

Владимирский государственный университет

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Владимир 2001

**Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет**

Кафедра Экологии

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Методические указания к курсовому и дипломному проектированию

**Составители
Н. В. Селиванова
Н.А. Андрианов**

Владимир 2001

УДК 518.12(076.5)

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Р. И. Батыгина

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Очистка сточных вод: Метод. указания к курсовому и дипломному проектированию/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Н. В. Селиванова, Н. А. Андрянов. Владимир, 2001. с.

Настоящие методические указания составлены в соответствии с учебными планами для дисциплин «Рациональное водопользование» и «Промышленная экология» (специальность 320700) и «Прикладная экология» (специальность 013100).

Предназначены для студентов всех форм обучения.
Табл. . Ил. . Библиогр.: 10 назв.

Введение

В настоящее время состояние вод, особенно в высокоразвитых странах, приняло угрожающий характер. Лучший вариант поддержания вод в чистом состоянии заключается в предотвращении их последующего загрязнения. В связи с этим ближайшие задачи заключаются в очистке загрязнённых бытовых и промышленных сточных вод и доведение их до состояния, отвечающего нормативам на воду хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения.

Невозможно достичь требуемой глубины очистки воды каким-либо одним методом. Наибольшее распространение получили сочетания механической и биохимической очистки сточных вод. Ниже приводятся основные методы, оборудование и его расчёт.

Механическая очистка сточных вод

Решетки применяются для улавливания крупных, нерастворимых, плавающих загрязнителей, которые могут засорить трубы и каналы.

Решетки бывают неподвижными, подвижными, а также совмещенными с дробилками. Наибольшее распространение имеют неподвижные решетки. Решетки изготовляют из металлических стержней и устанавливают на пути движения очищаемых вод под углом 60 - 75°. Зазоры между ними равны 16 – 19 мм. Стержни могут иметь круглое или прямоугольное сечение. Стержни с круглым сечением имеют меньшее сопротивление, но быстрее засоряются, поэтому чаще используют прямоугольные стержни, закругленные со стороны входа воды в решетку.

Расчет диаметра трубы B , м:

$$B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_{cp}}}, \text{ где}$$

Q - расход воды, м³/с;

ω_{cp} - скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

Определение живого сечения трубопровода F_C , м² :

$$F_C = Q / \omega_{cp}$$

Глубину воды h , принимаем равной диаметру трубопровода $B \Rightarrow h$

Определение числа прозоров решетки n :

$$n \approx \frac{1,1 \cdot Q}{b \cdot h \cdot \omega_{np}}$$

Высота решетки B_p , м, равна:

$$B_p = b \cdot n + S \cdot (n - 1).$$

Из формулы $l_1 = \frac{B_p \cdot B}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi}$, где $\varphi = 20^\circ$

$$l_1 = 1,37 \cdot (B_p - B);$$

$$l_2 = 0,5 \cdot l_1;$$

$$l_3 \approx 1 \text{ м}; l_4 \approx 0,5 \text{ м}.$$

Определение потеряннного напора $h_{ном}$, м:

$$h_{ном} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\omega^2}{2g} \cdot P, \text{ где}$$

β - коэффициент, учитывающий форму решетки (квадратные – 2,72; круглые – 1,72).

Принимаем квадратную форму решетки: $\beta = 2,72$;

α - угол наклона решетки ($\alpha = 90^\circ$);

P – коэффициент, учитывающий увеличение напора и уменьшение живого сечения решетки за счет его засорения,

Песколовки применяют для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений (0,2 - 0,25 мм) из очищаемых вод. В них крупные посторонние включения, например гравий, выпадают на дно медленно текущего потока. Скорость движения воды в песколовках не превышает 0,3 м/с.

Глубина песколовков 0,25 - 1 м.

Расчет длины песколовки L , м:

$$L = \frac{1000 \cdot K \cdot \omega \cdot H}{\omega_0}, \text{ где}$$

ω - скорость движения воды в песколовке (принимаем $\omega = 0,15$ м /с);

H – высота песколовки, м;

ω_0 - гидравлическая крупность, связанная с диаметром частиц, мм/с;

При $d_4=0,25$ мм, $\omega_0=23,5$ мм/с;

K – эмпирический коэффициент, зависящий от гидравлической крупности, $K=f(\omega_0)$.

Если $\omega_0 = 23.5$ мм/с, то $K=1.351$.

Для выбора оптимальной длины песколовки, задаем 3 варианта H :

	<i>1 вариант</i>	<i>2 вариант</i>	<i>3 вариант</i>
<i>H</i>	<i>0,25</i>	<i>0,50</i>	<i>0,75</i>
<i>\omega</i>			
<i>\omega_0</i>			
<i>L</i>			
<i>B</i>			

Определение ширины песколовки B , м:

$$B = \frac{F}{L}, \text{ где}$$

F – продольное сечение песколовки, м^2 .

$$F = Q/\omega_0, \text{ где}$$

Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω_0 - гидравлическая крупность, связанная с диаметром частиц, мм/с.

Нефтеловушки. Одним из аппаратов первичной очистки от нефтепродуктов является нефтеловушка. Режим движения воды в ней должен быть очень спокойным 0,005-0,01 м/с, чтобы нефтепродукты, в зависимости от своей плотности, успели либо всплыть, либо опуститься на дно. Для частичек нефти диаметром 80 -100 мкм скорость всплывания равна 1—4 мм/с. При этом всплывает 96 - 98% нефти. Продолжительность отстаивания не менее 2 ч.

Скорость всплытия нефтепродуктов ω_0 , м/с, равна:

$$\omega_0 = \frac{(\rho_{H_2O} - \rho_{н/np}) \cdot g \cdot d_ч^2}{18 \cdot \mu_{H_2O}}, \text{ где}$$

ρ_{H_2O} , $\rho_{н/np}$ - плотность воды и нефтепродуктов соответственно;

принимаем: $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ кг/м}^3$;

$$\rho_{н/np} = 870 \text{ кг/м}^3$$

g - ускорение свободного падения ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

$d_ч$ - диаметр частиц нефтепродуктов (принимаем $d_ч = 0,095 \text{ мм} = 0,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}$);

μ_{H_2O} - динамическая вязкость воды (принимаем $\mu_{H_2O} = 0.001 \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Определение скорости осаждения для тяжёлых нефтепродуктов ω_{oc} , м/с:

$$\omega_{oc} = \frac{(\rho_{н/np} - \rho_{H_2O}) \cdot g \cdot d_ч^2}{18 \cdot \mu_{H_2O}},$$

принимаем: $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ кг/м}^3$;

$$\rho_{н/np} = 1100 \text{ кг/м}^3.$$

Расчет длины нефтеловушки:

$$L = a \cdot \frac{\omega}{\omega_0} h, \text{ где}$$

ω - скорость движения воды в нефтеловушке (принимаем $\omega = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$);

a - коэффициент, зависящий от отношения ω/ω_0 (если $\omega/\omega_0 = 10$, то $a = 1,5$);

h - глубина рабочей проточной части нефтеловушки (принимаем $h = 1-2 \text{ м}$).

Ширину нефтеловушки B находим из формул:

$$B = F/L, \text{ где}$$

F - площадь поперечного сечения нефтеловушки.

$$F = Q/\omega_0;$$

Ширина нефтеловушки не должна быть меньше 0,20 м.

Толщина нефтяной пленки $0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$.

Объем шлама:

$$G_{н/np} = Q \cdot C_{н/np} \cdot \alpha, \text{ где}$$

Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{н/нр}$ - концентрация нефтепродуктов после выхода из песколовки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

α - степень очистки (принимаем $\alpha = 0.60 - 0.70$).

Принимаем, что в шламе 80% воды:

Рассчитываем расход обводненного шлама.

Время сбора шлама $\tau = 1-24$ ч.

Масса шлама, накапливающегося за время сбора, равна:

$$M_{\text{шл}} = G_{\text{шл}} \cdot \tau$$

Плотность обводненного шлама $\rho_{\text{шл}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_{\text{шл}} = x_{\text{тв}} \cdot \rho_{\text{тв}} + x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ где}$$

$x_{\text{тв}}$ и $x_{\text{H}_2\text{O}}$ - массовые доли обезвоженной фазы шлама и воды в шламе соответственно;

$\rho_{\text{тв}}$ и $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ - плотности обезвоженной фазы шлама и воды соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рабочий объем емкости для сбора шлама равен:

$$V_{\text{раб}} = M_{\text{шл}} / \rho_{\text{шл}} .$$

$$V_{\text{геом}} = 1,2 \cdot V_{\text{раб}}^3 .$$

Определяем количество нефтеловушек, необходимых для очистки воды от нефти, с учётом степени очистки воды и заданной конечной концентрации нефтепродуктов. Например, $C_{\text{кон}}$ после первой нефтеловушки равна

$$C_{\text{к1}} = C_{\text{н}} - C_{\text{н}} \cdot \alpha ;$$

Усреднители – аппараты, усредняющие водные потоки по объемам и концентрациям примесей. Они ставятся обязательно после песколовки, так как трудно усреднить концентрацию взвешенных частиц во всем объеме аппарата.

