

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМ-
МУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

по дисциплине

«ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ»

Направление подготовки **05.04.06 Экология и природопользование**

Разработчик: доцент, к.т.н. Манвелова Н.Е.

Санкт-Петербург
2018

Практическая работа № 1

Расчет решеток

Определить размеры решетки для очистной станции с максимальным расходом $q = 0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$ при населении города 200000 жителей. Сточные воды подходят к очистной станции по каналу шириной 800 мм. При наполнении $h_k = 0,87 \text{ м}$ со средней скоростью $v_k = 1,08 \text{ м/сек}$. Решетка установлена под углом 60° к дну канала.

Пример расчета:

Принимаем решетки с прозорами $b = 0,016 \text{ м}$, стержнями из полосовой стали сечением $S \times L = 8 \times 50 \text{ мм}$. Скорость движения воды в решетке $v_p = 0,8 \text{ м/сек}$. Глубину воды у решетки принимаем равной $h_p = h_k = 0,87 \text{ м}$. Число прозоров определяем по формуле: $n = Kq/b \cdot h_p \cdot v_p = 1,05 \cdot 0,75 / 0,016 \cdot 0,87 \cdot 0,8 = 70$ прозоров.

Принимаем две решетки с числом прозоров 35 в каждой. Следовательно, ширина решетки по формуле: $B_p = S(n-1) + b \cdot n = 0,008(35-1) + 0,016 \cdot 35 \cong 0,8 \text{ м}$. Принимаем две рабочие механизированные решетки размером $800 \times 1400 \text{ мм}$ по типовому проекту и одну резервную решетку такого же типа.

Общая ширина прозоров одной решетки составляет $0,56 \text{ м}$, что при наполнении канала $0,87 \text{ м}$ дает площадь живого сечения решетки, равную $0,49 \text{ м}^2$.

При расходе воды, равном $0,375 \text{ м}^3/\text{сек}$, скорость движения воды в каждой решетке составит $0,77 \text{ м/сек}$, что допустимо.

При проходе воды через решетку создается подпор $h_p = 0,12 \text{ м}$, определяемый по формуле: $h_p = [\beta (S/b)^{4/3} \sin \varphi] (v^2 \cdot k / 2g)$, где v - скорость движения воды в канале перед решеткой в м/с; k – коэффициент, учитывающий увеличение потери напора вследствие засорения решетки, который рекомендуется определять по формуле: $k = 3,3 \cdot v_p$ (v_p – скорость в прозорах решетки); β – коэффициент принимаемый по таблице 1.

Таблица 1**Значение коэффициента β**

Форма стержня	прямоугольная	круглая
β	2,42	1,79

где S - толщина стержня в метрах; b – ширина прозоров между стержнями решетки в метрах; φ – угол наклона решетки к горизонту.

На эту величину нужно понизить дно камеры решетки по отношению к дну подводящего канала, т.е. устроить перепад по дну высотой 0,12 м.

Количество отбросов, снимаемых с решетки, при норме загрязнений $a=6$ л/год на одного жителя и при объем-ном весе загрязнений в среднем 750 кг/м^3 будет: $W = a \cdot N / 365 \cdot 1000 = 6 \cdot 200000 / 365000 \cong 3,3 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $3,3 \cdot 750 \cong 2500$ кг/сутки. При таком количестве отбросов предусматривается их дробление, для чего принимается установка дробилки типа Д-3 производительностью 0,3 т/ч. В качестве резервной принимается такого же типа дробилка.

Практическая работа №2

Расчет песколовок

Краткая теоретическая справка

Для *горизонтальных песколовок* определяется необходимая площадь зеркала воды:

$$F = q_{\max} / [(U_0^2 - \omega^2)]^{1/2},$$

где q_{\max} – максимальный секундный приток сточных вод; ω – вертикальная турбу-лентность ($\omega = 0,05 \cdot v$).

Для песколовок с прямолинейным движением определяется длина песко-ловки:

$$L = H \cdot v_{\max} / [(U_0^2 - \omega^2)]^{1/2},$$

где v – скорость потока при максимальном расходе сточных вод (не более 0,3 м/сек); H – расчетная глубина песколовки; U_0 – гидравлическая крупность песка.

Ширина песколовки: $B = F/L$ (м).

Количество задерживаемого осадка: $W_{\text{вес}} = 1,5 W_{\text{общ}} \Gamma / \text{сут.}$

Для песколовок с круговым движением диаметр:

$$D = [1000 K_s \cdot H \cdot v_s / (\pi \cdot U_0)] + b,$$

где b – ширина кольцевого желоба, принимается от 0,9 до 2,0 м в зависимости от расхода стоков.

Затем проверяется продолжительность протекания стоков (не менее 30 сек.), рассчитываются дополнительные геометрические характеристики песколовок и суточный объем песка.

Расчет горизонтальной песколовки

Определить размеры горизонтальной песколовки для очистки сточных вод города с населением 200000 жителей при $q_{\max} = 0,75$ м³/сек и при $q_{\min} = 0,25$ м³/сек. Глубина воды в подводящем канале при максимальном притоке $h_1 = 0,9$ м. В песколовке должны быть задержаны частицы песка диаметром 0,25 мм. Их гидравлическая крупность по таблице 2 равна $U_0 = 0,0242$ м/сек.

Пример расчета:

Скорость в песколовке при максимальном расходе принимаем $v_{\max}=0,3\text{ м/сек}$. Для принятых условий вертикальная турбулентность $\omega=0,05$
 $v_{\max}=0,05 \cdot 300=15\text{ мм/сек}$. Определяем скорость осаждения песка расчетной крупности по формуле:

$$U = [U_0^2 - (0,05v_{\max})^2]^{0,5} = [24,2^2 - 15^2]^{0,5} = 19\text{ мм/сек}.$$

Глубину проточной части песколовки H_{\max} при максимальном расходе принимаем равной h_1 . Тогда длина песколовки по формуле: $L = v_{\max} \cdot H/U = 0,3 \cdot 0,9/0,019=14,2\text{ м}$.

Принимаем длину песколовки $L=15\text{ м}$ по типовому проекту. Площадь зеркала воды песколовки: $F=q_{\max}/U = 0,75/0,019 = 39,5\text{ м}^2$ и ширина песколовки: $B = F/L = 39,5/15 = 2,6\text{ м}$. Принимаем два рабочих и одно резервное отделение шириной $b = 1,3\text{ м}$ каждое.

Произведем расчет стабилизирующего водослива для условия: $v_{\max}=v_{\min} = 0,3\text{ м/сек}$: $K=q_{\max}:q_{\min} = 0,75:0,25 = 3$; $H_{\min}=q_{\min}/B \cdot v_{\min} = 0,25:2,6 \cdot 0,3 = 0,3\text{ м}$.

Перепад между дном песколовки и порогм водослива по формуле: $h_1 = (H_{\max}-K^{2/3} \cdot H_{\min})/(K^{2/3}-1) = (0,9-3^{2/3} \cdot 0,3)/(3^{2/3}-1) \cong 0,25\text{ м}$.

Ширина водослива по формуле: $B=q_{\max}/0,35\sqrt{2g} (h - H_{\max})^{2/3} = 0,75/0,35\sqrt{29,81(0,25-0,9)^{2/3}} = 0,38\text{ м}$.

Количество осадка при норме: $a=0,02\text{ л/сутки}$ на одного человека: $W_{\text{общ}}=N \cdot a \cdot t/1000\text{ м}^3/\text{сутки} = 200000 \cdot 0,02 \cdot 1/1000 = 4\text{ м}^3/\text{сут}$ или по весу $W_{\text{вс}} = 1,5W_{\text{общ}} = 1,5 \cdot 4 = 6\text{ т/сутки}$.

