

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра экологии

# ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Методические указания к курсовому  
и дипломному проектированию

*Издание второе, переработанное и дополненное*

Составители  
Н.В. СЕЛИВАНОВА  
Н.А. АНДРИАНОВ

Владимир 2010

УДК 604.062  
ББК 38,761.104  
О-96

Рецензент  
Кандидат химических наук, доцент кафедры химии  
Владимирского государственного университета  
*Е.П. Гришина*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Очистка** сточных вод : метод. указания к курсовому и диплом  
О-96 ному проектированию / Владим. гос. ун-т ; сост.: Н. В. Селиванова,  
Н. А. Андрианов. – 2-е изд., перераб. и доп.– Владимир : Изд-во Вла-  
дим. гос. ун-та, 2010. – 44 с.

Изложены основные принципы и примеры расчета оборудования, используемого для очистки бытовых и промышленных сточных вод. Составлены в соответствии с учебными планами для дисциплин «Рациональное водопользование», и «Промышленная экология» и «Прикладная экология» специальности 280201 – охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов и 020801 – экология. Предназначены для студентов IV – VI курсов дневной и заочной форм обучения.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 604.062  
ББК 38,761.104

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данные методические указания переработаны и дополнены расчетами оборудования для механической и физико-химической очистки воды, а также уточненными справочными данными.

В настоящее время качество вод, особенно в высокоразвитых странах, резко ухудшилось. Лучший вариант поддержания вод в чистом состоянии заключается в предотвращении их последующего загрязнения. В связи с этим ближайшие задачи – очистка загрязнённых бытовых и промышленных сточных вод и доведение их до состояния, отвечающего нормативам на воду хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения, с учетом разбавления сточных вод в водотоках и водоёмах.

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

## ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТЕ

Основу расчетов составляют:

1. Материальный технологический расчет, исходя из материального баланса для каждой стадии процесса:

$$\sum G_{\text{исх}} = \sum G_{\text{получ}},$$

Например,  $G_A + G_B = G_C + G_D + G_A' + G_B' + G_{\text{пот}}$ , т.е. при этом определяют выход готовых продуктов и количество отходов.

2. Определение типа, размеров, производительности и числа необходимых единиц оборудования и технологических сооружений на основании материального расчета:

$$n = \frac{G}{q_a} (1 + Z),$$

где  $n$  – число необходимых единиц технологического сооружения и оборудования;  $G$  – мощность производства;  $q_a$  – производительность одного агрегата;  $Z$  – коэффициент запаса: 0,05 – 0,1 - для чанов, сборников; 0,1 – 0,15 – для химических реакторов, работающих при атмосферном давлении; 0,15-0,2 – для ответственных аппаратов и машин.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД И ОБОРУДОВАНИЕ

1. **Решетки** (рис. 1) применяются для улавливания крупных нерастворимых плавающих загрязнителей, которые могут засорить трубы и каналы.

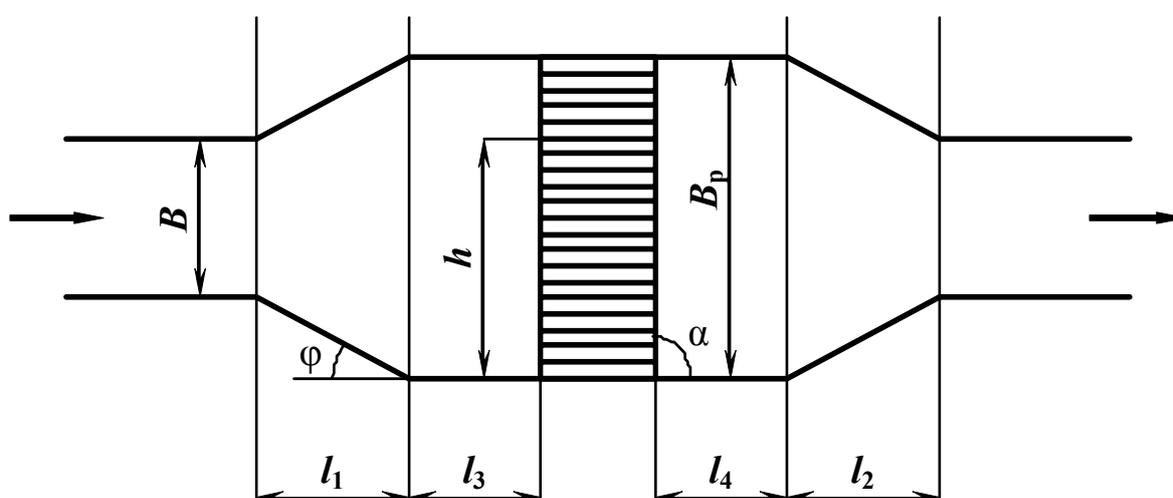


Рис. 1. Расчётная схема решётки

Решетки бывают неподвижными, подвижными, а также совмещенными с дробилками. Наибольшее распространение имеют неподвижные решетки. Решетки изготовляют обычно из металлических стержней или прутков и устанавливают на пути движения очищаемых вод под углом  $\alpha = 60 - 90^\circ$ . Зазоры  $b$  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. Толщина стержней  $S$  составляет 8 – 15 мм.

Расчет диаметра трубопровода  $B$ , м:

$$B = \sqrt{\frac{4Q}{3,14 \cdot w_{cp}}},$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $w_{cp}$  – средняя скорость движения воды в трубопроводе, м/с. Принимают  $w_{cp} = 0,6 - 0,8$  м/с.

Определение живого сечения трубопровода  $F_C$ , м<sup>2</sup>:

$$F_C = Q/w_{cp}.$$

Обычно глубину воды  $h$  перед решёткой принимают равной диаметру трубопровода:  $h = B$ .

Определение числа прозоров решетки  $n$ :

$$n \approx \frac{1,1Q}{bh w_{пр}},$$

где  $w_{пр}$  – скорость движения воды в прозорах, м/с; принимают  $w_{пр} = 0,7 - 1,0$  м/с.

Высота решетки  $B_p$ , м, равна:

$$B_p = bn + S(n - 1).$$

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

$$l_1 = 1,37(B_p - B); \quad l_2 = 0,5l_1; \quad l_3 \approx 1 \text{ м}; \quad l_4 \approx 0,5 \text{ м}.$$

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

$$h_{пот} = \beta \left( \frac{S}{b} \right)^{4/3} \sin \alpha \frac{w_{cp}^2}{2g} P,$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий форму решетки (квадратные – 2,72; круглые – 1,72);  $\alpha$  – угол наклона решетки;  $P$  – коэффициент, учитывающий увеличение напора и уменьшение живого сечения решетки за счет его засорения ( $P = 3$ ).

**2. Песколовки** применяют для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений (диаметр частиц 0,2 – 0,25 мм) из очищаемых вод. В них крупные посторонние включения, например песок, 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:

$$L = \frac{1000KwH}{w_0},$$

где  $w$  – скорость движения воды в песколовке, м/с;  $H$  – высота песколовки, м;  $w_0$  – гидравлическая крупность, связанная с диаметром частиц  $d_{ч}$ , мм/с;

$d_{ч}$ , мм	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50
$w_0$ , мм/с	5 – 12	13,5	18,7	24,8	28,3	51,6 ;

$K$  – эмпирический коэффициент, зависящий от гидравлической крупности,

$K = f(w_0)$ :

$w_0$ , мм/с	18	24
$K$ , мм/с	1,7	1,37

Для выбора оптимальной длины песколовки задаются 3 варианта  $H$ :

Параметр	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
$H$	0,25	0,50	0,75
$w$			
$w_0$			
$L$			
$B$			

Определение ширины песколовки  $B$ , м:

$$B = \frac{F}{L},$$

где  $F$  – продольное сечение песколовки, м<sup>2</sup>:

$$F = Q/w_0,$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $w_0$  – гидравлическая крупность, м/с.