Перемешивание в усреднителях можно осуществлять с помощью барботажа воздуха или механическим перемешиванием.

Находим объем усреднителя:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{з.выб}} + V_{\text{ц.кол}} + V_{\text{анн}} , \text{ где}$$

$V_{з.выб}$, $V_{ц.кол}$, $V_{анп}$ - соответственно объем, учитывающий возможность залпового выброса, объем, учитывающий циклические колебания работы аппарата и объем самого аппарата.

$$V_{анп} = Q \cdot \tau_{раб}, \text{ где}$$

Q – расход воды, $м^3/ч$;

$\tau_{раб}$ - время работы аппарата, ч (принимаем $\tau_{раб} = 1-3$ ч).

$$V_{з.выб} = \frac{Q \cdot \tau_{з.выб}}{\ln \frac{\kappa_{п}}{\kappa_{п} - 1}}, \text{ где}$$

Q – расход воды, $м^3/ч$;

$\tau_{з.выб}$ - время залпового выброса, ч;

$\kappa_{п}$ - коэффициент подавления залпового выброса

$$\kappa_{п} = \frac{C_{\max} - C_{ср}}{C_{доп} - C_{ср}}, \text{ где}$$

C_{\max} , $C_{ср}$, $C_{доп}$ - максимальная, средняя и допустимая концентрации загрязняющего вещества соответственно, г/л.

Принимаем: $C_{доп} = 2 \cdot C_{ср}$

$$C_{\max} = 3 \cdot C_{ср}$$

Определяем $V_{ц.кол}$:

$$V_{ц.кол} = 0,16 \cdot \kappa_{п} \cdot Q \cdot \tau_{ц.кол}, \text{ где}$$

Q – расход воды, $м^3/ч$;

$\tau_{ц.кол}$ - время циклических колебаний, ч (принимаем $\tau_{ц.кол} = 1-2$ ч).

Определение площади поперечного сечения усреднителя:

$$F = \frac{Q \cdot 1000}{n \cdot U_c \cdot 3600}, \text{ где}$$

Q – расход воды, $м^3/ч$;

U_c - скорость движения воды вдоль усреднителя через поперечное сечение, мм/с (принимаем $U_c = 1$ мм/с);

n - число секций (принимаем $n = 1$).

Ширина усреднителя B , м равна: $B = F/H$, где

H – высота усреднителя (принимаем $H = 3-5$ м).

Длина усреднителя L , м равна:

$$L = \frac{V_{\text{общ}}}{F}.$$

Барботер – устройство, необходимое для перемешивания жидкости в усреднителе, путем подачи туда воздуха (барботажа). Его можно укладывать либо поперек усреднителя, либо пристеночно.

Определяем длину барботера $l_{\bar{o}}$ при укладке поперёк усреднителя, м.

$$l_{\bar{o}} = H_{\Gamma} + B_y - 2 \cdot b_1 - h_{1\pm} \text{ где}$$

H_{Γ} - геометрическая высота усреднителя, м;

$$H_{\Gamma} = 1,2 \cdot H, \text{ где}$$

H - расчетная высота усреднителя, м;

B_y - ширина усреднителя;

b_1 - расстояние барботера от стены усреднителя (принимаем $b_1 = 0,1$ м);

h_1 - расстояние барботера от дна усреднителя (принимаем $h_1 = 0,15$ м).

Число барботеров $N_{\bar{o}}$: $N_{\bar{o}} = L/l, \text{ где}$

L – длина усреднителя, м;

l – расстояние между барботерами (принимаем $l = 3-7$ м).

Расчет удельного расхода воздуха $q_{\bar{o}-\text{ха}}$ м³/м*ч:

$q_{\bar{o}-\text{ха}}$ – расход воздуха, приходящийся на 1 м длины барботера в единицу времени.

Находим $q_{\bar{o}-\text{ха}}$ из следующего выражения:

$$l_{\text{max}} \leq 2 \cdot (0,5 + 2,8 \cdot H_{\text{min}}) \cdot \lg(1 + q_{\bar{o}-\text{ха}})$$

$$q_{\bar{o}-\text{ха}} = 10^{\frac{l}{2 \cdot (0,5 + 2,8 \cdot H_{\text{min}})}} - 1, \text{ где}$$

H_{min} – минимальная глубина заполнения усреднителя;

$$H_{\text{min}} = 0,5 \cdot H.$$

Общий расход воздуха $Q_{\bar{o}-\text{ха}}$:

$$Q_{\bar{o}-\text{ха}} = q_{\bar{o}-\text{ха}} \cdot l \cdot N_{\bar{o}}.$$

Вертикальный отстойник. Отстаивание применяют для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей под действием силы тяжести.

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем. Осаждение происходит в восходящем потоке. Высота

зоны осаждения 4 - 5м. Частицы движутся с водой вверх с определенной скоростью, а под действием силы тяжести вниз. Поэтому различные частицы будут занимать различное положение в отстойнике. Эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на 10 - 20%, чем в горизонтальных.

Находим критерий Архимеда Ar :

$$Ar = \frac{d_c \cdot (\rho_{тв} - \rho_{ж}) \cdot \rho_{ж} \cdot g}{\mu^2}, \text{ где}$$

d_c – диаметр частиц, м;

$\rho_{тв}, \rho_{ж}$ - плотности взвешенных частиц и воды соответственно;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с.

При $Ar \leq 36$ $\omega_{св} = \frac{d_c^2 \cdot (\rho_{тв} - \rho_{ж}) \cdot g}{18 \cdot \mu}, \text{ где}$

$\omega_{св}$ - скорость свободного осаждения, м/с.

Через критерий Рейнольдса Re :

$$Re = 0,056 \cdot Ar = 0,056 \cdot 0,047 = 0,0026.$$

Из формулы: $Re = \frac{\omega_{св} \cdot d_c \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}}$

выражаем $\omega_{св} = \frac{Re \cdot \mu_{ж}}{d_c \cdot \rho_{ж}}, \text{ м/с}$

Определение скорости стесненного осаждения частиц $\omega_{ст}, \text{ м/с}$:

$$\omega_{ст} < \omega_{св}$$

$$\omega_{ст} = \omega_{св} \cdot E^2 \cdot 10^{-1,82 \cdot (1-E)}, \text{ где}$$

E – объемная доля жидкости в суспензии ($E \geq 0,7$)

$$E = 1 - \frac{\bar{x} \cdot \rho_{сусп}}{\rho_{тв}}, \text{ где}$$

\bar{x} - концентрация взвешенных частиц;

$\rho_{сусп}$ - плотность суспензии, кг/м³.

$$\rho_{сусп} = \frac{1}{\frac{\bar{x}}{\rho_{тв}} + \frac{1-\bar{x}}{\rho_{ж}}};$$

Определение количества количества сточных вод в кг/с

$$G_n = Q \cdot \rho_{\text{супн}} \cdot$$

Площадь осаждения твердых частиц F , м^2 :

$$F = A \cdot \frac{G_n \cdot (1 - \bar{x}_n / \bar{x}_{\text{сз}})}{\rho_{\text{ст.в}} \cdot \omega_{\text{ст}}}, \text{ где}$$

A – коэффициент, характеризующий запас сгустителя к воде (принимаем $A = 1,33$);

\bar{x}_n – начальное содержание взвешенных частиц в воде;

$\bar{x}_{\text{сз}}$ – содержание твердых веществ в осадке сгустителя (принимаем $x_{\text{сз}} = 40\% = 0,4$);

$\rho_{\text{ст.в}}$ – плотность сточной воды;

$\omega_{\text{ст}}$ – скорость стесненного осаждения, м/с .

Выбираем типовой отстойник по величине площади осаждения F :

Коэффициент запаса K_z равен: $K_z = \frac{F_{\text{пром}} - F}{F_{\text{пром}}} \cdot 100, \%$.

Биохимическая очистка сточных вод.

Введение. Метод биологической очистки получил широкое распространение для очистки бытовых и промышленных сточных вод химических производств. Этот метод основан на способности микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата многие органические соединения, содержащиеся в сточных водах.

Использование биологического метода обусловлено его достоинствами: возможностью удалять из сточных вод разнообразные загрязняющие вещества простотой аппаратурного оформления; относительно невысокими эксплуатационными расходами. К недостаткам метода следует отнести большие капитальные затраты, необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки, токсическое действие на микроорганизмы ряда органических и неорганических соединений, необходимость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей.

Процесс изъятия и потребления микроорганизмами органических примесей сточных вод состоит в основном из трех стадий: массопереноса органического вещества и кислорода из жидкости к поверхности клетки; диффузии вещества и кислорода через полунепроницаемую мембрану клетки и метаболизма диффундированных веществ, сопровождающегося приростом биомассы, выделением энергии, диоксида углерода и т.д. Процессы переноса и сорбции органических веществ микроорганизмами существенного

значения в механизме биологической очистки сточных вод не имеют. Основная роль принадлежит процессам превращения вещества внутри клетки.