Потери напора при входе воды в песколовку и при выходе из нее определяется специальным расчетом; в среднем для горизонтальных песколовок они составляют 10–15 см.

Практическая работа №3

Аэрируемая песколовка

Определить параметры аэрируемой песколовки для очистки сточных вод города при $q=0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$. Содержание в исходной сточной воде взвешенных веществ $C_{en} = 482,5 \text{ мг/л}$. Степень очистки 60%. В песколовке должны быть задержаны частицы песка диаметром $D=0,15 \text{ мм}$. Их гидравлическая крупность по таблице 2: $U_0=0,0132 \text{ м/сек}$. Глубина песколовки-0,8м, ширина-0,5м., скорость движения воды в песколовке $v=0.1 \text{ м/сек}$, расчетная глубина равна половине общей глубины, т.е. 0,4 м.

Пример расчета:

Длина песколовки определяется по формуле: $L=H \cdot v \cdot K_s / U_0$, где H - глубина проточной части песколовки; v -скорость движения сточных вод; K_s – коэффициент, принимаемый по таблице 2 равный 2,50; U_0 –гидравлическая крупность песка. Тогда $L=0,1 \cdot 0,4 \cdot 2,50 / 0,0132 = 7,939 \text{ м}$.

Аэраторы принимаем из перфорированных труб, установленных вдоль одной из продольных стен над лотком для сбора песка на глубине 0,7. $H=0,28 \text{ м}$.

Интенсивность аэрации принимаем согласно СНиП 2.04.03-85 – $4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$. Тогда объем воздуха для аэрации составит: $q=4 \cdot B \cdot L = 4 \cdot 0,8 \cdot 7,93 = 25,405 \text{ м}^3/\text{час}$.

При заданной степени очистки 60% на выходе из песколовки в сточной воде будет содержаться $C_{ex} = 193,2 \text{ мг/л}$ взвешенных веществ.

Принимаем плотность садка - $\gamma_{mud} = 2500 \text{ кг/м}^3$, его влажность $p_{mud} = 20\%$. Количество образующегося осадка составит: $Q_{mud} = q(C_{en} - C_{ex}) / (100 - p_{mud}) = 0,75(482,5 - 193,2) / (100 - 20) = 2,712 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}$.

Практическая работа № 4

Расчет отстойников

Краткая теоретическая справка

Расчет отстойников кроме вторичных после биологической очистки, производят по кинетике выпадения взвешенных веществ с учетом необходимого эффекта осветления (рис.14).

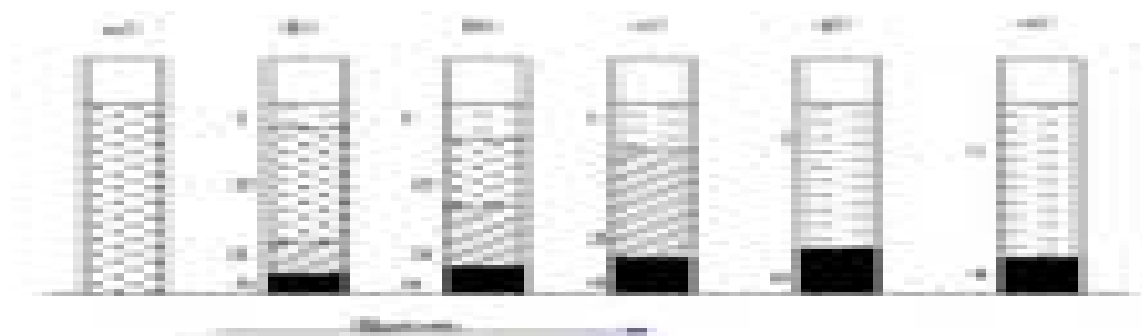


Рис.1 Кинетика осаждения сточной воды

При проведении анализа через некоторый промежуток времени образуются области: 1- осветлённой воды; 2 – свободного осаждения; 3 - стесненного осаждения; 4 - осадка.

Отстаивание заканчивается, когда 2-ая и 3-я области исчезают и завершается уплотнение осадка, что соответствует полному разделению исходной жидкости на осадок и осветленную жидкость. В результате получается графическая зависимость эффективности осаждения от продолжительности τ (час) или от гидравлической крупности U_0 .

Расчет вертикального отстойника

Значение условной гидравлической крупности определяется так: $U_0 = [1000 N_{set} \cdot K_{set}] / t_{set} \cdot (K_{set} \cdot N_{set} / h_1)^{n_2}$, где N_{set} – глубина проточной части отстойника; K_{set} -коэффициент использования объема; t_{set} -продолжительность отстаивания в модели при глубине $h_1 = 500$ мм; n_2 - показатель степени, отражающий способность взвеси к агломерации.

Принимается типовой диаметр $D = 4,6,9$ м и рассчитывается количество отстойников: $N = D^2 K_{set} \cdot \pi (u_0 - v_{tb}) / q_{max}$, где v_{tb} - турбулентная составляющая; q_{max} - максимальный секундный приток сточных вод.

Находится диаметр центральной трубы и раструба, геометрические параметры отстойника, а также объем выпавшего осадка.

Примечания:

1. Расчет отстойников для сточных вод, содержащих загрязняющие вещества легче воды (нефтепродукты, масла, жиры и т. п.), следует выполнять с учетом гидравлической крупности всплывающих частиц.

2. При наличии в воде частиц тяжелей и легче воды за расчетную принимают меньшую гидравлическую крупность.

3. В случае, когда температура сточной воды в производственных условиях отличается от температуры воды, при которой определялась кинетика отстаивания, необходимо вводить поправку: $U_o^t = (\mu_{lab} / \mu_{pr}) U_o$, где μ_{lab} , μ_{pr} - вязкость воды при соответствующих температурах в лабораторных и производственных условиях; U_o - гидравлическая крупность частиц,

4. Коэффициент K_{set} определяет гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств; указывается организацией-разработчиком.

5. Величину турбулентной составляющей v_{tb} , мм/с, в зависимости от скорости рабочего потока v_w , мм/с, определяют по табл. 7.

Таблица 7

v_w , мм/с	5	10	15
v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1

Производительность одного отстойника $q_{set}, м^3/ч$, определяют исходя из заданных геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод по формулам:

а) для горизонтальных отстойников: $q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (U_o - v_{tb})$;

б) для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сбор-
нораспределительным устройством -

$$q_{\text{set}} = 2,8 K_{\text{set}} (D_{\text{set}} - d_{\text{en}}) (U_0 - v_{\text{tb}});$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком –

$$q_{\text{set}} = 1,41 K_{\text{set}} D_{\text{set}}^2 U_0 ;$$

г) для отстойников с тонкослойными блоками при перекрестной схеме
работы- $q_{\text{set}} = 7,2 K_{\text{set}} H_{\text{bl}} L_{\text{bl}} U_0 / K_{\text{dis}} h_{\text{ti}} ;$

д) то же, при противоточной схеме - $q_{\text{set}} = 3,6 K_{\text{set}} H_{\text{bl}} V_{\text{bl}} v_w,$

где K_{set} - коэффициент использования объема, принимаемый по табл.8;

L_{set} - длина секции, отделения, м;

L_{bl} - длина тонкослойного блока (модуля), м;

V_{set} - ширина секции отделения, м;

V_{bl} - ширина тонко-слойного блока, м;

D_{set} - диаметр отстойника, м;

d_{en} - диаметр впускного устройства, м;