Ширина песколовки не должна быть менее 0,2 м.

**3. Нефтеловушки.** Один из аппаратов первичной очистки от нефтепродуктов – 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 обычно равна 1 – 4 мм/с. При этом всплывают 96 – 98 % нефти. Продолжительность отстаивания не менее 2 ч.

Скорость всплытия нефтепродуктов  $w_0$ , м/с, равна:

$$w_0 = \frac{(\rho_{H_2O} - \rho_{н/пр})gd_{ч}^2}{18\mu_{H_2O}},$$

где  $\rho_{H_2O}$ ,  $\rho_{н/пр}$  – плотность воды и нефтепродуктов соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>);  $d_{ч}$  – диаметр частиц нефтепродуктов, м;  $\mu_{H_2O}$  – динамическая вязкость воды ( $\mu_{H_2O} = 0,001$  Па·с).

Определение скорости осаждения для тяжёлых нефтепродуктов  $w_{ос}$ , м/с:

$$w_{ос} = \frac{(\rho_{н/пр} - \rho_{H_2O})gd_{ч}^2}{18\mu_{H_2O}}.$$

Расчет длины нефтеловушки:

$$L = a \frac{w}{w_0} h,$$

где  $w$  – скорость движения воды в нефтеловушке, м/с;  $a$  – коэффициент, зависящий от отношения  $w/w_0$ ;

$w/w_0$	0,1	10	15	20;
$a$	1,2	1,5	1,65	1,75;

$h$  – глубина рабочей проточной части нефтеловушки (обычно  $h = 1 - 2$  м).

Ширину нефтеловушки  $B$ , м, находят из формулы

$$B = F/L,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения нефтеловушки, м<sup>2</sup>:

$$F = Q/w_0.$$

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

Количество нефтепродуктов в шламе, кг/с:

$$G_{\text{н/пр}} = QC_{\text{н/пр}}\alpha,$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $C_{\text{н/пр}}$  – концентрация нефтепродуктов на выходе из песколовки, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – степень очистки ( $\alpha = 0,60 - 0,70$ ).

В шламе содержится до 80 % воды.

Рассчитывается расход обводненного шлама. Время сбора шлама  $\tau = 1 - 24$  ч.

Масса шлама  $M$ , накапливающегося за время сбора  $\tau$ :

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

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

$$\rho_{\text{шл}} = \bar{x}_{\text{ТВ}} \rho_{\text{ТВ}} + \bar{x}_{\text{H}_2\text{O}} \rho_{\text{H}_2\text{O}},$$

где  $\bar{x}_{\text{ТВ}}$  и  $\bar{x}_{\text{H}_2\text{O}}$  – 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, кг/м<sup>3</sup>.

Рабочий объем емкости для сбора шлама  $V_{\text{раб}}$ , м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{раб}} = M_{\text{шл}}/\rho_{\text{шл}}, \quad V_{\text{geom}} = 1,2V_{\text{раб}}.$$

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

$$C_{\text{к1}} = C_{\text{н}} - C_{\text{н}}\alpha.$$

**4. Усреднители** – аппараты, усредняющие водные потоки по объемам и концентрациям примесей. Во избежание выпадения осадков их устанавливают обязательно после песколовков.

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

Находят объем усреднителя, м<sup>3</sup>:

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

где  $V_{\text{з.выб}}$ ,  $V_{\text{ц.кол}}$ ,  $V_{\text{зап}}$  – объем, учитывающий возможность залпового выброса, объем, учитывающий циклические колебания работы аппарата, и запасный объем аппарата соответственно.

$$V_{\text{зап}} = Q\tau_{\text{раб}},$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $\tau_{\text{раб}}$  – время работы аппарата, ч ( $\tau_{\text{раб}} = 1 - 3$  ч).

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

где  $\tau_{\text{з.выб}}$  – время залпового выброса, ч;  $\kappa_{\text{П}}$  – коэффициент подавления залпового выброса.

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

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

Определяем  $V_{\text{ц.кол}}$ :

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

где  $\tau_{\text{ц}}$  – время циклических колебаний, ч ( $\tau_{\text{ц}} = 1 - 2$ ).

Определение площади поперечного сечения усреднителя  $F$ , м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q1000}{nU_{\text{с}}3600},$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $U_{\text{с}}$  – скорость движения воды вдоль усреднителя через поперечное сечение, мм/с ( $U_{\text{с}} \leq 2,5$ );  $n$  – число секций усреднителя.

Ширина усреднителя  $B$ , м:

$$B = F/H,$$

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

Длина усреднителя  $L$ , м:

$$L = \frac{V_{\text{общ}}}{F}.$$

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

Определяем длину барботера  $l_{\text{б}}$  при укладке поперёк усреднителя, м:

$$l_{\text{б}} = H_{\Gamma} + B - 2b_1 - h_1,$$

где  $B$  – ширина секции усреднителя, м;  $H_{\Gamma}$  – геометрическая высота усреднителя, м:

$$H_{\Gamma} = 1,2H,$$

где  $H$  – расчетная высота усреднителя, м;  $b_1$  – расстояние барботера от стены усреднителя (принимаяем  $b_1 = 0,1$  м);  $h_1$  – расстояние барботера от дна усреднителя (принимаяем  $h_1 = 0,15$  м).

Число барботеров  $N_{\bar{6}}$ :

$$N_{\bar{6}} = L/l,$$

где  $L$  – длина усреднителя, м;  $l$  – расстояние между барботерами (принимаяем  $l = 3 - 7$  м).

*Расчет удельного расхода воздуха  $q_{\bar{в}}$ .*

$q_{\bar{в}}$  – удельный расход воздуха, приходящийся на 1 м длины барботера в единицу времени, м<sup>3</sup>/(м·ч).

Вычисляем  $q_{\bar{в}}$  из следующего выражения:

$$l \leq 2(0,5 + 2,8H_{\min}) \lg(1 + q_{\bar{в}}),$$

где  $H_{\min}$  – минимальная глубина заполнения усреднителя

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

*Общий расход воздуха  $Q_{\bar{в}}$ :*

$$Q_{\bar{в}} = q_{\bar{в}} l_{\bar{6}} N_{\bar{6}}.$$

**5. Вертикальный отстойник.** Отстаивание применяют для осаждения из сточных вод мелких ( $d_{\text{ч}} < 0,1$  мм) грубодисперсных примесей под действием силы тяжести.

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический резервуар с коническим дном. Осаждение происходит в восходящем потоке воды. Высота зоны осаждения 4 – 5 м. Частицы движутся с водой вверх с определенной скоростью, а под действием силы тяжести – вниз. Поэтому частицы будут занимать различное положение в отстойнике. Эффективность осаждения в вертикальных отстойниках ниже на 10 – 20 %, чем в горизонтальных.