В результате этих превращений формируются биоценозы микроорганизмов, состав которых зависит от характера примесей сточных вод, исходного посевного материала и условий проведения процесса очистки сточных вод.

Биоценозом аэротенков является активный ил. Активный ил - это амфотерный коллоид, имеющий в интервале значений $pH=4 - 9$ отрицательный заряд. Поверхность колоний бактерий, образующих хлопья активного ила, достигает 100 м^2 на 1 г сухого ила.

Активный ил представляет собой сложный комплекс микроорганизмов разных систематических групп (например, бактерий, простейших грибов, личинок насекомых и др.), между которыми складываются определенные взаимоотношения: симбиотические (обоюдопользные) или антагонистические (враждебные). Самая многочисленная группа микроорганизмов в активном иле - бактерии. Число их колеблется от 10^8 до 10^{12} клеток на 1 г сухого ила. Из активного ила выделено более 100 штаммов бактерий.

Биоценозом биологических фильтров является биопленка. Биопленка представляет собой слизистые обрастания на насадке биофильтров толщиной 1-3 мм и более. В биопленке биофильтров наблюдается больше разнообразных представителей простейших, коловраток, червей. Главное действующее начало активного ила биопленки - бактерии.

Многие виды бактерий, участвующие в процессе очистки, могут в результате адаптации индуцировать новые специфические ферменты, что позволяет окислять ими большинство вновь производимых промышленностью органических веществ.

Основные параметры процесса биохимического окисления

Скорость биохимического окисления зависит от концентрации органических загрязнений и их способности окисляться в данном процессе. Скорость процесса биохимического окисления возрастает с увеличением концентрации субстрата и активного ила. В связи с этим при глубокой очистке концентрированных сточных вод в реакторе полного смешения, где поддерживается низкая концентрация субстрата, нельзя обеспечить высоких скоростей окисления. Для повышения производительности процесс целесообразно делить на стадии. На первой стадии осуществляется очистка сточных вод с поддержанием достаточно высоких концентраций субстрата, обеспечивающих высокую скорость биохимического окисления. На первой стадии возможно глубокое окисление оставшейся части органических веществ при меньших скоростях окисления.

Экспериментально установлено, что некоторые органические вещества не подвергаются биологической деструкции.

Наиболее простым экспериментальным методом определения доступности веществ биодеструкции является определение биологического потребления кислорода (БПК). Если БПК = 0, то вещество относится к категории биологически неокисляемых.

В аэробных условиях скорость реакции окисления возрастает с увеличением концентрации субстрата. Типичный вид этой зависимости графически представлен на рис. 1.1

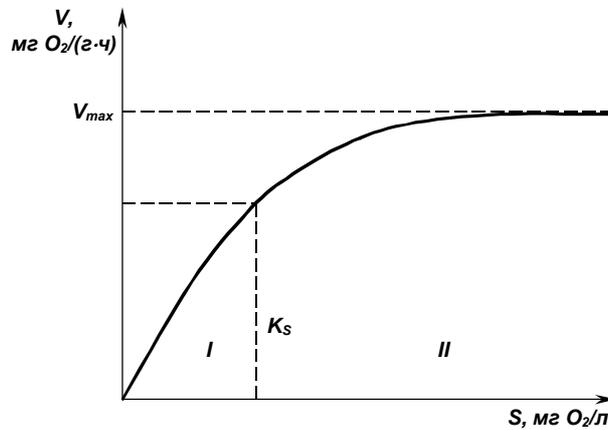


Рис. 1.1 Зависимость скорости реакции окисления от концентрации субстрата (окисляемых веществ).

При малых концентрациях (область I) скорость окисления практически линейно зависит от концентрации субстрата и может быть описана уравнением вида:

$$V = V_{\max} S / (K_s + S), \quad (1.1)$$

где K_s - константа насыщения, численно равная скорости реакции в конце линейной области (значение K_s определяются экспериментально); V - скорость реакции, $\frac{\text{мг O}_2}{\text{г} \cdot \text{ч}}$; V_{\max} - максимальная скорость реакции, $\frac{\text{мг O}_2}{\text{г} \cdot \text{ч}}$; S - концентрация субстрата по БПК_{полн.}

При более высоких концентрациях субстрата (область II) скорость реакции окисления обратно пропорциональна концентрации субстрата и может быть описана уравнения вида:

$$V = V_{\max} K'_s / S, \quad (1.2)$$

где K'_s - константа насыщения субстратного ингибирования.

При биологической очистке сточных вод торможение скорости окисления органических веществ может быть вызвано самим субстратом (большой его концентрацией). Такое торможение носит название субстратного ингибирования. Причиной его появления является взаимодействие субстрата с промежуточными продуктами окисления и образования неактивных комплексов.

Основные показатели биохимического окисления некоторых веществ приведены в табл.1 приложения 1.

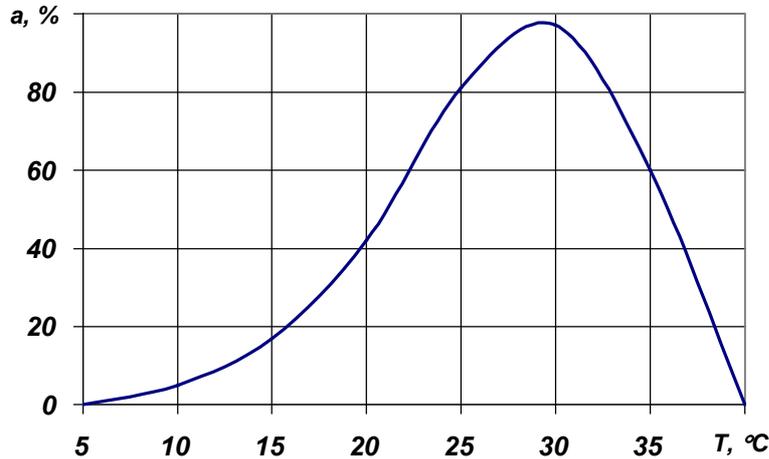


Рис.1.2. Температурная зависимость активного ила.

Оптимальной температурой для аэробных процессов, происходящих в очистных сооружениях, считается 20-30° С.

Если температурный режим не соответствует оптимальному, то рост культуры и также скорость обменных процессов в клетке заметно ниже максимальных значений (рис.1.2).

Наиболее неблагоприятное влияние на развитие культуры оказывает резкое изменение температуры. При аэробной очистке влияние температуры усугубляется еще вследствие изменения растворимости кислорода.

Влияние кислорода на процесс биохимического окисления зависит от концентрации окисляемых веществ. С уменьшением концентрации субстрата влияние концентрации кислорода заметно снижается, поэтому максимальное повышение скорости биохимического окисления за счет увеличения концентрации растворенного кислорода возможно при неполной очистке концентрированных сточных вод либо на начальных стадиях многоступенчатых схем.

Одним из возможных путей интенсификации работы биологических очистных сооружений является повышение концентрации микроорганизмов. Скорость биохимического окисления прямопропорциональна концентрации сухого вещества микроорганизмов в воде в диапазоне 1-7 г/л. При дальнейшем увеличении концентрации микроорганизмов их активность существенно снижается, что может быть следствием: ухудшения массооб-

мена, недостатка кислорода или угнетения их жизнедеятельности продуктами метаболизма.

Одним из методов интенсификации процессов биохимического окисления является разделение процесса на стадии (ступени). На

процесс биохимического окисления влияет рН воды. Бактерии лучше развиваются в нейтральной или слабощелочной среде. Для большинства грибов и дрожжей более благоприятна слабокислая среда. Оптимальный интервал рН работы биологических очистных сооружений составляет 6,5-7,5, но сточную воду подавать на очистные сооружения можно с рН = 6,5-8,5, т.к. в процессе работы микроорганизмов образуются кислые продукты, снижающие рН.

Солесодержание сточных вод, поступающих на очистные сооружения, не должно превышать 5-6 г/л. Для нормального прохождения процесса биохимической очистки сточных вод в воде должны присутствовать биогенные элементы (азот, фосфор). Их содержание зависит от БПК воды, поступающей на очистку:

$$C_a = 5S_0 / 100, \quad C_{\phi} = S_0 / 100$$

где C_a - концентрация усвояемых соединений азота в пересчете на азот, мг/л; C_{ϕ} - концентрация усвояемых соединений фосфора в пересчете на фосфор, мг/л; S_0 – БПК_{полн.} сточной воды, поступающей на очистку, мг O₂/л.

Источником биогенных элементов являются бытовые сточные воды, удобрения или другие растворимые соли, содержащие азот или фосфор. Концентрация взвешенных веществ в сточных, поступающих на биологические очистные сооружения, не должна превышать 100 мг/л.