U_0 - гидравлическая крупность задерживаемых частиц -

$$U_0 = [1000 H_{\text{set}} \cdot K_{\text{set}}] / t_{\text{set}} \cdot (K_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}} / h_1)^{n^2} \text{ мм/с},$$

v_{tb} , - турбулентная составляющая, мм/с, принимаемая по табл.7 в зави-
симости от скорости потока в отстойнике v_w , мм/с;

H_{bl} - высота тонкослойного блока, м;

h_{ti} - высота яруса тонкослойного блока (модуля), м;

K_{dis} – коэффициент сноса выделенных частиц, принимаемый при плос-
ких пластинах равным-1,2, при рифленых пластинах-1. *Основные конструк-
тивные параметры принимают:*

а) для **горизонтальных и радиальных** отстойников:

-впуск исходной воды и сбор осветленной - равномерными по ширине
(периметру) впускного и сборного устройств отстойника;

-высоту нейтрального слоя для первичных отстойников - на 0,3 м выше
днища (на выходе из отстойника), для вторичных - 0,3 м и глубину слоя ила
0,3-0,5 м;

-угол наклона стенок илового приемка - 50-55°;

б) для **вертикальных** отстойников:

-длину центральной трубы - равной глубине зоны отстаивания; скорость движения рабочего потока в центральной трубе - не более 30 мм/с;

-диаметр раструба - 1,35 диаметра трубы;

- диаметр отражательного щита - 1,3 диаметра раструба;

- угол конусности отражательного щита - 146°;

-скорость рабочего потока между раструбом и отражательным щитом - не более 20 мм/с - для первичных отстойников и не более 15 мм/с - для вторичных;

- высоту нейтрального слоя между низом отражательного щита и уровнем осадка - 0,3 м;

-угол наклона конического днища - 50-60°;

в) для **отстойников с нисходяще-восходящим** потоком:

- площадь зоны нисходящего потока равной площади зоны восходящего;

-высоту перегородки, разделяющей зоны, - равной $2/3H_{set}$,

-уровень верхней кромки перегородки - выше уровня воды на 0,3 м, но не выше стенки отстойника;

- распределительный лоток переменной сечением - внутри разделительной перегородки.

Начальное сечение лотка рассчитывают на пропуск сточных вод со скоростью не менее 0,5 м/с, в конечном сечении скорость - не менее 0,1 м/с. Для равномерного распределения воды кромку водослива распределительного лотка выполняют в виде треугольных водосливов через 0,5 м;

г) для **отстойников с тонкослойными** блоками - угол наклона пластин от 45 до 60°.

Для повышения степени очистки или для обеспечения возможности увеличения производительности эксплуатируемых станций существующие отстойники (горизонтальные, радиальные, вертикальные) дополняются блоками

из тонкослойных элементов рис.10. В этом случае блоки необходимо располагать на выходе воды из отстойника перед водосборным лотком. Количество осадка Q_{mud} , м³/ч, выделяемого при отстаивании, определяют исходя из концентрации взвешенных веществ в поступающей воде C_{en} и концентрации взвешенных веществ в осветленной воде C_{ex} :

$$Q_{\text{mud}} = q_w (C_{\text{en}} - C_{\text{ex}}) / (100 - \rho_{\text{mud}}) \gamma_{\text{mud}} 10^4,$$

где q_w - расход сточных вод, м³/ч;

ρ_{mud} - влажность осадка, %;

γ_{mud} - плотность осадка, г/см³.

Исходя из объема образующегося осадка и вместимости зоны накопления его в отстойнике, определяют интервал времени между выгрузками осадка. При удалении осадка под **гидростатическим давлением** вместимость приемка первичных и вторичных отстойников после биофильтров предусматривают равным объему осадка, выделенного за период не более 2 сут, вместимость приемка вторичных отстойников после аэротенков - не более двухчасового пребывания осадка. При **механизированном** удалении осадка вместимость зоны накопления его в первичных отстойниках принимают по количеству выпавшего осадка за период не более 8 ч. Перемещение выпавшего осадка к приемкам осуществляют механическим способом или созданием соответствующего наклона стенок (не менее 50°). Удаление осадка из приемка отстойника предусматривают самотеком, под гидростатическим давлением, насосами, предназначенными для перекачки жидкости с большим содержанием взвешенных веществ, гидроэлеваторами, эрлифтами, ковшовыми элеваторами, грейфером и т.д. *Гидростатическое давление при удалении осадка из отстойников бытовых сточных вод принимается, не менее, кПа:*

первичных -15),

вторичных -12,

после биофильтров и аэротенков- 9.

Расчет горизонтальных отстойников

Находят средне-секундный расход стоков: $q_{cp} = Q_w / 24 \times 3600$.

Принимая коэффициент неравномерности для городских сточных вод 1,51, определяют максимальный расход стоков: $q_{max} = q_{cp} \times 1,51$.

Для расчета отстойника принимают по табличным данным H_{set} и $v_w = 0,005$ м/с., а также число отделений отстойника n . Определяют ширину отстойника:

$$B = q_{max} / n \cdot v_w \cdot H_{set}. \text{ Проверяют } v_w = q_{max} / n \cdot B \cdot H_{set}.$$

Затем определяют U_o , K_{set} , n_2 и t_{set} , соответствующие требуемому эффекту осветления. Длину отстойника рассчитывают по формуле:

$$L_{set} = v_w \times H_{set} / K_{set} \times U_o \text{ м.}$$

Пример расчета горизонтального отстойника

Исходные данные. Средняя производительность очистной станции $Q_w = 40000$ м³/сутки. Содержание взвешенных частиц

$C_o = 200$ мг/л. Требуемый коэффициент осветления $\Theta = 45\%$.

Задание: рассчитать размеры горизонтального отстойника.

Расчет: Находим средне-секундный расход стоков:

$$q_{cp} = Q_w / 24 \times 3600 = 0,463 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Общий коэффициент неравномерности для городских сточных вод составляет: 1,51.

$$\text{Тогда: } q_{max} = q_{cp} \cdot 1,51 = 0,699 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$\text{Ширина отстойника: } B = q_{max} / n \times v_w \times H_{set} = 0,699 / 6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 = 9,32 \text{ м.}$$

Принимаем - 9 м.

$$\text{Проверяем } (v_w): v_w = q_{max} / n \times B \times H_{set} = 0,699 / 6 \cdot 9 \cdot 2,5 = 5,178 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Определяем U_o , K_{set} , t_{set} , соответствующие требуемому эффекту осветления по табл.8 и 9 и рисунку 15.