*Порядок расчёта вертикальных отстойников*

1. Находят критерий Архимеда  $Ar$ :

$$Ar = \frac{d_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{ж}}) \rho_{\text{ж}} g}{\mu^2},$$

где  $d_{\text{ч}}$  – диаметр частиц, м;  $\rho_{\text{ТВ}}$ ,  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность взвешенных частиц и воды соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

2. Рассчитываем скорость свободного осаждения  $w_{\text{св}}$ , м/с:

При  $Ar \leq 36$  
$$w_{cb} = \frac{d_c^2 (\rho_{TB} - \rho_{ж}) g}{18\mu}.$$

3. Определение скорости стесненного осаждения частиц  $w_{ct}$ , м/с:

$$w_{ct} < w_{cb}, \quad w_{ct} = w_{cb} E^2 10^{-1,82(1-E)}.$$

Здесь  $E$  – объемная доля жидкости в сточной воде ( $E \geq 0,7$ ):

$$E = 1 - \frac{\bar{x}\rho_B}{\rho_{TB}},$$

где  $\bar{x}$  – массовая доля взвешенных частиц;  $\rho_{TB}$ ,  $\rho_B$  – плотность твёрдого и сточной воды, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_B = \frac{1}{\frac{\bar{x}}{\rho_{TB}} + \frac{1-\bar{x}}{\rho_{H_2O}}}.$$

4. Определение количества сточных вод, кг/с:

$$G_H = Q\rho_B,$$

где  $Q$  – объёмный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с.

5. Площадь осаждения твердых частиц  $F$ , м<sup>2</sup>:

$$F = A \frac{G_H (1 - \bar{x}/\bar{x}_{ct})}{\rho_B w_{ct}},$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий тип сгустителя (принимаем  $A = 1,33$ );  $\bar{x}_{ct}$  – содержание твердых веществ в осадке сгустителя (принимаем  $\bar{x}_{ct} = 0,4$ ).

Выбираем типовой отстойник по величине площади осаждения  $F$ .

Коэффициент запаса: 
$$K_3 = \frac{F_{пром} - F}{F_{пром}} 100\%.$$

**6. Горизонтальный отстойник.** Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар, снабженный расположенными с торцевых сторон впускным и выпускным устройствами, а также механизмом для сбора осадка. Глубина проточной части отстойников обычно 2,5 – 4 м. Глубина зоны накопления осадка зависит от средней концентрации взвешенных веществ и продолжительности работы отстойника между его чистками.

Горизонтальные отстойники могут быть как одноэтажные, так и двухэтажные, но с общим устройством для входа и выхода воды. Повороты воды в отстойниках не допускаются ни по вертикали, ни по горизонтали. В промышленных отстойниках отношение длины отстойника  $L$  к его высоте  $H$  составляет:  $L : H = (8 - 12) : 1$ .

Ширина  $B$  одной секции отстойника составляет 6 – 9 м.

Поверхность  $F$  отстойника можно рассчитать по следующей формуле:

$$F_{\text{общая}} = \frac{aQ}{3,6W_0}, \text{ м}^2,$$

где  $Q$  – производительность по сточной воде, м<sup>3</sup>/ч;  $W_0$  – скорость выпадения взвешенных веществ, мм/с;  $a$  – коэффициент, зависящий от соотношения  $L/H$  (табл. 1).

Таблица 1  
Значение коэффициентов  $a$  и  $K$  в зависимости от отношения  $L/H$

$L/H$	10	15	20	25
$a$	1,33	1,5	1,57	1,82
$K$	7,5	10	12	13,5

Ширина отстойника  $B$ , м:

$$B = \frac{Q}{3,6W_{\text{cp}}HN},$$

$$B = \frac{Q}{3,6 \cdot W_{\text{cp}} \cdot H \cdot N}$$

где  $W_{\text{cp}}$  – средняя скорость движения воды в отстойнике;  $N$  – число секций в отстойнике.

Для расчетов можно воспользоваться табл. 2.

Таблица 2  
Скорость выпадения взвешенного вещества  $W_0$  и средняя горизонтальная скорость движения воды в отстойнике  $W_{\text{cp}}$

Концентрация взвешенных веществ, мг/л	$W_0$ , мм/с	$W_{\text{cp}}$ , мм/с, при $K$			
		7,5	10	12	13,5
До 50	0,35	2,6	3,5	4,2	4,7
	0,4	3	4	4,8	5,4
	0,45	3,4	4,5	5,4	6,1
50 - 250	0,45	3,4	4,5	5,4	6,1
	0,5	3,8	5	6	6,8
Больше 250	0,5	3,8	5	6	6,8
	0,55	4,1	5,5	6,6	7,4
	0,6	4,5	6	7,2	8,1
Взвеси, не обработанные коагулянтми	0,12	0,9	1,2	1,4	1,6
	0,13	1	1,3	1,6	1,8
	0,14	1,05	1,4	1,7	1,9
	0,15	1,1	1,5	1,8	2

$$\text{Длина отстойника } L = \frac{F_{\text{общ}}}{BN},$$

Пример

$$Q_{\text{сут}} = 40\,000 \text{ м}^3/\text{сут} \quad \text{или} \quad Q_{\text{час}} = 1\,667 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad C_{\text{н}}=340, C_{\text{к}}=9,5 \text{ мг/л}.$$

Принимаем  $W_0 = 0,5$  мм/с; задаем  $\frac{L}{H} = 15$ , находим по табл. 1  $a = 1,5$ ,  $K = 10$  и  $W_{cp} = 5$  мм/с (см. табл. 2).

$$F_{\text{общ}} = \frac{1,5 \cdot 1667}{3,6 \cdot 0,5} \approx 1390 \text{ м}^2,$$

принимаем  $H = 2,6$  м,  $N = 4$ .

$$\text{Тогда } B = \frac{1667}{3,6 \cdot 2,6 \cdot 4 \cdot 5} \approx 9 \text{ м}.$$

$L = \frac{F_{\text{общ}}}{BN} = \frac{1390}{9 \cdot 4} = 38,6$  м, тогда  $\frac{L}{H} = \frac{38,6}{2,6} \approx 15$ , т.е. отвечает данным табл.1.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

### ***Адсорбер***

Метод адсорбции применяется для доочистки сточных вод от органических примесей, а также для глубокой очистки вод (в том числе до норм оборотного водопотребления).

Наиболее распространенным сорбентом является активный уголь, обладающий высокоразвитой поверхностью раздела фаз. Используют гранулированный уголь (размеры частиц более 1 мм) и порошкообразный (размер частиц менее 0,25 мм) различных марок (АГ-2, БАУ, АР-3, КАД-йодный и др.) Кроме того, используют другие адсорбенты – дробленый керамзит, поропласт F и т.д.

Применяют адсорберы двух типов – с движущейся и неподвижной загрузкой. Адсорберы с движущейся загрузкой устанавливают на станциях небольшой производительности, а с неподвижной загрузкой – при малом содержании взвешенных веществ в исходной воде.

Сорбционная очистка может быть регенеративной (извлеченные вещества утилизируются) или деструктивной (извлеченные вещества уничтожаются). Для регенерации адсорбентов используют термические, химические или биологические методы.

Легколетучие органические вещества и нефтепродукты удаляют высокотемпературной десорбцией воздухом (120 – 140 °С), паром (200 – 300 °С) или дымовыми газами (300 – 500 °С).