2. Расчет биологических фильтров

В последние годы заметно возрос интерес к биофильтрам в связи с разработкой их новых эффективных конструкций с пластмассовой загрузкой, с вращающимися биодисками, а также с применением различных биотенков. По сравнению с аэротенками биофильтры менее энергоемки, они рентабельны для обработки сравнительно небольших количеств сточных вод.

Биофильтр состоит из корпуса, водораспределительного, дренажного и воздухораспределительного устройства и блока

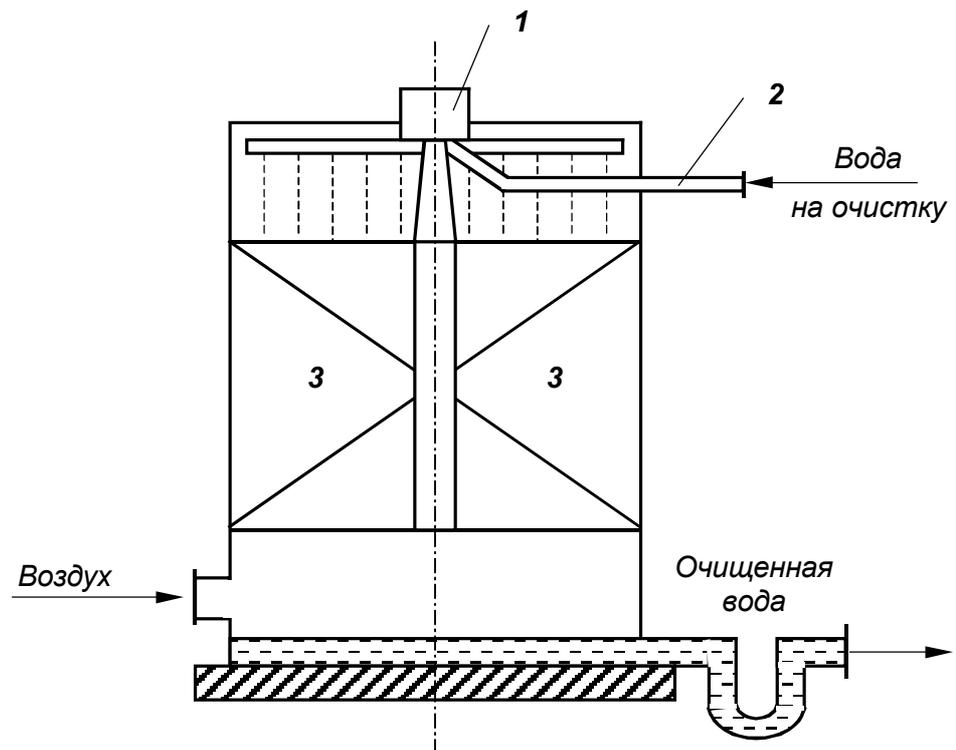


Рис.2.1. Принципиальная технологическая схема биофильтра: 1- реактивный ороситель; 2 - подающий трубопровод; 3 - блок загрузки.

загрузки (рис.2.1) Проходя через загрузочный материал, загрязненная вода оставляет на нем нерастворенные примеси, а также коллоидные и растворенные органические вещества. Загрязнения сорбируются биопленкой, покрывающей поверхность загрузочного материала. Микроорганизмы, образующие биопленку, окисляют органические вещества, в результате чего увеличивается масса активной биопленки в теле фильтра. Омертвевшая и отработавшая биопленка смывается протекающей сточной водой и выносятся из тела биофильтра.

Биопленка состоит, главным образом, из бактерий, простейших грибов, питающихся содержащимися в сточных водах органическими веществами. В них также могут присутствовать иловые черви, личинки мух и другие микроорганизмы. В теплую погоду солнечный свет способствует росту водорослей на поверхности загрузки фильтра.

Биологический слой, хотя и очень тонкий, является анаэробным в своей внутренней части. Поэтому несмотря на то, что биологическое фильтрование называют аэробным процессом, оно по существу представляет собой смесь аэробного и анаэробного процессов.

По конструктивным особенностям загрузочного материала все существующие биофильтры можно разделить на два вида: с объемной загрузкой и плоскостной загрузкой. Биофильтры с объемной загрузкой делятся на сле-

дующие группы: капельные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 20-30-мм, высоту слоя загрузки 1-2 м: башенные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 40-60 мм и высоту слоя загрузки 8-16 м; высоконагружаемые с крупностью фракций загрузочного материала 60–80 мм и высотой слоя загрузки 2–4 м.

Капельные биофильтры можно рекомендовать при расходах вод до 1000 м³/сут; высоконагружаемые и башенные - при расходах до 30-50 тыс. м³/сут: допускается применять высоконагружаемые фильтры и большой пропускной способности.

В качестве загрузочного материала в биофильтрах с объемной загрузкой используют щебень, гравий, шлак, керамзит, другие материалы плотностью 500-1500 кг/м³ и пористостью 40-50%. Биофильтры с плоской загрузкой разделяют на группы по типу загрузки: жесткая засыпная в виде колец, обрезков труб и других элементов, могут быть использованы керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы плотностью 100-500 кг/м³ при высоте слоя 1-6 м; жесткая блочная в виде решеток или блоков, собранных из чередующихся плоских и гофрированных листов, могут быть использованы различные виды пластмасс плотностью 40-100 кг/м³ при высоте слоя 2-16 м, а также асбестоцементные листы плотностью 200-250 кг/м³

при высоте слоя 2-6 м; мягкая металлическая сетка, пластмассовые пленки или синтетические ткани, мягкая металлическая сетка, пластмассовые пленки или синтетические ткани, которые крепят на специальных каркасах или укладывают в виде рулонов, такая загрузка имеет плотность 5-60 кг/м³ при высоте слоя 3-8 м.

В капельном биофильтре сточная вода подается в виде капель или струй. Естественно, вентиляция воздуха происходит через открытую поверхность биофильтра и дренаж.

Особенностью высоконагружаемых биофильтров является более высокая, чем в капельных, окислительная мощность, что обусловлено незаиляемостью таких фильтров и лучшим обменом воздуха. Достигается это благодаря применению крупного загрузочного материала и повышению гидравлической нагрузки. Проектируются они круглыми и прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном: верхним - в виде колосниковой решетки и нижним - сплошным. Воздух в междонное пространство нагнетается вентиляторами. Вся поверхность биофильтра непрерывно орошается водой.

Высоконагружаемые биофильтры могут обеспечивать любую заданную степень очистки сточных вод, поэтому применяются как для частичной, так и для полной их очистки.

Определенный интерес представляют конструкции закрытых биофильтров с верхней подачей воздуха, в результате чего в верхней части биофильтра происходит интенсивное окисление органических веществ.

Практика эксплуатации показывает, что причиной неудовлетворительной работы биофильтров может быть: перегрузка по расходу сточных вод и особенно по концентрации органических загрязнений и взвешенных веществ; выключение биофильтра на длительные сроки (более суток); недостаточное количество подаваемого воздуха; дефицит биогенных элементов в сточных водах; малая гидравлическая нагрузка, вызывающая скопление биопленки в теле биофильтра; высокая гидравлическая нагрузка, приводящая к чрезмерному выносу биопленки; наличие в сточных водах токсичных компонентов, жиров, масел и т.п. в концентрациях, превышающих допустимые; засорение или замерзание оросителей и др.

2.1. Методика расчета

Применяемые расчетные формулы для проектирования биофильтром можно условно разделить на две группы. Первую группу составляют формулы, описывающие корреляционную взаимосвязь различных параметров, влияющих на процесс очистки, но не отражающих механизм этого процесса, а в другую группу - формулы, основанные на представлениях о кинетике реакций окисления.

Качество очищенной воды для практических целей оценивают обычно по показателю БПК_{полн.} (за 30 дней), а в расчетах полное окисление воды производится до БПК_{полн.} = 15 мг О₂/л.

Метод расчета биофильтров основан на определении окислительной мощности (ОМ) в граммах кислорода в сутки, которая может быть получена с 1 м³ загрузочного материала для снижения БПК_{полн.} сточной жидкости до 15 мг О₂/л:

$$OM = (S_0 - S) / V_1, \quad (2.1)$$

где ОМ - окислительная мощность, г БПК/(м³/сут) (табл.2, приложение1);

V₁ - объем загрузочного материала, необходимый для очистки 1 м³/сут сточной воды, м³; S₀ - БПК_{полн.} поступающих на очистку сточных вод, г О₂/м³; S - БПК_{полн.} выходящих сточных после очистных сооружений, г О₂/м³. Зная суточное количество сточных вод Q и окислительную мощность ОМ, можно определить общий объем загрузочного материала

$$V = Q(S_0 - S) / OM, \quad (2.2)$$

где Q - расход сточных вод, м³/сут.

Задаваясь предварительно высотой фильтра, определяют площадь биофильтра

$$F = V / H, \quad (2.3)$$

где F - площадь фильтра, м²; Н - высота фильтра, м.