Для расчета отстойника принимаем: $H_{set} = 2,5$ м, $v_w = 0,005$ м/с и число отделений отстойника $n = 6$.

$$\text{Показатель степени } n_2 = 0,3, h = 0,5 \text{ м, } t_{set} = 1800 \text{ с (среднее по табл.9).}$$

$$U_0 = H_{set} / t_{set} \cdot (H_{set}/h)^{n2} = 2,5 / 1800 (2,5/0,5)^{0,3} = 8,57 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Длина отстойника:

$$L_{set} = v_w \times H_{set} / k_{set} \times U_0 = 5,178 \times 10^{-3} \times 2,5 / 0,5 \times 8,57 \cdot 10^{-4} = 30,2 \text{ м}$$

Таблица 8

От- стойник	t_{set}	H_s et, М	H_{set} set, М	v_w мм/с	U клон днища
Го- ризон- тальный	,5	1, 5-4	H_{set} - $5H_{set}$	-10	0 ,005- 0,05
Ради- альный	,45	1, 5-5	-	-10	0 ,005- 0,05
Вер- тикальный	,35	2, 7-3,8	-	-	-
С нисход.- восход. по- током	,65	2, 7-3,8	-	U_0 - $3U_0$	-
С тонкослойными блоками:					
Про- тивоточ- ная (прямо- точ-ная) схема ра- боты	,5- 0,7	0, 025-0,2	-6	-	-
Пе- рекрестная	,8	0, 025-0,2	,5	-	0 ,005

схема ра- боты					
-------------------	--	--	--	--	--

Таблица 9

Эф- фект осветле- ния, Э %	Продолжительность отстаива- ния t_{set} , с, в слое $h_1 = 500$ мм при кон- центрации взвешенных веществ, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	144	1200	1080
50	0	1800	1500
60	720	3600	2700
70	-	-	7200

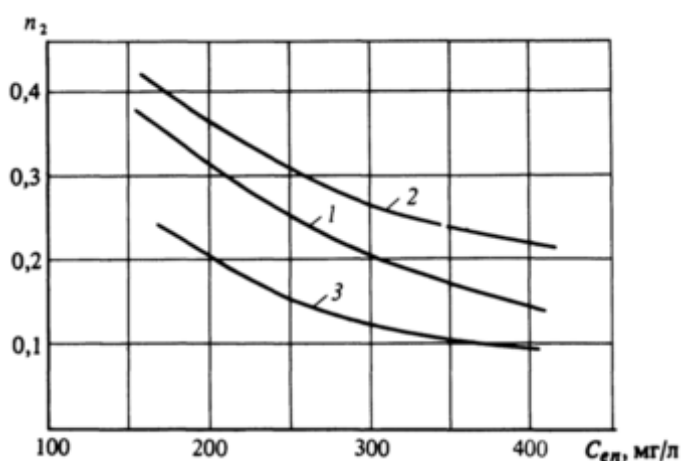


Рис.15 Зависимость показателя степени n_2 от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах при эффекте отстаивания: 1-50%; 2-60%; 3-Э = 70%.

Практическая работа № 5

Расчет флотаторов

Пример расчета напорного флотатора

Рассчитать параметры напорной флотации для очистки сточных вод поступающих на очистку, исходя из следующих данных: количество сточных вод $q_w = 43,8 \text{ м}^3/\text{час}$, эффективность очистки по взвешенным веществам - 98%, концентрация взвешенных веществ $C_{\text{ен(взвеш.)}} = 77,3$ и маслообразных продуктов $C_{\text{ен(масл.)}} = 2160 \text{ мг/л}$.

Расчет: Принимаем напорную схему флотации, высоту рабочей зоны флотокамеры 2 м, высоту зоны формирования и накопления пены 0,5м, высоту зоны осадка 1м. Гидравлическую нагрузку на площадь дна флотокамеры принимаем $5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$.

Тогда высота флотокамеры составит 3,5м, а ее площадь: $S_{\text{fl}} = q_w / 5 = 8,76 \text{ м}^2$. Объем флотокамеры составит $30,66 \text{ м}^3$, что при времени проведения флотации 30 минут потребует установки 2 флотаторов данной производительности. Расход воздуха принимаем 15 л на 1 кг извлекаемых загрязнений. При заданной степени очистки 98% на выходе из флотатора в сточной воде будет содержаться: $(C_{\text{ен}} \cdot 0,02) = 1,546 \text{ мг/л}$ взвешенных веществ и $43,2 \text{ мг/л}$ нефтепродуктов.

Объем пены W_{mud} при влажности 94- 95% составит: $W_{\text{mud}} = 1,5 \cdot C_{\text{ен}} = 3,356 \text{ г/л}$. Объем сточных вод, поступающих из флотатора на доочистку (например в адсорбер) составит $Q = q_w \cdot 0,98 - (W_{\text{mud}} / 0,96) = 39,420 \text{ м}^3/\text{ час}$.

Практическая работа № 6

Расчет песчаного фильтра

Расчетное количество фильтров находим по формуле:

$$N_{\text{ф}} = 0,5(F_{\text{ф}})^{1/2}, \text{ где}$$

F_{ϕ} - общая площадь фильтров, m^2 .

Общая площадь фильтров составляет:

$$F_{\phi} = Q_w / (t \cdot V_p - n \cdot q_{np} - n \cdot t_{np} \cdot V_p),$$

где Q_w - суточный расход, $m^3/сут$,

t - продолжительность работы станции очистки в течение суток, ч;

V_p - расчетная скорость фильтрования, м/ч;

n - число промывок фильтра;

q_{np} - удельный расход воды на одну промывку фильтра, m^3/m^2 ;

t_{np} - время простоя фильтра в связи с промывкой, ч.

В режиме промывки одного фильтра остальные фильтры должны работать при форсированных скоростях, значения которых не должны превышать семи метров.

Скорость фильтрования жидкости при форсированном режиме определяется по формуле: $V_{\phi} = V_p (N_{\phi} / (N_{\phi} - N))$,

где N - число фильтров находящихся на ремонте и на промывке;

N_{ϕ} - общее количество рабочих фильтров.

Площадь одного фильтра: $F = F_{\phi} / N_{\phi}$,

где N_{ϕ} - общее количество фильтров, шт.

Количество промывной воды на одну промывку фильтра: $W_{np} = T \cdot i \cdot F / 1000$,

где T - время промывки фильтров, мин;

i - интенсивность промывки, л/с· m^2 .

Практическая работа № 7

Расчет высоконагружаемых биологических фильтров (аэрофильтра, биофильтра с пластмассовой загрузкой)

БПК_{полн} сточных вод, подаваемых на аэрофильтры, не должна превышать 300 мг/л. При большей БПК_{полн} предусматривают рециркуляцию очищенных сточных вод. Коэффициент рециркуляции K_{rc} определяют по формуле:

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex}),$$

где L_{mix} - БПК_{полн} смеси исходной и циркулирующей воды, при этом L_{mix} не более 300 мг/л;

L_{en} , L_{ex} - БПК_{полн} соответственно исходной и очищенной сточной воды.

Для аэрофильтров принимают:

рабочую высоту $H_{af} = 2-4$ м; гидравлическую нагрузку $q_{af} = 10-30$ м³/(м²·сут);

удельный расход воздуха $q_a = 8-12$ м³/м³ с учетом рециркуляционного расхода.

При расчете аэрофильтров допустимую величину q_{af} , м³/(м²·сут), при заданных q_a и H_{af} определяют по табл. 13.

Площадь аэрофильтров F_{af} , м², при очистке без рециркуляции рассчитывают по принятой гидравлической нагрузке

q_{af} , м³/(м²·сут), и суточному расходу сточных вод Q , м³/сут.

При очистке сточных вод с рециркуляцией площадь аэрофильтра

F_{af} , м², определяют по формуле:

$$F_{af} = Q(K_{rc} + 1) / q_{af}.$$

Количество избыточной биологической пленки, выносимой из высоконагружаемых биофильтров, принимают - **28г/(чел·сут) по сухому веществу, влажность - 96 %.**

Расчет биофильтра с пластмассовой загрузкой

БПК_{полн} сточных вод, подаваемых на биофильтры с пластмассовой загрузкой, должна быть не более 250 мг/л. Для биофильтров с пластмассовой загрузкой принимают:

рабочую высоту $H_{pf}=3-4$ м;

в качестве загрузки - блоки из поливинилхлорида, полистирола, полиэтилена, полипропилена, полиамидов, гладких или перффрированных пластмассовых труб диаметром 50-100 мм или засыпные элементы в виде обрезков труб длиной 50-150 мм, диаметром 30-75 мм с перфорированными, гофрированными и гладкими стенками.