При химической регенерации органические соединения удаляют промывкой растворами кислот и щелочей.

Биологическая регенерация состоит в биохимическом окислении органических веществ в течение 10 – 20 ч.

Адсорбер для очистки сточной воды от нефтепродуктов

В качестве сорбентов нефтепродуктов используют:

1. Дробленый керамзит.
2. Пороласт F.
3. Активный уголь.

Время сорбции на угле и дробленном керамзите 2 - 4 ч, на пороласте F – 2 ч.

Сорбционная емкость  $E$ , кг/м<sup>3</sup>: дробленого керамзита 20 - 30; пороласта F 60 ; угля 40.

Десорбент нефтепродуктов – острый пар.

Сорбционная емкость активного угля по  $Pb^{2+}$   $E = 60$  кг/м<sup>3</sup>, время сорбции 6 ч, десорбент  $Pb^{2+}$  - 1н. р-р  $HNO_3$ .

1. Определяем поток загрязняющих веществ, например нефтепродуктов:

$$G_{Н/ПР} = Q(C_H - C_K), \text{ кг/ч,}$$

где  $Q$  – расход сточной воды, м<sup>3</sup>/ч;  $C_H$  – начальная концентрация нефтепродуктов, поступающая в адсорбер, кг/м<sup>3</sup>,  $C_K$  – конечная концентрация нефтепродуктов в сточной воде на выходе из адсорбера, заданная степенью очистки, кг/м<sup>3</sup> ( $C_K = C_H - \alpha C_H$ , где  $\alpha$  – степень очистки, в долях).

2. Поток адсорбента  $\Pi$  рассчитывается по формуле

$$\Pi = G / E, \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где  $E$  - сорбционная емкость адсорбента, кг/м<sup>3</sup>.

3. Рабочий объем адсорбента на один цикл адсорбции:

$$V = \Pi \cdot t, \text{ м}^3,$$

где  $t$  – время сорбции, ч.

4. Принимаем поток сорбента на 10 циклов сорбции  $V_{\text{раб}} = V \cdot 10$ .

5. Определим высоту и диаметр адсорбера.

Параметры адсорбера определим исходя из формулы

$$V_{\text{раб}} = V_{\text{ап}} = \pi \cdot D^2 \cdot H / 4,$$

где  $V_{\text{ап}}$  - рабочий объем аппарата, м<sup>3</sup> (на 10 циклов сорбции);  $D$  – диаметр аппарата, м;  $H$  – рабочая высота аппарата, м.

Отсюда

$$H = 4 \frac{V}{\pi} D^2 .$$

Рассчитаем три варианта, задавая разные значения  $D$  (от 0,5 до 3 м).

6. Выбираем вариант расчета.
7. Геометрическая высота  $H_r$  адсорбера составит
8.  $H_r = H + 2 \cdot 0,3$ .

Поскольку один адсорбер работает на сорбцию, другой – на десорбцию, потребуется как минимум два адсорбера.

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Метод биологической очистки получил широкое распространение, применяется 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 аппаратного 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 полупроницаемую 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  $100 \text{ м}^2$  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, которая представляет собой слизистые обрастания толщиной 1 – 3 мм и более на насадке биофильтров. В биопленке биофильтров наблюдается больше разнообразных представителей простейших, колеровок, 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 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 простой экспериментальный метод определения доступности веществ биодеструкции – 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. 2.

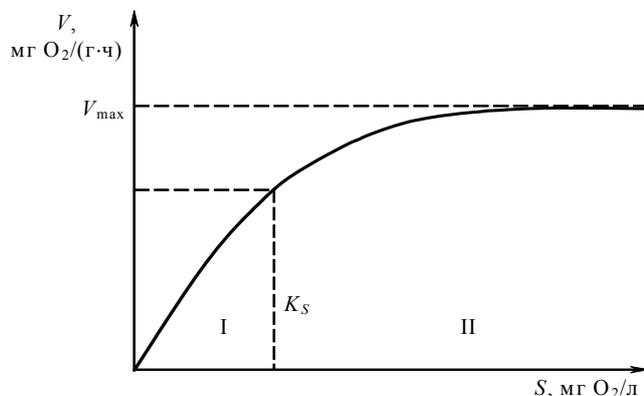


Рис. 2. Зависимость скорости реакции окисления от концентрации субстрата (окисляемых веществ)

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

$$V = V_{\max} S / (K_S + S),$$

где  $K_S$  – константа насыщения, численно равная скорости реакции в конце линейной области (значение  $K_S$  определяются экспериментально);  $V_{\max}$  – максимальная скорость реакции, мг  $O_2$ /(г·ч);  $S$  – концентрация субстрата по БПК<sub>полн</sub>.

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

$$V = V_{\max} K'_S / S,$$

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. Причина его появления – взаимодействие субстрата с промежуточными продуктами окисления с образованием неактивных комплексов.

Основные показатели биохимического окисления некоторых веществ приведены в табл. III.

Оптимальная температура для аэробных процессов, происходящих в очистных сооружениях, 20 – 30 °С.

Если температурный режим не соответствует оптимальному, то рост культуры, а также скорость обменных процессов в клетке заметно ниже максимальных значений (рис. 3).

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.

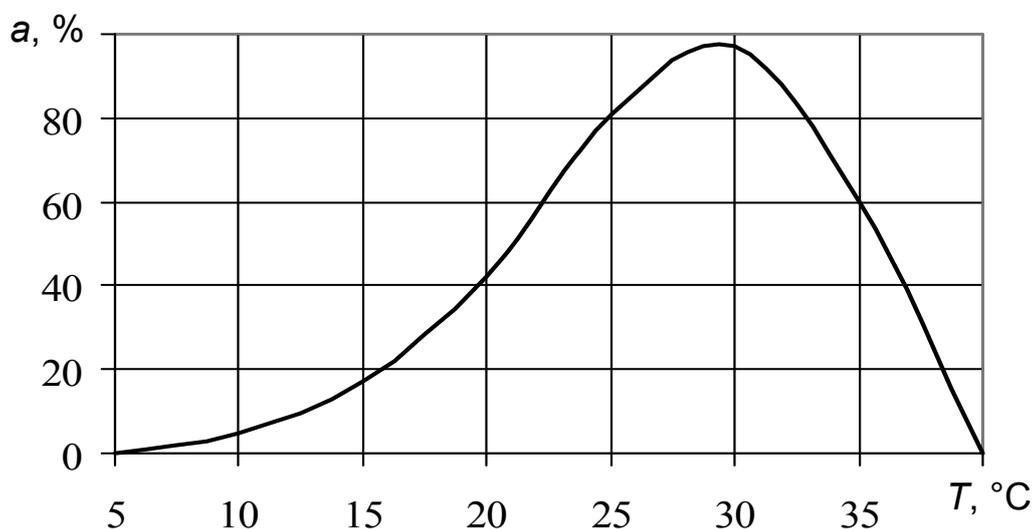


Рис. 3. Температурная зависимость активного ила

Одним из возможных путей интенсификации работы биологических очистных сооружений является повышение концентрации микроорганизмов. Скорость биохимического окисления прямо пропорциональна 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 массообмена, недостатка кислорода или угнетения их жизнедеятельности продуктами метаболизма.