Типовые диаметры биофильтров: 6,12,18,24 и 30 м. Величина БПК_{полн} сточных вод, поступающих на биофильтры, не должно превышать 220 г О₂/м³ для капельных биофильтров и 300 г О₂/м³ для высоконагружаемых биофильтров.

При значениях S₀ выше допустимых необходимо предусмотреть рециркуляцию воды, коэффициент которой определяется по формуле

$$R = (S_0 - S_{см}) / (S_{см} - S), \quad (2.4)$$

где R - коэффициент рециркуляции; S_{см} - БПК_{полн} циркулирующей смеси г О₂/м³, определяемая по формуле

$$S_{см} = K_T S, \quad (2.5)$$

где K_T - температурная константа потребления кислорода (для 8-10°C равная 4,4). Для других температур K_T определяют из уравнения

$$K_T = 0.117T(H / 3)K_{10}, \quad (2.6)$$

где K₁₀=4,4; T - температура воды, °C; H - высота биофильтра, м.

Зная коэффициент рециркуляции R, определяют объем рециркулирующей воды Q_R:

$$Q_R = QR, \quad (2.7)$$

где Q - количество поступающей на очистку воды, м³/сут.

Необходимое количество воздуха для аэрации биофильтра определяется по формулам

$$V_0 = S_0 / 21 \quad (2.8), \quad V = V_0(Q + Q_R), \quad (2.9)$$

где V₀ - удельный расход воздуха м³/м³ жидкости; V - расход воздуха в сутки, м³/сут.

Высоконагружаемые биофильтры, как правило, устраиваются одноступенчатыми. Рабочая высота принимается от 2 до 4 м. Повышению эффективности работы высоконагружаемых биофильтров малой высоты способствует рециркуляция, которая компенсирует недостаток высоты загрузки. Обычно, чем больше загрязнения воды и хуже климатические условия, тем выше принимается кратность рециркуляции. Гидравлическая нагрузка биофильтров приведена в табл.2.1.

Таблица 2.1

Гидравлическая нагрузка биофильтров

Показатель	Биофильтр	
	капельный	высоконагружаемый
Гидравлическая нагрузка, м ³ (м ³ ·сут)	2-5	10-30

для высоконагружаемого фильтра выбирается гидравлическая нагрузка и уточняется площадь биофильтра

$$F = (Q + Q_R) / q. \quad (2.10)$$

Гидравлическая нагрузка биофильтра может быть рассчитана на основании нагрузки в граммах БПК на 1 м² в сутки N :

$$q = N / S_{см}. \quad (2.11)$$

Для высоконагружаемых биофильтров N обычно равна 1700-3000 г БПК/(м² · сут.).

эффективность работы биофильтра по очистке сточных вод определяется по формуле, %,

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} 100. \quad (2.12)$$

2.2 Пример расчета

Сточные воды в количестве 1200 м³/сут, содержащие фенола 50 мг/л, нефтепродуктов 30 мг/л, ацетона 100 мг/л и метанола 60 мг/л должны быть подвергнуты полной биологической очистке на биофильтре. Вода имеет температуру 18°C.

Задание: Выбрать тип биофильтра, определить его площадь и диаметр, рассчитать расход воздуха и эффективность работы биофильтра.

Расчет:

1. В связи с тем, что расход воды более 1000 м³/сут, для ее очистки следует принять высоконагружаемый биофильтр.

2. Определяем БПК воды, используя данные табл. 1,2 приложения 1.

БПК фенола — 50 · 1,18 = 59;

БПК нефтепродуктов — 30 · 4 = 120;

БПК ацетона — 100 · 1,62 = 162;

БПК метанола — 60 · 1,02 = 61,2;

Общее БПК воды = 402,2 мг О₂/л или г О₂/м³

3. В связи с тем, что БПК_{полн} воды превышает 300 г О₂/м³, биофильтр должен работать с рециркуляцией.

4. Полная биологическая очистка воды предполагает очистку воды до БПК_{полн} = 15 г О₂/м³ (S).

5. Расход воды Q всего на 200 м³/сут превышает допустимый расход на капельные биофильтры, поэтому принимаем высоту биофильтра H=2 м и минимальную ОМ, равную 1000г БПК/(м³·сут) (см табл. 2 приложения 1).

6. Определяем общий объем загрузочного материала

$$V = \frac{(S_0 - S)Q}{ОМ} = \frac{(402,2 - 15)1200}{1000} = 464,64^{м^3}$$

7.определяем площадь фильтра без учета рециркуляции

$$F = \frac{V}{H} = \frac{464,64}{2} = 232,3 \text{ м}^3$$

8. При этом диаметр биофильтра должен быть:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 232,3}{3,14}} = \sqrt{295} = 17''$$

Уточняем параметры биофильтра с учетом циркуляции.

9. Определяем количество рециркулирующей воды. Коэффициент рециркуляции определяем по формуле

$$R = \frac{S_0 - S_{\text{CM}}}{S_{\text{CM}} - S}; \quad S_{\text{CM}} = K_{18}S;$$

$$K_{18} = 0,117 \cdot 18 \cdot (2/3) \cdot 4,4 = 6,17$$

$$S_{\text{CM}} = 6,17 \cdot 15 = 92,5 = \text{г O}_2/\text{м}^3$$

$$R = \frac{402,2 - 92,5}{92,5 - 15} = \frac{309,7}{77,5} = 3,99$$

$$Q_R = QR = 4788 \text{ м}^3/\text{сут}$$

10. Гидравлическая нагрузка высоконагружаемых биофильтров - в интервале 10-30 м³/см².сут). Принимаем гидравлическую нагрузку, равной 20 м³/см².сут), и рассчитываем необходимую площадь биофильтра с учетом рециркуляции;

$$F = \frac{Q + Q_R}{q} = \frac{1200 + 4788}{20} = 299,4 \text{ м}^2;$$

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 299,4}{3,14}} = \sqrt{38119,52} \text{ м} - \text{есть типовой биофильтр с диаметром}$$

20 м.

11. Удельный расход воздуха

$$B_0 = \frac{S_0}{21} = \frac{402,2}{21} = 19,15 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

12. Общий расход воздуха в сутки

$$B = B_0(Q + Q_R) = 19,15 \cdot 5988 = 117065,4 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

13. Эффективность работы биофильтра

$$E = \frac{402,2 - 15}{402,2} 100 = 96,27\%$$

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой биопленка ?
2. Что используется в качестве загрузочных материалов в теле биофильтра ?
3. Как устроен капельный биофильтр ?
4. Что такое окислительная мощность биофильтра ?

6. Если БПК_{полн} сточных вод не превышает 200 мг O₂/л и расход воды составляет 900 м³/сут, какой тип биофильтра можно рекомендовать для их очистки?

7. В каком случае применяется рециркуляция сточной воды при очистке на биофильтрах ?

8. Как определить количество воздуха, необходимое для аэрации биофильтра ?

9. Каково предельное солесодержание сточных вод, поступающих на биологическую очистку?

3. Расчет аэротенков

Аэротенки представляют собой открытые аппараты (железобетонные или металлические), снабженные специальным оборудованием для подачи воздуха и поддержания активного ила во взвешенном состоянии. Современные аэротенки- гибкие в технологическом отношении сооружения, они успешно применяются для полной и частичной очистки многих видов производственных сточных вод в широком диапазоне концентраций загрязнений и расходов сточных вод.

Аэротенки можно классифицировать по следующим основным признакам:

- по гидравлическому режиму (аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки промежуточного типа) (рис. 3.1);

- по способу регенерации активного ила (с отдельно стоящими регенераторами и совмещенные);

- по нагрузкам на активный ил (высоконагружаемые, обычные и низконагружаемые);

- по количеству ступеней очистки (одно-, двух-, и многоступенчатые);

- по режиму ввода сточной жидкости (проточные и контактные с переменным рабочим уровнем);

- по конструктивным признакам (прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки и др.);

- по типу систем аэрации (с пневматическими, механическими, гидродинамическими и пневмомеханическими аэраторами).