При расчете биофильтров с пластмассовой загрузкой определяют: гидравлическую нагрузку $q_{pf}, м^3/(м^3 \cdot сут)$ - в соответствии с необходимым эффектом очистки Э, %, температурой сточных вод $T_w, ^\circ C$. Площадь аэрофильтров $F_{af}, м^2$, при очистке без рециркуляции рассчитывают по принятой гидравлической нагрузке $q_{af}, м^3/(м^2 \cdot сут)$, и суточному расходу сточных вод Q, $м^3/сут$. При очистке сточных вод с рециркуляцией площадь аэрофильтра $F_{af}, м^2$, определяют по формуле: $F_{af}=Q(K_{rc}+1)/q_{af}$.

Таблица 13

а,	af	Коэффициент K_{af} при $T_w, ^\circ C$, $H_{af}, м$, и $q_{af}, м^3/(м^2 \cdot сут)$											
		$T_w=8$			$T_w=10$			$T_w=12$			$T_w=14$		
		af	af	af	af	af	af	af ¹	af	af	af	af	af
3/М		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		,02	,32	,04	,38	,5	,18	,76	,74	,36	,3	,02	,56
		,25	,53	,89	,2	,96	,22	,32	,64	,62	,95	,25	,09
		,05	,37	,14	0,4	,25	,73	1,2	,54	,56	2,1	,05	,54
		,69	,89	,58	,08	,11	,76	,5	,36	,93	,09	,67	,16

0		,1	,24	,56	,08	,74	,94	,23	,31	,36	,9	,04	,84
		0,1	,23	,9	2,3	,18	,68	5,1	,45	,88	6,4	0	,42
2		,32	,88	,01	,76	,72	,28	,31	,98	,44	,97	,31	,7
		,25	,01	,18	,35	,55	,78	,9	,35	,14	1,7	,2	,72
		2	,35	,83	4,8	,5	,2	8,4	0,4	,69	3,1	2	,83

Таблица 14

Эффект очистки Э, %	Гидравлическая нагрузка q_{pf} , $m^3 / (m^3 \cdot \text{сут})$, при высоте загрузки H_{pf} , м									
	$H_{pf}=3$					$H_{pf}=4$				
	Температура сточных вод T_w , °C									
	8	1	1	1	8	1	1	1	1	1
9	6	6	7	8	8	9	1	1	1	
0	,3	,8	,5	,2	,3	,1	0	0,9		
8	8	9	1	1	1	1	1	1	1	
5	,4	,2	0	1	1,2	2,3	3,5	4,7		
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0,2	1,2	2,3	3,3	3,7	5	6,4	7,9		

Практические работы № 8,9

Расчет аэротенков

Пример 1

Исходные данные. Расчетный расход городских сточных вод $q_w = 2370$ м³/ч; суточный расход $Q_w = 80000$ м³/сут; БПК_{ПОЛН} поступающей сточной воды $L_{en} = 135$ мг/л; БПК_{ПОЛН} очищенной сточной воды $L_{ex} = 15$ мг/л; концентрация взвешенных веществ в поступающей сточной воде $C_{сдр} = 120$ мг/л. Рассчитать аэротенки-смесители.

Расчет: Так как значение $L_{en} < 150$ мг/л, принимаем аэротенки-смесители без регенераторов. Вторичные отстойники принимаем радиальными с илососами. Принимаем дозу активного ила в аэротенке $a = 3$ г/л, концентрацию растворенного кислорода $C_{O_2} = 2$ мг/л. По табл.15 назначаем константы, необходимые для расчета:

- максимальную скорость окисления $\rho_{max} = 85$ мг БПК_{ПОЛН}/(г·ч);
- константу, характеризующую свойства загрязнений $K_t = 33$ мг БПК_{ПОЛН}/л;
- константу, характеризующую влияние кислорода $K_o = 0,625$ мг O₂/л;
- коэффициент ингибирования $\varphi = 0,07$ л/г;
- зольность активного ила $S = 0,3$

По формуле:

$$\rho = \rho_{max} [L_{ex} C_o / (L_{ex} C_o + K_t C_o + K_o L_{ex})] \cdot [1 / (1 + \varphi \cdot a_i)] \quad \text{мг БПК}_{ПОЛН} / (\text{г} \cdot \text{ч}).$$

Рассчитываем удельную скорость окисления:

$$\rho = 85 \cdot \{ (15 \cdot 2 / 15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15) \} \cdot 1 / (1 + 0,07 \cdot 3) = 20,14$$

мг БПК_{ПОЛН} / (г·ч).

По формуле: $T = (L_{en} - L_{ex}) / a(1 - S)\rho$, ч. определяем период аэрации:

$$T = (135 - 15) / 3 \cdot (1 - 0,3) \cdot 20,14 = 2,84 \text{ ч.}$$

По формуле:

$q_i = 24 \cdot (L_{en} - L_{ex}) / a \cdot (1 - S) \cdot T$, мг БПК_{ПОЛН} / (г-сут) определяем нагрузку на активный ил:

$$q_i = 24 \cdot (135 - 15) / 3 \cdot (1 - 0,3) \cdot 2,84 = 482,9 \text{ мг БПК}_{\text{ПОЛН}} / (\text{г-сут}).$$

По табл.16 интерполяцией находим иловый индекс, который соответствует рассчитанной нагрузке на активный ил: $J_i = 80 + (80 - 95)(482,9 - 400) / (400 - 500) = 84,15 \text{ см}^3/\text{г}$.

Рассчитываем степень рециркуляции активного ила: $R = a / [1000 / (J_i - a_i)] = 3 / (1000 / (84,15 - 3)) = 0,243$. Поскольку рассчитанное значение R меньше минимального для принятых отстойников с илососами, то назначаем $R = 0,3$.

По формуле: $W_a = Q_w \cdot T, \text{ м}^3$ определяем объем аэротенков-смесителей: $W_a = 2370 \cdot 2,84 = 6730,8 \text{ м}^3$.

$$\text{Прирост активного ила } P_i = 0,8 \cdot C_{cдр} + K_{п} \cdot L_{en} = 0,8 \cdot 129 + 0,4 \cdot 150 = 150 \text{ мг/л}.$$

Пример 2

Исходные данные. Расчетный расход городских сточных вод $Q_w = 1190 \text{ м}^3/\text{ч}$; суточный расход $Q = 45000 \text{ м}^3/\text{сут}$; БПК_{ПОЛН} поступающей сточной воды $L_{en} = 175 \text{ мг/л}$; БПК_{ПОЛН} очищенной сточной воды $L_{ex} = 20 \text{ мг/л}$; концентрация взвешенных веществ в поступающей сточной воде $C_{cдр} = 161 \text{ мг/л}$. Рассчитать аэротенки-смесители.

Расчет: Так как значение $L_{en} > 150 \text{ мг/л}$, принимаем аэротенки-смесители с регенераторами. Вторичные отстойники принимаем горизонтальными с самотечным удалением ила. Принимаем среднюю дозу активного ила $a_i = 3,5 \text{ г/л}$, концентрацию растворенного кислорода $C_{O_2} = 2 \text{ мг/л}$ и степень регенерации $R = 0,3$.