Один из методов интенсификации процессов биохимического окисления – разделение процесса на стадии (ступени). На процесс биохимического окисления влияет рН воды. Бактерии лучше развиваются в нейтральной или слабощелочной средах. Для большинства грибов и дрожжей более бла-

гоприятна 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, так как 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:

$$C_a = 5S_0/100,$$

$$C_{\text{ф}} = S_0/100,$$

где  $C_a$  – концентрация усвояемых соединений азота в пересчете на азот, мг/л;  $C_{\text{ф}}$  – концентрация усвояемых соединений фосфора в пересчете на фосфор, мг/л;  $S_0$  – БПК<sub>полн</sub> сточной воды, поступающей на очистку, мг  $O_2$ /л.

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

## 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 устройств и блока загрузки (рис. 4).

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 выносится 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.

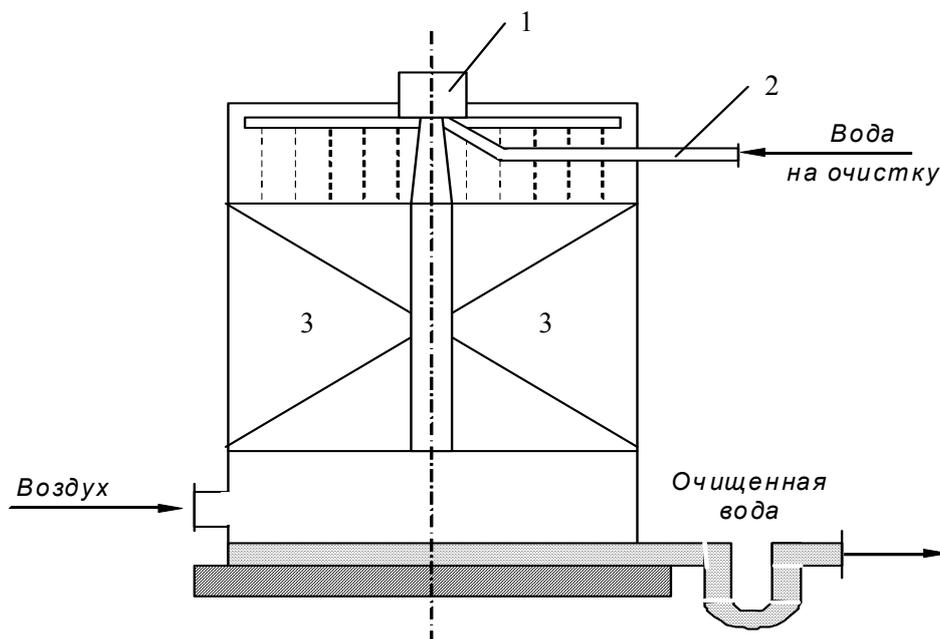


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема биофильтра: 1 – реактивный ороситель; 2 – подающий трубопровод; 3 – блок загрузки

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 следующие 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 воды до 1000 м<sup>3</sup>/сут; высоконагружаемые и башенные – при расходах до 30 – 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут: допускается применять высоконагружаемые фильтры большой пропускной способности.

В качестве загрузочного материала в биофильтрах с объемной загрузкой используют щебень, гравий, шлак, керамзит, другие материалы плот-

ностью 500 – 1500 кг/м<sup>3</sup> 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/м<sup>3</sup> при высоте слоя 1 – 6 м; жесткая блочная в виде решеток или блоков, собранных из чередующихся плоских и гофрированных листов; различные виды пластмасс плотностью 40 – 100 кг/м<sup>3</sup> при высоте слоя 2 – 16 м, а также асбестоцементные листы плотностью 200 – 250 кг/м<sup>3</sup> 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/м<sup>3</sup> 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 незаиливаемостью таких фильтров и лучшим обменом воздуха. Достигается это благодаря применению крупного загрузочного материала и повышению гидравлической нагрузки. Проектируются эти биофильтры 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 очистки, так и для полной.

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 причинами неудовлетворительной работы биофильтров могут 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 элемен-

тов 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 тому подобного в концентрациях, превышающих допустимые; засорение или замерзание оросителей и др.

**Методика расчета.** Применяемые расчетные формулы для проектирования биофильтров 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, вторая группа – формулы, основанные на представлениях о кинетике реакций окисления.

Качество очищенной воды для практических целей оценивают обычно по показателю БПК<sub>полн</sub> (за 30 дней), а в расчетах полное окисление воды производится до БПК<sub>полн</sub> = 15 мг О<sub>2</sub>/л.

Метод расчета биофильтров основан на определении окислительной мощности (ОМ), в граммах кислорода в сутки, которая может быть получена с 1 м<sup>3</sup> загрузочного материала для снижения БПК<sub>полн</sub> сточной жидкости до 15 мг О<sub>2</sub>/л:

$$OM = (S_0 - S)/V_1,$$

где ОМ – окислительная мощность, г БПК/(м<sup>3</sup>·сут) (табл. П2); V<sub>1</sub> – объем загрузочного материала, необходимый для очистки 1 м<sup>3</sup>/сут сточной воды, м<sup>3</sup>; S<sub>0</sub> – БПК<sub>полн</sub>, поступающих на очистку сточных вод, г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>; S – БПК<sub>полн</sub> выходящих сточных вод после очистных сооружений, г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>.

Зная суточное количество сточных вод Q и окислительную мощность ОМ, можно определить общий объем загрузочного материала:

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

где Q – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Задаваясь предварительно высотой фильтра, определяют площадь биофильтра:

$$F = V/H,$$

где F – площадь фильтра, м<sup>2</sup>; H – высота фильтра, м.

Типовые диаметры биофильтров: 6, 12, 18, 24 и 30 м. Величина БПК<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих на биофильтры, не должна превышать 220 г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> для капельных биофильтров и 300 г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> для высоконагружаемых биофильтров.

При значениях S<sub>0</sub> выше допустимых необходимо предусмотреть рециркуляцию воды, коэффициент которой определяется по формуле

$$R = (S_0 - S_{см})/(S_{см} - S),$$

где  $R$  – коэффициент рециркуляции;  $S_{\text{см}}$  – БПК<sub>полн</sub> циркулирующей смеси, г  $\text{O}_2/\text{м}^3$ , определяемая по формуле

$$S_{\text{см}} = K_T S,$$

где  $K_T$  – температурная константа потребления кислорода (для 8 – 10 °С  $K_T = 4,4$ ). Для других температур  $K_T$  определяют из уравнения

$$K_T = 0,117T(H/3)K_{10},$$

где  $K_{10} = 4,4$ ;  $T$  – температура воды, °С;  $H$  – высота биофильтра, м.

Зная коэффициент рециркуляции  $R$ , определяют объем рециркулирующей воды  $Q_R$ :

$$Q_R = QR,$$

где  $Q$  – количество поступающей на очистку воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

Необходимое количество воздуха для аэрации биофильтра определяется по формулам

$$B_0 = S_0/21,$$
$$B = B_0(Q + Q_R),$$

где  $B_0$  – удельный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , жидкости;  $B$  – расход воздуха в сутки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

Высоконагружаемые биофильтры, как правило, выполняют одноступенчатыми, рабочую высоту принимают от 2 до 4 м. Повышению эффективности работы высоконагружаемых биофильтров малой высоты способствует рециркуляция, которая компенсирует недостаток высоты загрузки. Обычно, чем больше загрязнение воды и хуже климатические условия, тем выше принимается кратность рециркуляции. Гидравлическая нагрузка биофильтров следующая: капельный биофильтр – 2 – 5  $\text{м}^3$  ( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ), высоконагружаемый – 10 – 30  $\text{м}^3$  ( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ).