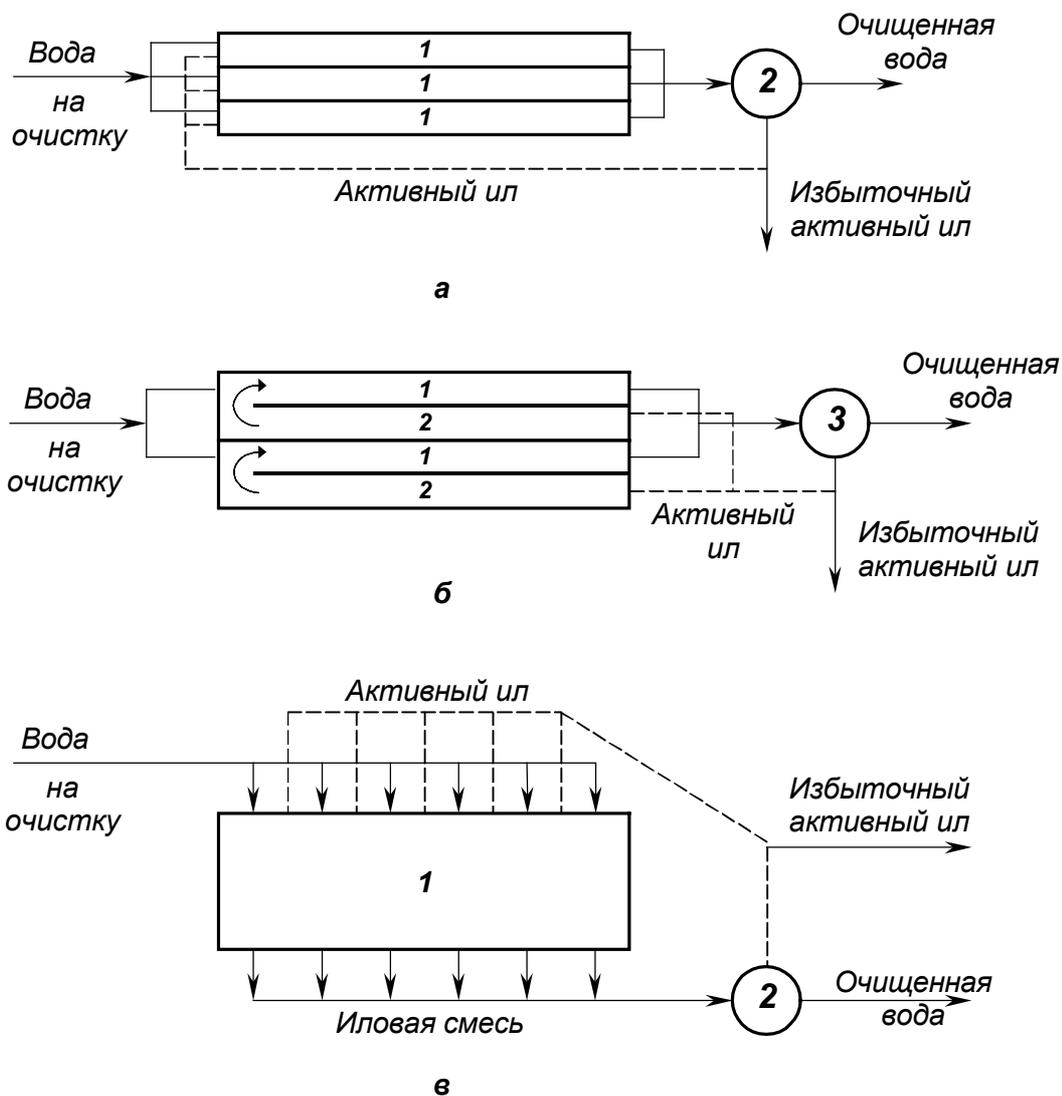


Рис.3.1. Схемы работы аэротенков: а - с сосредоточенным поступлением стоков, 1 - аэротенки, 2 - отстойники; б - с сосредоточенным поступлением стоков и аэрацией возвратного ила, 1 - аэротенки, 2 - регенераторы, 3 - отстойники; в - с рассредоточенным впуском и выпуском смеси сточной воды и активного ила, 1 - аэротенк-смеситель, 2- отстойник

Аэротенки-вытеснители представляют собой коридорные сооружения, в которых сточные воды проходят последовательную очистку без полного смешения со всем объемом жидкости в резервуаре. В аэротенках данного типа глубина очистки сточных вод является функцией расстояния, пройденного жидкостью от точки впуска. Однако такой режим практически осуществим только при соотношении общей длины коридора аэротенка к ширине более 30-40.

Гидродинамический режим движения в аэротенке наиболее полно приближается к режиму полного вытеснения в резервуаре, разделенном перегородками на шесть-восемь последовательно соединенных секций.

Особенностью аэротенка-вытеснителя является то, что микроорганизмы активного ила в процессе очистки сточной жидкости находятся в разных физиологических стадиях своего развития. На начальной стадии процесса наблюдается избыток питательных веществ, на конечной стадии - их недостаток. В связи с этим кислород воздуха подается в большом количестве в начале аэротенка с постепенным снижением его к концу.

С учетом неравномерности поступления загрязнений со сточными водами задача распределения воздуха по длине аэротенка-вытеснителя в соответствии со скоростями потребления кислорода активным илом становится трудно осуществимой.

При залповом поступлении токсичных для активного ила компонентов сточных вод, что характерно для многих производственных стоков, применение аэротенков -вытеснителей нецелесообразно. В этом случае нарушается работа биоценоза активного ила; он теряет свою активность, вспухает и выносятся из вторичных отстойников.

Аэротенки-смесители представляют собой сооружения, в которых поступающие сточные воды и активный ил почти мгновенно перемешиваются со всей массой иловой смеси резервуара. В этом сооружении обеспечивается равномерное распределение органических загрязнений и растворенного кислорода. Конструктивной особенностью аэротенка-смесителя является рассредоточенный впуск и выпуск смеси сточных вод и активного ила (рис. 3.1). Благодаря этому во всех точках объема аэротенка устанавливается одинаковая концентрация органических веществ. Большое разбавление поступающих сточных вод очищенной водой, содержащейся в аэротенке, позволяет подавать в него сточную воду с относительно высокой концентрацией загрязнений.

К недостаткам аэротенков-смесителей следует отнести более сложную систему впуска и выпуска жидкости, а также сравнительно низкую среднюю удельную скорость окисления, поскольку концентрация загрязнений в иловой смеси находится на уровне значений, предъявляемых к очищенной воде, что соответственно снижает окислительную мощность этих сооружений по сравнению с аэротенками-вытеснителями.

В аэротенках с рассредоточенным впуском сточной жидкости (при сосредоточенной подаче активного ила) концентрация активного ила на входе равна его содержанию в возвратном иле и постепенно уменьшается по мере приближения к выходу из сооружения. Средняя концентрация активного ила в сооружении несколько повышена. Остаточные загрязнения в очищенной жидкости снижаются к концу сооружения. Распределение загрязнений в таких аэротенках неравномерно, так же как и в аэротенках-вытеснителях, поэтому этим сооружениям присущи и те же недостатки.

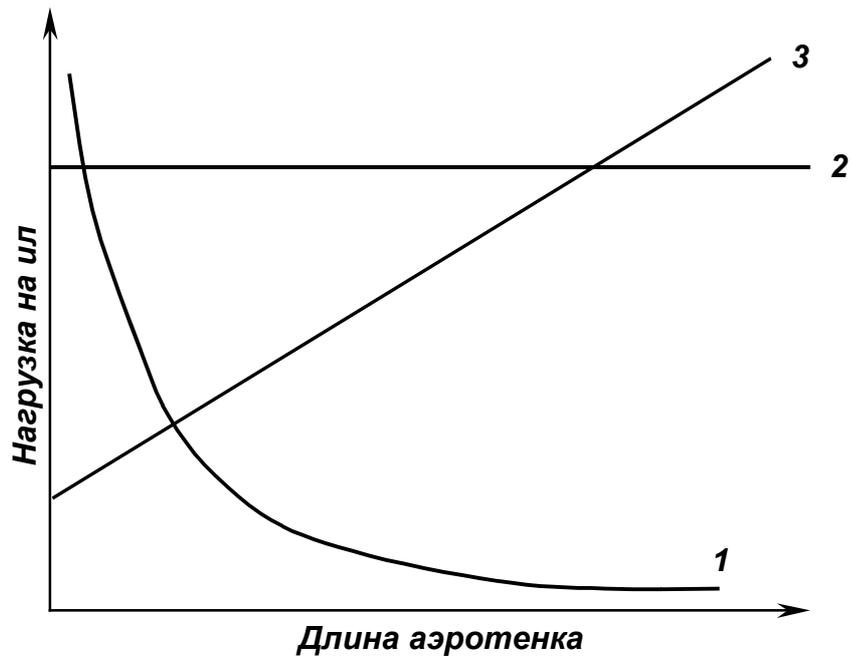


Рис.3.2. Распределение нагрузки на ил в аэротенках разных типов: 1- вытеснители; 2- смесители; 3-с рассредоточенной подачей воды и ила.

Аэротенки, совмещенные с регенераторами активного ила, обладают существенным недостатком, который проявляется в том, что за счет продольного перемешивания доза ила в регенераторе снижается по сравнению с концентрацией возвратного ила из вторичных отстойников. Для устранения этого недостатка целесообразно отделять регенератор от аэротенка перегородкой с перепускным отверстием.

В аэротенках с разными структурами потоков существенно различны и условия развития популяций микроорганизмов. В аэротенках-вытеснителях нагрузка на ил и скорость потребления кислорода максимальны в начале сооружения и минимальны в конце (рис.3.2). В аэротенках-смесителях нагрузка на ил постоянна во всем объеме сооружения. При рассредоточенной подаче сточной жидкости полная нагрузка по загрязнениям достигает максимума к концу сооружения, но степень очистки воды может быть очень высокой.

