
давлении 760мм рт.ст.

Темп-ра ст. жидкости, °С	Растворенный кислород, мг/л	Тем-ра ст. жидкости, °С	Растворенный кислород, мг/л
0	14,65	16	9,82
1	14,25	17	9,61
2	13,86	18	9,4
3	13,49	19	9,21
4	13,13	20	9,02
5	12,79	21	8,84
6	12,46	22	8,67
7	12,14	23	8,5
8	11,84	24	8,33
9	11,55	25	8,18
10	11,27	26	8,02
11	11	27	7,87
12	10,75	28	7,72
13	10,5	29	7,58
14	10,26	30	7,44
15	10,03		

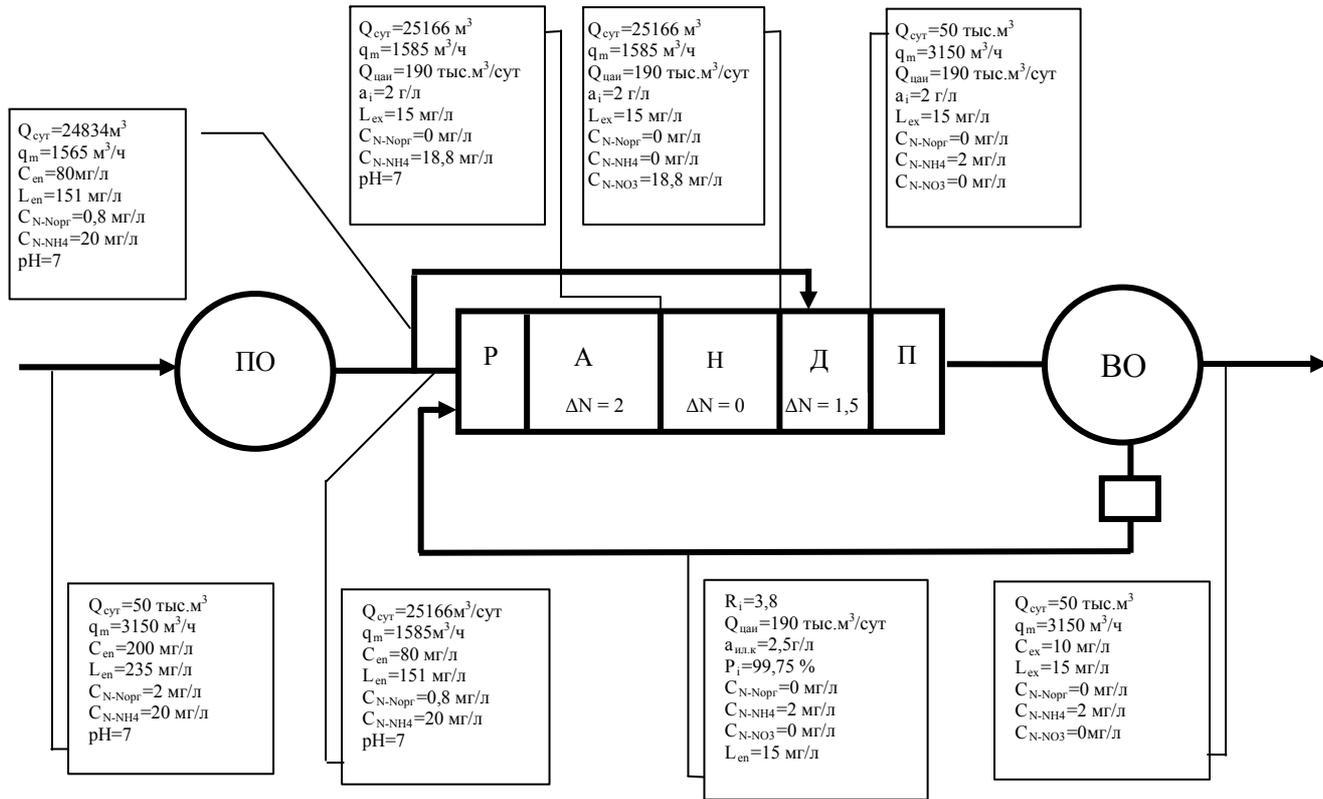


Рис.7. Балансовая схема к примеру расчета по схеме «в»