Для высоконагружаемого фильтра выбирается гидравлическая нагрузка  $q$  и уточняется площадь биофильтра:

$$F = (Q + Q_R)/q.$$

Гидравлическая нагрузка биофильтра может быть рассчитана на основании нагрузки в граммах БПК на 1  $\text{м}^2$  в сутки  $N$ :

$$q = N/S_{\text{см}}.$$

Для высоконагружаемых биофильтров  $N$  обычно равна 1 700 – 3 000 г БПК/( $\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ ).

Эффективность работы биофильтра по очистке сточных вод  $\alpha$  определяется по формуле, %,

$$\alpha = \frac{S_0 - S}{S_0} 100.$$

**Пример расчета.** Сточные воды в количестве  $1200 \text{ м}^3/\text{сут}$ , содержащие фенола  $50 \text{ мг/л}$ , нефтепродуктов  $30 \text{ мг/л}$ , ацетона  $100 \text{ мг/л}$  и метанола  $60 \text{ мг/л}$ , должны быть подвергнуты полной биологической очистке на биофильтре. Вода имеет температуру  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*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  $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , для ее очистки следует принять высоконагружаемый биофильтр.

2. Определяем БПК воды, используя данные табл. П1, П2.

БПК фенола	$50 \cdot 1,18 = 59$ ;
БПК нефтепродуктов	$30 \cdot 2,1 = 63$ ;
БПК ацетона	$100 \cdot 1,62 = 162$ ;
БПК метанола	$60 \cdot 1,02 = 61,2$ .

Общее БПК воды равно  $402,2 \text{ мг О}_2/\text{л}$ , или  $\text{г О}_2/\text{м}^3$ .

3. В связи с тем что БПК<sub>полн</sub> воды превышает  $300 \text{ г О}_2/\text{м}^3$ , биофильтр должен работать с рециркуляцией.

4. Полная биологическая очистка воды предполагает очистку воды до БПК<sub>полн</sub> =  $15 \text{ г О}_2/\text{м}^3$  ( $S$ ).

5. Расход воды  $Q$  всего на  $200 \text{ м}^3/\text{сут}$  превышает допустимый расход на капельные биофильтры, поэтому принимаем высоту биофильтра  $H = 2 \text{ м}$  и минимальную ОМ, равную  $1000 \text{ г БПК}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  (см. табл. П2).

6. Определяем общий объем загрузочного материала:

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

7. Определяем площадь фильтра без учета рециркуляции

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

8. При этом диаметр биофильтра должен быть

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 232,3}{3,14}} = 17,2 \text{ м}.$$

Уточняем параметры биофильтра с учетом циркуляции.

9. Определяем количество рециркулирующей воды. Коэффициент рециркуляции определяем по формулам:

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

$$K_{18} = 0,11718(2/3)4,4 = 6,17; \quad S_{\text{см}} = 6,17 \cdot 15 = 92,5 \text{ г О}_2/\text{м}^3;$$

$$R = \frac{402,2 - 92,5}{92,5 - 15} = \frac{309,7}{77,5} = 3,99; \quad Q_R = QR = 4\,788 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

10. Гидравлическая нагрузка высоконагружаемых биофильтров 10 – 30 м<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·сут). Принимаем гидравлическую нагрузку, равной 20 м<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·сут), и рассчитываем необходимую площадь биофильтра с учетом рециркуляции:

$$F = \frac{Q + Q_R}{q} = \frac{1\,200 + 4\,788}{20} = 299,4 \text{ м}^2.$$

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 299,4}{3,14}} = 19,53 \text{ м} - \text{типовой биофильтр с диаметром 20 м.}$$

11. Удельный расход воздуха

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

12. Общий расход воздуха в сутки

$$B = B_0(Q + Q_R) = 19,15 \cdot 5\,988 = 114\,670,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

13. Эффективность работы биофильтра

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

### Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой биопенка?
2. Что используют в качестве загрузочных материалов в теле биофильтра?
3. Как устроен капельный биофильтр?
4. Что такое окислительная мощность биофильтра?
5. Если БПК<sub>полн</sub> сточных вод не превышает 200 мг О<sub>2</sub>/л и расход воды составляет 900 м<sup>3</sup>/сут, какой тип биофильтра можно рекомендовать для их очистки?
6. В каком случае применяется рециркуляция сточной воды при очистке на биофильтрах?
7. Как определить количество воздуха, необходимое для аэрации биофильтра?
8. Каково предельное солесодержание сточных вод, поступающих на биологическую очистку?

## 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. 5));
- способу регенерации активного ила (с отдельно стоящими регенераторами и совмещенные);
- нагрузкам на активный ил (высоконагружаемые, обычные и низконагружаемые);
- количеству ступеней очистки (одно-, двух- и многоступенчатые);
- режиму ввода сточной жидкости (проточные и контактные с переменным рабочим уровнем);
- конструктивным признакам (прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки и др.);
- типу систем аэрации (с пневматическими, механическими, гидродинамическими и пневмомеханическими аэраторами).

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 раз-

ных физиологических стадиях своего развития. На начальной стадии процесса наблюдается избыток питательных веществ, на конечной – 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 трудноосуществимой.