В отечественной практике преимущественно применяют аэротенки с пневматической аэрацией. Применение аэротенков с механической аэрацией, импеллерными и центробежными аэраторами экономически целесообразно при производительности очистной станции, не превышающей 6000 м³/сут.

3.1 Методика расчета

При расчете аэротенков всех систем необходимо учитывать факторы, оказывающие влияние на скорость процесса: дозу ила, концентрацию за-

грязнений в исходной и очищенной воде, концентрацию растворенного кислорода, а также скорость окисления загрязнений и активность микроорганизмов ила. Кроме того, следует оценивать гидродинамическую структуру потоков в сооружениях.

БПК_{полн} сточных вод, поступающих на очистку в аэротенках, не должно превышать 1000-1200 мг О₂/л для двухступенчатой системы и 500 мг О₂/л - для одноступенчатой.

Сначала ориентировочно определяют продолжительность аэрации смеси сточных вод и циркулирующего ила t_a , ч:

$$t_a = \frac{S_0 - S}{\alpha_{\text{аэр}} (1 - A)_r}, \quad (3.1)$$

где A - зольность ила в долях единицы, принимается 0,3; S_0 - БПК_{полн} поступающей в аэротенк воды, мг О₂/л; S - БПК_{полн} очищенной воды = 15 мг О₂/л; $\alpha_{\text{аэр}}$ - доза ила (в аэротенках-смесителях без регенерации - 3 г/л; с регенерацией - 2-4,5 г/л), r - скорость окисления загрязнений (см. табл.1 приложения 2) – мг БПК/г ч.

Степень циркуляции активного ила R в аэротенках рассчитываются по формуле

$$R = \frac{\alpha_{\text{аэр}}}{1000 / J - \alpha_{\text{аэр}}}, \quad (3.2)$$

где J - иловый индекс (табл. 2 приложение 2), см³/г.

Иловый индекс оценивает способность ила к оседанию и представляет собой объем активного ила после отстаивания в течение 30 мин. иловой смеси объемом 100 мл, отнесенный к 1 г сухого вещества ила. При нормальном состоянии активного ила его иловый индекс имеет величину 60-150 мг/л. Для определенного илового индекса необходимо знать нагрузку на 1 г беззольного вещества ила в сутки

$$K_{\text{ил}} = \frac{24(S_0 - S)}{\alpha_{\text{аэр}} (1 - A)t_f} \quad (3.3)$$

Дозу ила, поступающего в регенератор из вторичного отстойника $\alpha_{\text{рег}}$, г/л, находят по уравнению

$$\alpha_{\text{рег}} = (1 / 2R + 1)\alpha_{\text{аэр}} \quad (3.4)$$

Необходимо знать объем циркулирующего активного ила U м³:

$$U = \frac{Q\alpha_{\text{аэр}}R}{\alpha_{\text{рег}}}, \quad (3.5)$$

где Q - расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

БПК_{полн} сточных вод с иловой смесью а аэротенке $S_{\text{см}}$, $\text{мг O}_2/\text{л}$, устанавливаются по формуле

$$S_{\text{cv}} = \frac{S_0 Q + S Q}{Q + U} \quad (3.6)$$

Продолжительность пребывания сточных вод в собственно аэротенке t'_a , ч:

$$t'_a = \frac{2,5}{0,5} \lg \frac{S_{\text{см}}}{S} \quad (3.7)$$

Продолжительность окисления снятых загрязнений t_0 , ч:

$$t_0 = \frac{S_0 - S}{R \alpha \alpha_{\text{рег}} (1 - A) r} \quad (3.8)$$

Продолжительность регенерации циркулирующего ила t_p , ч, определяется из равенства:

$$t_p = t_0 - t'_a \quad (3.9)$$

Объем собственно аэротенка V_a , м^3

$$V_a = t'_a (Q + U) \quad (3.10)$$

Объем регенератора V , м^3 :

$$V = V_a + V_p \quad (3.12)$$

Прирост ила (Π_p), $\text{мг}/\text{л}$, в аэротенках всех типов определяется по формуле

$$\Pi_p = 0,8V_v + 0,3S_0, \quad (3.13)$$

где V_v - количество взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, $\text{мг}/\text{л}$.

Удельный расход воздуха V_0 , $\text{м}^3/\text{м}^3$, при очистке сточных вод в аэротенке

$$V_0 = \frac{n(S_0 - S)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (S_p - C)} \quad (3.14)$$

где n - удельный расход кислорода на 1 мг БПК (принимается для полной очистки -1,1 $\text{мг}/\text{мг}$; для неполной очистки -0,9 $\text{мг}/\text{мг}$); K_1 - коэффициент, учитывающий тип аэратора (принимается равным 0,75 для среднепузырчатой и низконапорной аэрации, для мелкопузырчатой аэрации -1,34 -2,3); K_2 - коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора (определяется по табл. 3 приложения 2); $n_1 = 1 + 0,002 (T_{\text{cp}} - 20)$ - коэффициент, учитывающий среднемесячную температуру сточных вод; T_{cp} - среднемесячная температура сточной воды за летний период; n_2 - коэффициент,

учитывающий отношение скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса его в чистой воде (принимается равным 0,7).

Растворимость кислорода воздуха в воде C_p , мг/л;

$$C_p (1 + H / 21) C_T \quad (3.15)$$

где C_T - растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры и давления (определяется по таб. 4 приложения 2); C - концентрация кислорода в аэротенке - 2 мг/л; H - рабочая глубина аэротенка (табл. 7,8 приложения 2), м.

Использование кислорода при аэрации определяется по формуле

$$N = 4,34dH \quad (3.16)$$

где d - дефицит кислорода (табл. 5, приложения 2), доли единицы.

Гидравлическая нагрузка аэротенка q , м³/(м² ч):

$$q = Q / F \quad (3.17)$$

где F - площадь аэротенка, $F = V / H$, м².

Средняя скорость биохимического окисления органического вещества в стоках ϖ , мг/(л ч):

$$\varpi = Wx, \quad (3.18)$$

где W - удельная скорость биохимического окисления органического вещества, отнесенная к 1 кг сухого беззольного активного ила в аэротенке (табл. 9 приложения 2), мг/г ч; x - концентрация активного ила в иловой смеси, г/л.

$$x = \frac{S_{cm}}{Jm\alpha_{per}} \quad (3.19)$$

m - нагрузка (количество загрязнений) на 1 г активного ила (табл. 6 приложения 2), г; J - иловый индекс (принимается равным 50-100).

Содержание биогенных элементов (N и P) рассчитывается по формулам:

$$C_a = S_0 / 100 \quad (3.20);$$

$$C_\phi = S_0 / 100 \quad (3.21)$$

где C_a и C_ϕ концентрация соответственно соединений азота и фосфора в пересчете на азот и фосфор, мг/л.

Расчет необходимого количества солей, содержащих биогенные элементы, производится по уравнениям, г/ч:

при введении азотсодержащих веществ

$$M_a = (C_a X_a Q) / (14n_a) \quad (3.22)$$

при введении фосфорсодержащих веществ

$$M_\phi = (C_\phi X_\phi Q) / (31n_\phi) \quad (3.23)$$

где C_a и $C_{\text{ф}}$ - необходимое количество азота и фосфора, г/м³; X_a и $X_{\text{ф}}$ - молекулярные массы азотсодержащих и фосфорсодержащих веществ; n_a и $n_{\text{ф}}$ - количество атомов азота и фосфора в молекулах применяемых веществ.

3.2. Пример расчета

Сточные воды нефтехимического производства в количестве 500 м³/сутки, содержащие взвешенные вещества в количестве 100 мг/л и имеющие БПК_{полн} 450 мг/л, направляются на биологические очистные сооружения для полной очистки. Среднемесячная температура воды в летнее время -24°C.

Задание. Определить время аэрации, размеры аэротенка-смесителя и регенератора ила, гидравлическую нагрузку и скорость биохимического окисления органических веществ стоков.

Решение.