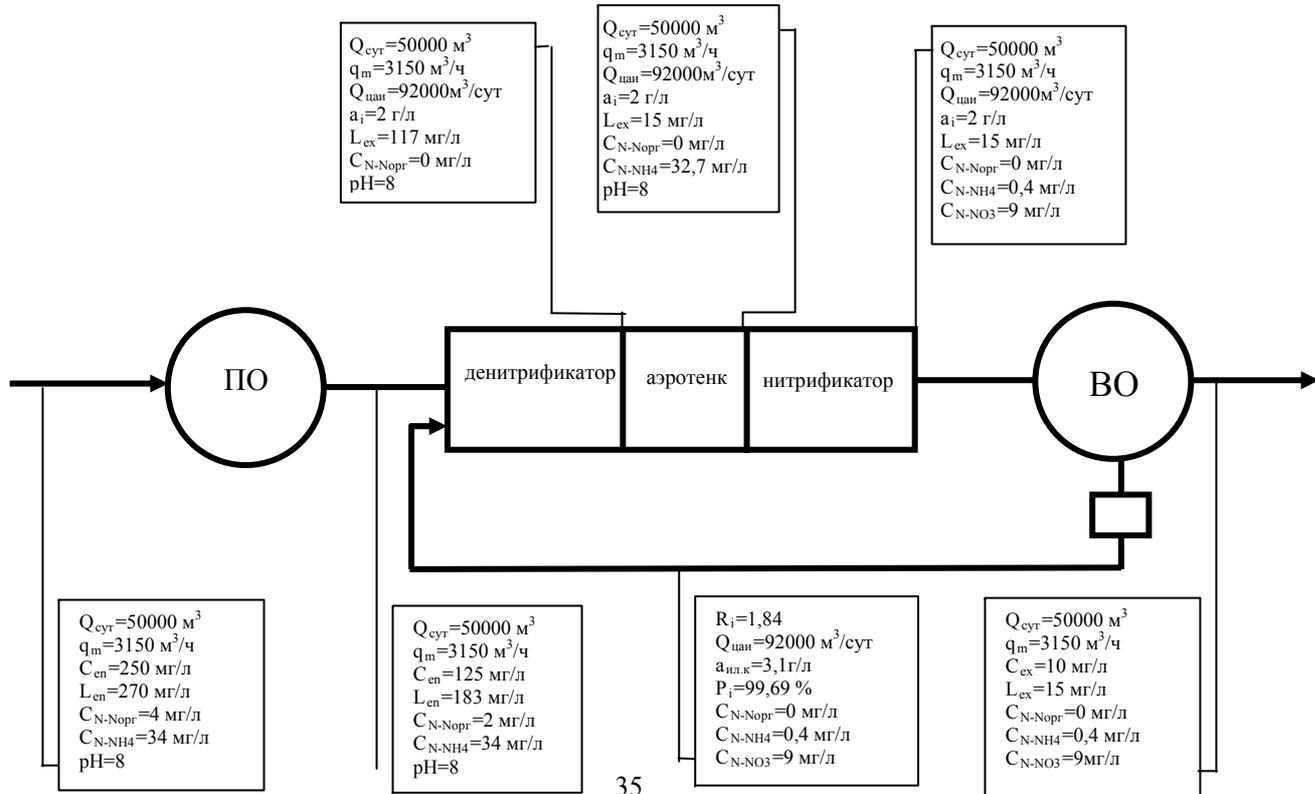


Рис.3. Балансовая схема к примеру расчета по схеме «а»