Для городских сточных вод по табл.15 назначаем константы:

- максимальную скорость окисления $\rho_{max} = 85 \text{ мг БПК}_{\text{ПОЛН}} / (\text{г-ч})$;
- константу, характеризующую свойства загрязнений $K_t = 33 \text{ мг БПК}_{\text{ПОЛН}} / \text{л}$;
- константу, характеризующую влияние кислорода $K_o = 0,625 \text{ мг O}_2 / \text{л}$
- коэффициент ингибирования $\varphi = 0,07 \text{ л/г}$;

- зольность активного ила $s=0,3$.

Рассчитываем удельную скорость окисления при дозе активного ила:

$$\rho = \rho_{\max} [L_{\text{ex}} C_o / (L_{\text{ex}} C_o + K_t C_o + K_o L_{\text{ex}})] \cdot 1 / (1 + \phi \cdot a_i) =$$

$$= 85 \{ (20 \cdot 2 / (20 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 20)) \} \cdot 1 / (1 + 0,07 \cdot 3,5) = 23 \text{ мг БПК}_{\text{ПОЛН}} / (\text{г} \cdot \text{ч}).$$

По формуле $T = (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) / a_i (1 - S) \cdot \rho$ определяем период аэрации при дозе ила a_i : $T = (175 - 20) / 3,5 (1 - 0,3) 23 = 2,75 \text{ ч}$.

По формуле: $q_i = 24 \cdot (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) / a_i \cdot (1 - S) \cdot T$, мг БПК_{ПОЛН} / (г·сут) определяем нагрузку на активный ил при дозе ила a_i :

$$q = 24 (175 - 20) / 3,5 (1 - 0,3) 2,75 = 552 \text{ БПК}_{\text{ПОЛН}} / (\text{г} \cdot \text{сут}).$$

По табл.16 интерполяцией находим иловый индекс, который соответствует рассчитанной нагрузке на активный ил:

$$J_i = 95 + (95 - 130) (552 - 500) / (500 - 600) = 113,2 \text{ см}^3 / \text{г}.$$

Рассчитываем степень рециркуляции активного ила R при дозе ила

$$a = 3,5 \text{ г/л} : R = 3,5 / \{ 1000 / (113,2 - 3,5) \} = 0,656.$$

Значение R превышает минимально допустимое для самотечного удаления ила (0,6), следовательно, корректировке не подлежит.

Определяем общий объем аэротенка и регенератора:

$$W_a + W_r = Q_w \cdot T = 1190 \cdot 2,75 = 3273 \text{ м}^3.$$

Находим объем аэротенка и регенератора:

$$W_a = (W_a + W_r) / (1 + R / (1 - R)) = 3273 / \{ 1 + (0,3 / (1 - 0,3)) \} =$$

$$2291 \text{ м}^3 \quad W_r = 3273 - 2291 = 982 \text{ м}^3$$

Пример 3

Исходные данные. Расчетный расход городских сточных вод $Q_w = 3250 \text{ м}^3 / \text{ч}$ суточный расход $Q = 110000 \text{ м}^3 / \text{сут}$; БПК_{ПОЛН} поступающей сточной воды $L_{\text{en}} = 143 \text{ мг/л}$; БПК_{ПОЛН} очищенной сточной воды $L_{\text{ex}} = 15 \text{ мг/л}$; концентрация взвешенных веществ в поступающей сточной воде $C_{\text{сдр}} = 130 \text{ мг/л}$. Рассчитать аэро-тенки-вытеснители.

Расчет:

Поскольку значение $L_{\text{en}} < 150 \text{ мг/л}$, к расчету принимаем аэро-тенки-вытеснители без регенераторов.

Для вторичного отстаивания предусматриваем радиальные отстойники с илососами. Для городских сточных вод по табл. 15 назначаем константы:

- максимальную скорость окисления $\rho_{\max} = 85$ мг БПК_{ПОЛН} / (г·ч);
- константу, характеризующую свойства загрязнений $K_t = 33$ мг БПК_{ПОЛН} / л;
- константу, характеризующую влияние кислорода $K_o = 0,625$ мг O₂/л;
- коэффициент ингибирования $\varphi = 0,07$ л/г;
- зольность активного ила $S = 0,3$.

Дозу активного ила в аэротенке принимаем равной первоначально $a_1 = 3$ г/л значение илового индекса $J_1 = 90$ см³/г, концентрацию растворенного кислорода $C_o = 2$ мг/л.

По формуле: $R_1 = a_i / [(1000 / (J_1 - a_i))]$ рассчитываем степень рециркуляции активного ила: $R_1 = 3 / [(1000 / (90 - 3))] = 0,37$.

Так как полученное значение превышает минимально допустимое для отстойников с илососами, то в исправлении R_1 нет необходимости.

По формуле: $L_{\text{mix}} = ((L_{\text{en}} + L_{\text{ex}} R_1) / (1 + R_1))$, мг/л рассчитываем БПК_{ПОЛН} поступающей в аэротенк сточной: воды с учетом разбавления рециркуляционным расходом:

$$L_{\text{mix}} = (143 + 15 \cdot 0,37) / (1 + 0,37) = 108,4 \text{ мг/л.}$$

Согласно формуле:

$$T_1 = [(1 + \varphi \cdot a_i) / \rho_{\max} C_o \cdot a_i (1 - S)] \cdot [(C_o + K_o)(L_{\text{mix}} - L_{\text{ex}}) + K_1 \cdot C_o \cdot \ln(L_{\text{mix}} / L_{\text{ex}})] \cdot K_p, \text{ч}$$

определяем период аэрации:

$$T_1 = [(1 + 0,07 \cdot 3) / 85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (1 - 0,3)] \cdot [(2 + 0,625(108,4 - 15) + 33 \cdot 2 \cdot \ln(108,4 / 17))] 1,5 = 1,91 \text{ч}$$

$$\text{По формуле: } q_1 = 24(L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) / a_i \cdot (1 - s) \cdot T_1, \text{ мгБПК}_{\text{ПОЛН}} / (\text{г} \cdot \text{сут})$$

рассчитываем нагрузку на активный ил, подставляя в формулу значения $L_{\text{mix}} = 108,4$ мг/л и $T_1 = 1,91$ ч: $q_1 = 24(108,4 - 15) / 3(1 - 0,3) 1,91 = 558,9$ мгБПК_{ПОЛН} / (г·сут).

По табл.16 с помощью интерполяции находим иловый индекс, который J_1 ветствует рассчитанной нагрузке на активный ил: $J_2 = 95 + (95 - 130)(558,9 - 500)/(500 - 600) = 115,6 \text{ см}^3/\text{г}$.

Принятое ранее значение илового индекса отличается от табличного на величину $\Delta = 100(115,6 - 95)/95 \sim 22\%$, поэтому расчет повторяем, принимая иловый индекс: $J_2 = 115 \text{ см}^3/\text{г}$; $R_2 = 3 / \{1000 / (115 - 3)\} = 0,527$;

$$L_{\text{mix}} = (143 + 15 \cdot 0,527 / (1 + 0,527)) = 98,8 \text{ мг/л};$$

$$T_2 = [(1 + 0,07 \cdot 3) / 85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (1 - 0,3)] \cdot [(2 + 0,625)(98,8 - 15) + 33 \cdot 2 \cdot \ln(98,8 / 15)] 1,5 = 1,75 \text{ ч}$$

$$q_2 = (24(98,8 - 15) / 3(1 - 0,3)) 1,75 = 547 \text{ мг БПК}_{\text{полн}} / \text{г} \cdot \text{сут};$$

$J_2 = 95 + (95 - 130)(547 - 500) / (500 - 600) = 111,5$. Проверяем погрешность заданного и табличного илового индекса:

$\Delta = 100(115 - 111,5) / 111,5 \sim 3\%$, что является вполне допустимым. По формуле: $W_a = Q_w(1 + R_2) \cdot T_2, \text{ м}^3$.