1. Ориентировочная продолжительность аэрации сточных вод циркулирующего ила

$$t_a = \frac{450 - 15}{3(1 - 0,3)24} = 9 \text{ ч.}$$

2. Степень рециркуляции активного ила

$$R = \frac{3}{1000 / J - 3} = \frac{3}{1000 / 160 - 3} = 0,47$$

Для определения илового индекса определяем нагрузку на 1 г беззольного вещества ила в сутки $K_{\text{ил}} = \frac{24(450 - 15)}{3(1 - 0,3)9} = 552,4 \text{ мг/(г. сут)}$

3. Доза ила, поступающего в регенератор,

$$\alpha_{\text{рег}} = (1 / 2 * 0,47 + 1)3 = 6,19 \text{ г/л}$$

4. Объем циркулирующего ила

$$U = \frac{500 / 24 * 3 * 0,47}{6,19} = 4,74 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

5. БПК_{полн} сточных вод с иловой смесью в аэротенке $S_{\text{см}}$

$$S_{\text{см}} = \frac{450 * 20,8 + 15 * 20,8}{20,8 + 4,74} = 378,7 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

6. Продолжительность пребывания сточных вод в собственно аэротенке

$$t'_a = \frac{2,5}{3^{0,5}} \lg \frac{378,7}{15} = \frac{2,5}{1,73} * 1,4021 = 2,024 \text{ ч.}$$

7. Продолжительность окисления снятых загрязнений

$$t_0 = \frac{450 - 15}{0,47 * 6,19(1 - 0,3) * 23} = 9,29 \text{ ч.}$$

8. Продолжительность регенерации циркулирующего ила

$$t_p = 9,29 - 2,02 = 7,27 \text{ ч.}$$

9. Объем аэротенка $V_a = 2,02(20,8 + 4,74) = 51,59 \text{ м}^3$

10. Объем регенератора $V_p = 7,27 * 4,74 = 34,46 \text{ м}^3$

11. Общий объем аэротенка с регенератором $V = 51,59 + 34,46 = 86 \text{ м}^3$

12. Прирост активного ила $P_p = 0,8 * 100 + 0,3 * 450 = 215 \text{ мг/л}$

13. Удельный расход воздуха:

$$B_0 = \frac{1,1 * 9 * (450 - 15)}{1,34 * 2,08 * 1,08 * 0,79 * (9,51 - 2)} = 30,24 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$n_1 = 1 + 0,02(24 - 20) = 1,08 \quad (H=3 \text{ м})$$

$$C_p = (1 + 3 / 21) * 8,33 = 9,51 \text{ мг/л.}$$

14. Гидравлическая нагрузка:

$$F = \frac{V}{H} = \frac{86}{3} = 28,6 \text{ м}^2 \text{ (площадь аэротенка)}$$

$$q = 20,8 / 28,6 = 0,73 \text{ м}^3/(\text{м}^2 * \text{ч}) = 17,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 * \text{ч})$$

15. Средняя скорость биохимического окисления органического вещества:

$$\omega = 10 * 1,250 = 12,50 \text{ мг/л*ч};$$

$$x = \frac{378,7}{71 * 0,65 * 6,19} = 1,25 \text{ г / л концентрация активного ила).}$$

3.3. Вопросы для самопроверки

1. Что собой представляет активный ил?
2. На какие типы делятся аэротенки по гидродинамическому режиму работы?
3. Для чего проводится регенерация активного ила?
4. От каких параметров зависит скорость биохимического окисления органических веществ, содержащихся в сточных водах?
5. Зачем необходимо вводить биогенные элементы в сточную воду, направляемую на биологические очистные сооружения?
6. Какова концентрация активного ила в очищаемой сточной воде?
7. Что такое избыточный активный ил и как он утилизируется или обезвреживается?
8. Классификация аэротенков по нагрузкам на ил и другим признакам.
9. Какое значение БПКполн характерно для очищенной сточной воды.
10. Какие основные параметры определяют при расчёте аэротенков?

Список литературы

1. СНип 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1985.
2. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л. Пааль и др. – М.: Высш. шк., 1994. – 326 с.
3. Справочное пособие к СНИП / Проектирование сооружений для очистки сточных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.
4. Яковлева С.В., Скирдов И.В. и др. биологическая очистка производственных сточных вод. - М.:стройиздат, 1985. 208с.
5. Ласков Ю.М., Воронов .В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений.-М.: Стройиздат, 1987. 256 с.
6. Хаммер М. Технология обработки природных и сточных вод.- М.: Стройиздат, 1979. 400 с.
7. Проскураков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. - Л.: Химия, 1977.464 с.
8. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды/Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Кочановский, М.А.Шевченко. Т.2.-киев: Наук. Думка, 198. С.1090-1101.

Приложение 1

Таблица 1

Основные показатели биохимического окисления веществ

Субстраты	Химическое потребление кислорода	Биохимическое потребление кислорода	БПК, % ХПК	V_{max} , мг O_2 г ч	K_S , мг БПК л

	(ХПК), г O ₂ /г	(БПК), г O ₂ /г			
Метанол	1,56	1,02	68	830	1,67
Пропанол	2,3	1,68	70	200	143
Гидрохинон	1,86	0,15	8	42	0,78
Глицерин	1,2	1,01	84	-	-
Фенол	2,48	1,18	46	-	-
Толуол	1,87	1,11	58,8	-	-
Ацетон	2,17	1,62	77,4	-	-
Нефтепродукты (керосин)	4	2,1	52	-	-

Таблица 2

Окислительная мощность биофильтров

Показатель	Биофильтр	
	капельный	высоконагруженный
ОМ, г БПК/(м ³ сут)	100-400	500-1500

Таблица 3

Значение константы насыщения для разных биологических фильтров

Показатель	Биофильтр		
	капельный	высоконагружаемый	с пластмассовой загрузкой
K _s мг БПК/л	0,8	0,434	333

Приложение 2

Таблица 1

Средняя скорость окисления сточных вод

БПК _{полн} сточной воды, поступающей на аэротенк,	Средняя скорость окисления мл г БПК _{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч в зависимости от БПК _{полн} , мг
--	---

мг/л	15	20	25	30	40	50 и бо- лее
$\alpha_{\text{аэр}} < 1,8 \text{ г/л}$						
100	20	22	24	27	35	47
200	22	24	28	32	42	57
$\alpha_{\text{аэр}} > 1,8 \text{ г/л}$						
150	18	21	23	26	33	45
200	20	23	26	29	37	50
300	22	26	30	34	44	60
400	23	28	33	38	53	73
500 и более	24	29	35	41	58	82

Таблица 2

Значение илового индекса

Сточные воды	$J, \text{ см}^3$, при нагрузке на ил $K_{\text{ил}}$, мг/(г сут)					
	100	200	300	400	500	600
Городские	130	100	70	80	95	130
Производств:	-	120	70	80	120	160
нефтеперерабатывающих заводов	-	90	60	75	90	120
химических комбинатов	-	90	65	75	90	120
заводов атомной промышленности	-	220	150	170	200	220
целлюлозно-бумажных комбинатов						

Таблица 3

Коэффициент K_2

$H, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
K_2	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3

Таблица 4

Растворимость в чистой воде при давлении 0,1 Мпа

Температура, °С	C_t , мг/л	Температура, °С	C_t , мг/л
5	12,79	20	9,02
10	11,27	22	8,67
12	10,75	24	8,33
14	10,26	26	8,02
16	9,82	28	7,72
18	9,4		

Таблица 5

Дефицит кислорода d

Показатель	Снижение БПК, %			
	50	60	70	80

d, доли единицы	1	0,9	0,8	0,7
-----------------	---	-----	-----	-----

Таблица 6

Нагрузка на 1 кг активного ила m

Показатель	Снижение БПК, %			
	50	60	70	80
m, г	0,2	0,3	0,45	0,65

Таблица 7

Основные параметры аэротенков-смесителей

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Число коридоров	Рабочий объем секций, м ³	Длина секций, м
3	1,2	2	170	24
			260	36
4	4,5	2	864	24
			1296	36
6	5	3	3780	42
			5400	60
			7560	83

Таблица 8

Основные параметры типовых аэротенков-вытеснителей

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Число коридоров	Рабочий объем одной секции, м ³		
			36-42	48-54	60-66
4,5	3,2	2	1040-1213	1386-1559	1732
		3	1560-1820	2080-2340	2600
		4	2070-2416	2762-3108	3494-3800
6	4,4	2	1420-1658	1896-2134	2372
		3	2140-2496	2852-3208	3564
		4	2850-3325	3800-4275	4750-5225
	4,4	2	-	2530-2847	3154-3471
		3	-	3800-4275	4750-5225
		4	-	5700	5334-6968
9	5	2	-	2880-3240	3600-3960
		3	-	4320-4860	5400-5940
		4	-	6500	7220-7940
	4,4	2	-	-	-
		3	-	-	-
		4	-	-	-
5	2	-	-	-	
	3	-	-	-	
	4	-	-	-	

Таблица 9

Значение удельной скорости биохимического окисления K_н

Сточные воды	Скорость окисле-	Сточные воды	Скорость окис-
--------------	------------------	--------------	----------------

	ния, мг/(г ч)		ления, мг/(г ч)
Бытовые	20,0	Производство волокна лавсан	36,0
Общий сток: нефтеперерабатывающих заводов	10,0	Фенольные	16,0
химических производств, содержащих менапол, бутанол, ацетальдегид	10,0	Производство каучука: изопренового	12,0
		дивинилстирольного	7,0

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	
Механическая очистка сточных вод.....	
Основные параметры процесса биохимического окисления.....	
Расчет биологических фильтров.....	
Расчет аэротенков.....	
Список литературы.....	
Приложение 1.....	
Приложение 2.....	