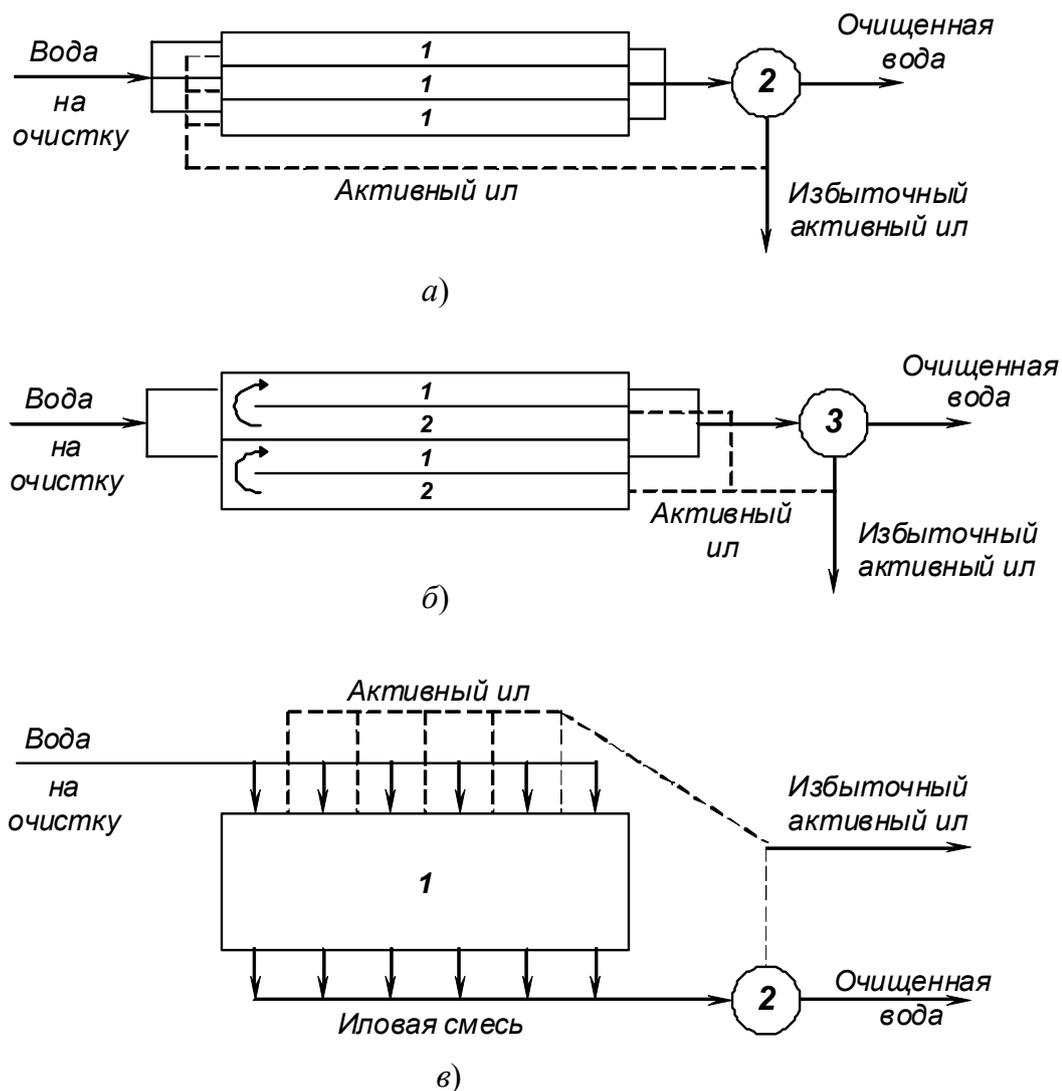


Рис. 5. Схемы работы аэротенков: а – с сосредоточенным поступлением стоков; 1 – аэротенки; 2 – отстойники; б – с сосредоточенным поступлением стоков и аэрацией возвратного ила; 1 – аэротенки; 2 – регенераторы; 3 – отстойники; в – с рассредоточенным впуском и выпуском смеси сточной воды и активного ила; 1 – аэротенк-смеситель; 2 – отстойник

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 (см. рис. 5). 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.

Аэротенки, совмещенные с регенераторами активного ила, обладают существенным недостатком, который проявляется в том, что за счет продолжительного 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. 6).

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  $6\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ .

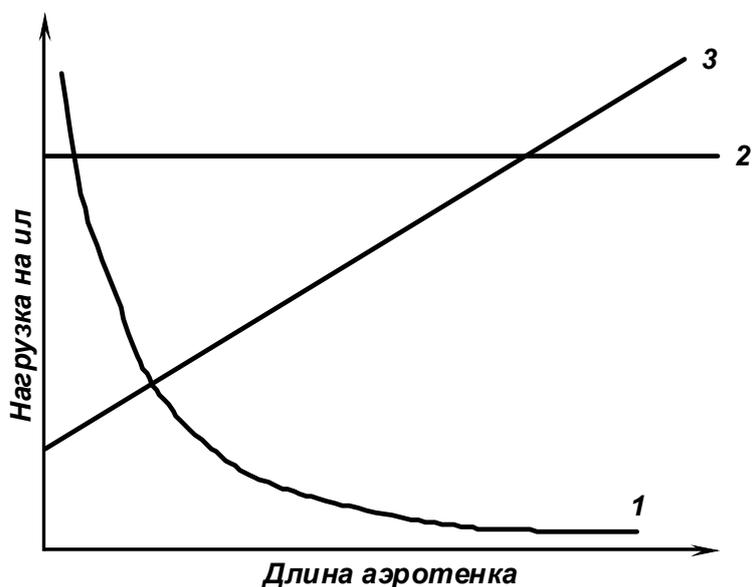


Рис. 6. Распределение нагрузки на ил в аэротенках разных типов: 1 – вытеснители; 2 – смесители; 3 – с рассредоточенной подачей воды и ила

**Методика расчета.** При расчете аэротенков всех систем необходимо учитывать факторы, оказывающие влияние на скорость процесса: дозу ила, концентрацию загрязнений 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<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих на очистку в аэротенках, не должно превышать  $1\,000 - 1\,200\text{ мг О}_2/\text{л}$  для двухступенчатой системы и  $500\text{ мг О}_2/\text{л}$  – для одноступенчатой.

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

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

где  $A$  – зольность ила в долях единицы, принимается 0,3;  $S_0$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенк воды, мг  $O_2$ /л;  $S$  – БПК<sub>полн</sub> очищенной воды, равен 15 мг  $O_2$ /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, мг БПК/(г·ч) (табл. П4).

Степень циркуляции активного ила  $R$  в аэротенках рассчитывается по формуле

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

где  $J$  – иловый индекс (табл. П5).

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 определения илового индекса необходимо знать нагрузку на 1 г беззольного вещества ила  $K_{\text{ил}}$  в сутки:

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

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

$$\alpha_{\text{рег}} = \left( \frac{1}{2R} + 1 \right) \alpha_{\text{аэр}}.$$

Необходимо знать объем циркулирующего активного ила  $U$ , м<sup>3</sup>:

$$U = \frac{\alpha_{\text{аэр}}QR}{\alpha_{\text{рег}}},$$

где  $Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч.

БПК<sub>полн</sub> сточных вод с иловой смесью в аэротенке  $S_{\text{см}}$ , мг  $O_2$ /л, устанавливают по формуле

$$S_{\text{см}} = \frac{S_0Q + SQ}{Q + U}.$$

Продолжительность пребывания сточных вод в собственно аэротенке  $t_a'$ , ч:

$$t_a' = \frac{2,5}{\alpha^{0.5}} \lg \frac{S_{\text{см}}}{S}.$$

Продолжительность окисления снятых загрязнений  $t_0$ , ч:

$$t_0 = \frac{S_0 - S}{R\alpha_{\text{пер}}(1 - A)r}.$$

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

$$t_p = t_0 - t_a'.$$

Объем собственно аэротенка  $V_a$ , м<sup>3</sup>:

$$V_a = t_a'(Q + U).$$

Объем регенератора  $V_p$ , м<sup>3</sup>:

$$V_p = t_p \cdot U.$$

Общий объем аэротенка и регенератора  $V$ , м<sup>3</sup>:

$$V = V_a + V_p.$$

Прирост ила  $P_p$ , мг/л, в аэротенках всех типов определяется по формуле

$$P_p = 0,8B_B + 0,3S_0,$$

где  $B_B$  – количество взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л.

Удельный расход воздуха  $B_0$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воды, при очистке сточных вод в аэротенке

$$B_0 = \frac{n(S_0 - S)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)},$$

где  $n$  – удельный расход кислорода на 1 мг БПК (принимается для полной очистки – 1,1 мг/мг; для неполной очистки – 0,9 мг/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. П6);  $n_1 = 1 + 0,002(T_{\text{ср}} - 20)$  – коэффициент, учитывающий среднемесячную температуру сточных вод;  $T_{\text{ср}}$  – среднемесячная температура сточной воды за летний период;  $n_2$  – коэффициент, учитывающий отношение 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:

$$C_p = (1 + H/21)C_T,$$

где  $C_T$  – растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры и давления (определяется по табл. П7);  $C$  – концентрация кислорода в аэротенке – 2 мг/л;  $H$  – рабочая глубина аэротенка (табл. П10, П11), м.