Определяем объем аэротенка с учетом рециркуляционного расхода: $W_a = 3250(1 + 0,537) 1,75 = 8691 \text{ м}^3$.

Расчет окситенка

Исходные данные. Суточный расход городских сточных вод $Q_w = 25670 \text{ м}^3/\text{сут}$; расчетный расход $q_w = 1490 \text{ м}^3/\text{ч}$; БПК_{полн} поступающей сточной воды $L_{\text{en}} = 255 \text{ мг/л}$; БПК_{полн} очищенной сточной воды $L_{\text{ex}} = 15 \text{ мг/л}$; среднемесячная температура сточной воды за летний период: $T_w = 20^\circ\text{C}$. Рассчитать комбинированный окситенк. **Расчет:** Принимаем для расчетов концентрацию кислорода в иловой смеси: $\text{C}_{\text{O}_2} = 10 \text{ мг/л}$ и дозу ила $a_i = 8 \text{ г/л}$. Назначаем константы, необходимые для расчета по таблице 15

- максимальную скорость окисления $r_{\text{max}} = 85 \text{ мг БПК}_{\text{полн}}/(\text{г} \cdot \text{ч})$;
- константу, характеризующую свойства загрязнений $K_1 = 33 \text{ мг БПК}_{\text{полн}}/\text{л}$;
- константу, характеризующую влияние кислорода $K_0 = 0,625 \text{ мг O}_2/\text{л}$;

- коэффициент ингибирования $\varphi = 0,07$ л/г;
- зольность активного ила $S = 0,3$.

По формуле:

$$\rho = \rho_{\max} [L_{\text{ex}} C_o / (L_{\text{ex}} + K_1 C_o + K_o L_{\text{ex}})] \cdot (1 / (1 + \varphi_{\text{ar}})), \text{ мг БПКполн} / (\text{г} \cdot \text{ч}),$$

рассчитываем удельную скорость окисления:

$$\rho = 85 [15 \cdot 10 / (15 \cdot 10 + 33 \cdot 10 + 0,625 \cdot 15)] \cdot (1 / (1 + 0,07 \cdot 8)) = 16,7 \text{ мг}$$

БПКполн / (г · ч).

По формуле:

$$t_{\text{atm}} = (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) / a_i (1 - s) \rho, \text{ ч определяем продолжительность пребывания}$$

сточных вод в зоне аэрации:

$$t_{\text{atm}} = (255 - 15) / 8(1 - 0,3)16,7 = 2,566 \text{ ч}$$

Рассчитываем по формуле:

$$W_o = q_w t_{\text{atm}}, \text{ м}^3 \text{ суммарный объем зоны аэрации:}$$

$$W_o = 1490 \cdot 2,566 = 3824 \text{ м}^3.$$

Принимаем окситенки диаметром $D_j = 30$ м и рабочей глубиной $H_o = 4,5$ м.

По формулам:

$$W_{o1} = 0,78(D_o)^2 H_o, \text{ м}^3 \text{ и } W_{a1} = W_{o1} / 2, \text{ м}^3 \text{ рассчитываем общий объем и}$$

объем зоны аэрации одного окситенка:

$$W_{o1} = 0,785 \cdot 30^2 \cdot 4,5 = 3179,5 \text{ м}^3 \text{ и } W_{a1} = 3179 / 2 = 1589,5 \text{ м}^3.$$

По формуле:

$$D_a = (W_{a1} / 0,78 \cdot H_o)^{1/2}, \text{ м рассчитываем диаметр зоны аэрации:}$$

$$D_a = (1589,5 / 0,785 \cdot 4,4)^{1/2} = 21,2 \text{ м.}$$

По формуле:

$$n_o = W_o / W_{a1} \text{ число окситенков равно:}$$

$$n_o = 3824 / 1589,5 = 2,4.$$

Принимаем три окситенка диаметром 30 м.

По формуле:

$$q_i = 24(L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) / a_i (1 - s) t_{\text{atm}}, \text{ мг БПКполн} / (\text{г} \cdot \text{сут}). \text{ определяем нагрузку на ак-}$$

тивный ил:

$$q_i = 24(255 - 15) / 8(1 - 0,3)2,566 = 401 \text{ мг БПКполн} / (\text{г} \cdot \text{сут}).$$

По табл.16. интерполяцией находим иловый индекс, который соответствует рассчитанной нагрузке:

$$J_i = 80 - (80-95)(401-500)/(500-400) = 84,95 \text{ см}^3/\text{г на активный ил.}$$

Для окситенков величина J_i снижается в 1,3-1,5 раза.

$$J_i = 84,95/1,4 = 60,7 \text{ см}^3/\text{г}$$

аблица 21

$a_i J_i$	100	200	300	40	5	600
q_{ms}	5,6	3,3	1,8	1,2	0,	0,7

Интерполяцией по табл.21 для произведения $a_i \cdot J_i$ находим допустимую гидравлическую нагрузку на илоотделитель: $a_i \cdot J_i = 8 \cdot 60,7 = 485,4$.

Гидравлическая нагрузка на илоотделители для окситенков в зависимости от параметра $a_i J_i$ составит:

$$q_{ms} = 1,2 + (1,2 - 0,8)(485,4 - 400)/(400 - 500) = 0,86 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

По формуле:

$F_{ms} = q_w / q_{ms}, \text{ м}^2$ определяем $F_{ms} = 1490 / 0,86 \approx 1733 \text{ м}^2$ необходимую площадь илоотделителей.

По формуле:

$F_{oi} = 0,5 n_o W_{oi} / H_o, \text{ м}^2$ рассчитываем фактическую площадью илоотделителей:

$$F_{oi} = 0,5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3179 / 4,5 = 1060 \text{ м}^2.$$

Она значительно отличается от необходимой площади, поэтому расчет повторяем заново, при уменьшенной дозе активного ила $a_i = 6 \text{ г/л}$.

По формуле: $\rho = \rho_{\max} [L_{ex} C_o / (L_{ex} + K_1 C_o + K_o L_{ex})] \cdot (1 / (1 + \phi_{ar})), \text{ мг}$

БПКполн/(г·ч)-рассчитываем удельную скорость окисления:

$$\rho = 85 / [15 \cdot 10 / (15 \cdot 10 + 33 \cdot 10 + 0,625 \cdot 15)] \cdot 1 / (1 + 0,07 \cdot 6) = 18,35 \text{ мг-БПКполн}/(\text{г} \cdot \text{ч}).$$

По формуле:

$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) \rho, \text{ ч}$ определяем продолжительность пребывания сточных вод в зоне аэрации:

$$t_{\text{atm}} = (255-15)/6(1-0,3)16,7 = 3,115 \text{ ч.}$$

Рассчитываем по формуле: $W_o = q_w t_{\text{atm}}, \text{M}^3$ суммарный объем зоны аэрации: $W_o = 1490 \cdot 3,115 = 4641 \text{M}^3$.

Оставляем первоначальные окситенки диаметром $D_o = 30$ м и рабочей глубиной $H_o = 4.5$ м. Общий объем, объем и диаметр зоны аэрации одного окситенка не изменится: $W_{oi} = 3179 \text{M}^3$, $D_a = 21,2 \text{м}$, $W_{ai} = 1589,5 \text{M}^3$.

По формуле: $n_o = W_o / W_{ai}$ число окситенков равно:

$$n_o = 4641 / 1589,5 = 2,9.$$

Оставляем первоначальное число - три окситенка диаметром 30 м.