Использование кислорода  $N$  при аэрации определяется по формуле

$$N = 4,34dH,$$

где  $d$  – дефицит кислорода (табл. П8), доли единицы.

Гидравлическая нагрузка аэротенка  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч):

$$q = Q/F,$$

где  $F$  – площадь аэротенка,  $F = V/H$ , м<sup>2</sup>.

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

$$w = Wx,$$

где  $W$  – удельная скорость биохимического окисления органического вещества, отнесенная к 1 кг сухого беззольного активного ила в аэротенке (табл. П12), мг/(г·ч);  $x$  – концентрация активного ила в иловой смеси, г/л.

$$x = \frac{S_{см}}{Jm\alpha_{рег}},$$

где  $m$  – нагрузка (количество загрязнений) на 1 г активного ила (табл. П9), г;  $J$  – иловый индекс (принимается равным 50 – 100).

Содержание биогенных элементов  $N$  и  $P$  рассчитывают по формулам

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

где  $C_a$  и  $C_{\phi}$  – концентрации соединений азота и фосфора соответственно в пересчете на азот и фосфор, мг/л.

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

– азотсодержащих веществ  $M_a = C_a X_a Q / (14n_a)$ ;

– фосфорсодержащих веществ  $M_{\phi} = C_{\phi} X_{\phi} Q / (31n_{\phi})$ ,

где  $M_a$  и  $M_{\phi}$  – необходимое количество азота и фосфора, г/м<sup>3</sup>;  $X_a$  и  $X_{\phi}$  – молекулярные массы азотсодержащих и фосфорсодержащих веществ;  $n_a$  и  $n_{\phi}$  – количество атомов азота и фосфора в молекулах применяемых веществ.

**Пример расчета.** Сточные воды нефтехимического производства в количестве 500 м<sup>3</sup>/сут, содержащие взвешенные вещества в количестве 100 мг/л и имеющие БПК<sub>полн</sub> 450 мг/л, направляются на биологические очистные

сооружения для полной очистки. Среднемесячная температура воды в летнее время 24 °С.

*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:

$$K_{\text{ил}} = \frac{24(450 - 15)}{3(1 - 0,3)9} = 552,4 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{сут}).$$

3. Доза ила, поступающего в регенератор

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

4. Объем циркулирующего ила

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

5. БПК<sub>полн</sub> сточных вод с иловой смесью в аэротенке  $S_{\text{см}}$ :

$$S_{\text{см}} = \frac{450 \cdot 20,8 + 15 \cdot 20,8}{20,8 + 4,74} = 378,7 \text{ мг } O_2/\text{л}.$$

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

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

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  $V_p = 7,27 \cdot 4,74 = 34,46 \text{ м}^3$ .

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

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

13. Удельный расход воздуха

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

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

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

14. Гидравлическая нагрузка

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

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

15. Средняя скорость биохимического окисления органического вещества

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

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

### 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  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  характерно для очищенной сточной воды?
10. Какие основные параметры определяют при расчёте аэротенков?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Основные показатели биохимического окисления веществ

Субстрат	Химическое потребление кислорода (ХПК), г O <sub>2</sub> /г	Биохимическое потребление кислорода (БПК), г O <sub>2</sub> /г	БПК, % ХПК	$V_{max}$ , мг O <sub>2</sub> /г·ч	$K_s$ , мг БПК/л
Метанол	1,56	1,02	68	830	1,67
Пропанол	2,3	1,68	70	200	1,43
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 П2

Окислительная мощность биофильтров

Показатель	Биофильтр	
	капельный	высоконагруженный
ОМ, г БПК/(м <sup>3</sup> ·сут)	100 – 400	500 – 1500

Таблица П3

Значение константы насыщения для разных биологических фильтров

Показатель	Биофильтр		
	капельный	высоконагруженный	с пластмассовой загрузкой
$K_s$ , мг БПК/л	0,8	0,434	0,333

Таблица П4

## Средняя скорость окисления сточных вод

БПК <sub>полн</sub> сточной воды, поступающей на аэротенк, мг/л	Средняя скорость окисления $r$ БПК <sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч в зависимости от БПК <sub>полн</sub> , мг					
	15	20	25	30	40	50 и более
$\alpha_{\text{аэр}} < 1,8$ г/л						
100	20	22	24	27	35	47
200	22	24	28	32	42	57
$\alpha_{\text{аэр}} > 1,8$ 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 П5

## Значение илового индекса

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

Таблица П6

Коэффициент  $K_2$ 

$H$ , 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 П7

Растворимость кислорода 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 П8

Дефицит кислорода  $d$ 

Показатель	Снижение БПК, %			
	50	60	70	80
$d$ , доли единицы	1	0,9	0,8	0,7

Таблица П9

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 П10

Основные параметры аэротенков-смесителей

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

Таблица П11

## Основные параметры типовых аэротенков-вытеснителей

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

Таблица П12

Значение удельной скорости биохимического окисления *W*

Сточные воды	Скорость окисления, мг/(г·ч)	Сточные воды	Скорость окисления, мг/(г·ч)
Бытовые	20,0	Производство волокна лавсан	36,0
Общий сток:			
нефтеперерабатывающих заводов, химических производств, содержащих метанол, бутанол, ацетальдегид	10,0	Фенольные	16,0
	10,0	Производство каучука: изопренового дивинилстирольного	12,0
			7,0

## Рекомендательный библиографический список

1. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1985. – 75 с.
2. Очистка природных и сточных вод: справочник / под ред. Л. Пааль. – М. : Высш.шк., 1994. - 326 с.
3. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: справ. пособие к СНиП / под ред. З. С. Шестопаловой. – М. : Стройиздат, 1990. –192 с.
4. *Ковалева, Н. Г.* Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности / Н. Г. Ковалева, В. Г. Ковалев. – М. : Химия, 1987. - 160 с.
5. *Ласков, Ю. М.* Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, В. А. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1987. – 256 с.
6. *Хаммер, М.* Технология обработки природных и сточных вод / М. Хаммер. – М. : Химия, 1979. – 400 с.
7. *Трифонова, Т. А.* Прикладная экология : учеб. пособие для вузов / Т. А. Трифонова, Н. В. Селиванова, Н. В. Мищенко. – М. : Академпроект; Традиция, 2007. – 320 с. – ISBN 5-829100502-0.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>Основы расчетов при разработке технологических решений в проекте.....</b>	<b>3</b>
<b>Механическая очистка сточных вод и оборудование.....</b>	<b>4</b>
<b>Физико-химическая очистка воды и оборудование.....</b>	<b>12</b>
<b>Биохимическая очистка сточных вод.....</b>	<b>14</b>
<b>Основные параметры процесса биохимического окисления.....</b>	<b>15</b>
<b>Расчет биологических фильтров.....</b>	<b>18</b>
<b>Расчет аэротенков.....</b>	<b>25</b>
Приложение.....	34
Рекомендательный библиографический список.....	38

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Методические указания к курсовому  
и дипломному проектированию

Составители

СЕЛИВАНОВА Нина Васильевна

АНДРИАНОВ Николай Алексеевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор Т.А. Трифонова

Подписано в печать 05.06.10.

Формат 60x84/16. псл. печ. л. 2,32. Тираж 100 экз

Заказ

Издательство

Владимирский государственные университет

600000, Владимир, ул. Горького, 87.