По формуле:

$q_i = 24(L_{en} - L_{ex}) / a_i(1-s)t_{\text{atm}}, \text{MГ БПК}_{\text{полн}} / (\text{Г} \cdot \text{сут})$ определяем нагрузку на активный ил: $q_i = 24(255-15) / 6(1-0,3)3,115 = 440 \text{ MГБПК}_{\text{полн}} / (\text{Г} \cdot \text{сут})$.

По табл.16 интерполяцией находим иловый индекс, который соответствует нагрузке: $J_i = 80 + (80-95)(440-400) / (400-500) = 82 \text{ см}^3/\text{Г}$. Снижаем величину J_i в 1,4 раза: $J_i = 82 / 1,4 = 58,6 \text{ см}^3/\text{Г}$. По табл.21 интерполяцией для произведения $a_i J_i = 6 \cdot 58,6 = 351$ находим допустимую гидравлическую нагрузку на илоотделитель: $q_{ms} = 1,8 + (1,8-1,2)(351-300) / (300-400) = 1,59 \text{ M}^3 / (\text{M}^2 \cdot \text{ч})$.

По формуле: $F_{ms} = q_w / q_{ms}, \text{M}^2$ определяем необходимую площадь илоотделителей:

$$F_{ms} = 1490 / 1,59 = 937 \text{ M}^2.$$

Погрешность при сравнении этой площади с фактической (которая осталась прежней из первого варианта расчета) составляет: $\Delta = 100(937-1060) / 1060 = 11,6\%$, что является совершенно допустимым. Окончательно принимаем три окситенка диаметром $D_o = 30$ м, рабочей глубиной $H_o = 4,5$ м и диаметром цилиндрической перегородки (зоны аэрации): $D_a = 21 \text{ м}$. Для насыщения жидкости кислородом принимаем механический аэратор поверхностного типа и находим по формуле:

$\gamma_o = [(L_{en} - L_{ex})q_w] / 1000n_o$, кг/ч скорость потребления кислорода в одном окситенке: $\gamma_o = (255-15)1490 / 1000 \cdot 3 = 119,2 \text{ кг/ч}$.

Таблица 22 Растворимость кислорода в чистой воде при давлении 0,1 МПа

Тем-	5	10	12	14	16	18	20	22
Co ₂ ,	12,7	11,2	10,7	10,2	9,8	9,	9,	8,

По табл.22. растворимость кислорода при температуре воды 20°C: Co₂=9,02 мг/л. Рассчитываем растворимость кислорода в воде (при глубине погружения 0,02 м): C_a=(1+h_a/20,6)C_T,мг/л,

C_a=(1+0,02/20,6)9.02=9,03 мг/л. Согласно формуле: K_T=1+0,02(T_w-20) коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, равен: K_T=1.

Принимаем коэффициент качества воды: K₃=0,85, коэффициент использования кислорода в окситенке: η_k = 0,85.

По формуле: Q_{ма}=C_aγ_o/1000K_TK₃[0,174·(1-η_k)/η_k]-Co/1000],кг/ч рассчитываем производительность аэратора по кислороду (при использовании технического 95%-ного кислорода):

$$Q_{ма} = 9,03 \cdot 119,2 / [1000 \cdot 1 \cdot 0,85 \{0,174(1-0,85)/0,85\} - (10/1000)] = 61 \text{ кг/ч.}$$

Исходя из конструктивных соображений и рассчитанного значения Q_{ма} подбираем по табл. 23: механический дисковый аэратор

Характеристики дисковых механических аэраторов поверхностного типа

Таблица 23.

Диаметр аэратора, м	Производит. по кислороду кг/ч	Кол-во лопастей	Мощность (нетто), кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Размеры лопастей	
					Высота	Длина
0,5	3,33	6	1,2	133	14	17

0,7	7,03	8	2,4	95	14	20
1	9,58	12	3,4	67	13	21
1,5	22,91	16	7,5	48	14	25
2	33,33	18	11,8	38	15	30
2,5	52,08	18	18,1	32	18	37
3	77,5	24	26,5	27	17	35
3,5	108,33	24	38,5	24	18	40
4	145,83	24	52,2	22	20	47
4,5	204,16	24	75	21	22	52

поверхностного типа с производительностью по кислороду $Q_m=77,5$ кг/ч, мощностью $N_m=26,5$ кВт, диаметром $d_a=3$ м, и частотой вращения турбины $n_m=27$ мин⁻¹. По формуле: $J_o=1,217(d_a)^{0,6}(n_m)^{0,2}/(H_o/d_a)^{1,1}(D_a/d_a)^{0,45}$, м/с рассчитываем донную скорость J_o в наиболее удаленной точке действия аэратора: $J_o=1,217 \cdot 3^{0,6} \cdot 27^{0,2} / (4,5/3)^{1,1} (21/3)^{0,45} = 1,21$ м/с, что значительно больше необходимого значения (0,2 м/с). По формуле: $Q_o = (L_{en} - L_{ex}) q_w / 1000 \eta_o \gamma_o$, м³/ч определяем объемный расход кислорода: $Q_o = (255 - 15) 1490 / 1000 \cdot 0,7 \cdot 1,43 = 357$ м³/ч. Подбираем установку разделения воздуха К-0,4 с одним блоком производительностью по кислороду 420 м³/ч.

Практическая работа № 10

Расчет метантенка

Определить необходимый объем метантенка для станции аэрации, обслуживающей город с населением $N = 200000$ человек. Норма водоотведения $q = 200$ л/сут. На одного человека. В городе имеется промышленное предприятие, спускающее сточные воды в городскую канализацию. Количество производственных сточных вод $Q_w = 5000$ м³/сут. при содержании в них взвешенных веществ $C_{пр} = 400$ мг/л.

Расчет: Расход бытовых сточных вод $Q_{быт} = 200 \cdot 200000 \cdot 0,001 = 40000$ м³/сут. Общий приток сточных вод на очистную станцию составляет: $Q = Q_{быт} + Q_w = 40000 + 5000 = 45000$ м³/сут.

Для определения количества осадка принимаем норму взвешенных веществ на одного жителя $a = 65$ г/сут. Концентрация этих веществ в бытовых сточных водах по формуле: $C_{\text{быт}} = a \cdot 1000 / q = 65 \cdot 1000 / 200 = 325$ мг/л.

Общая начальная концентрация взвешенных веществ в стоках, поступающих на очистную станцию составляет: $C_0 = (C_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + C_{\text{пр}} \cdot Q_w) / (Q_{\text{быт}} + Q_w) = (325 \cdot 40000 + 400 \cdot 5000) / (40000 + 5000) = 333$ мг/л.

Эффект задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках принимаем 50%.

Количество осадка по сухому веществу определяем по формуле: $Q_{\text{сух}} = (C \cdot \varepsilon \cdot K / 10^6) \cdot Q$,

где C - начальная концентрация взвешенных веществ,

ε - эффект задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках в долях единицы,

K - коэффициент, учитывающий увеличение количества осадка за счет крупных фракций взвеси, не улавливаемых при отборе проб для анализа, и принимаемый обычно равным 1,1-1,2,

Q - приток сточных вод на очистную станцию м³/сут.

$$Q_{\text{сух}} = (333 \cdot 0,5 \cdot 1,15 / 10^6) \cdot 45000 = 8,52 \text{ т/сут.}$$

Примем по нормативам количество избыточного активного ила: $a_i = 200$ г. на 1 м³ жидкости, тогда количество избыточного сухого ила по формуле:

$$I_{\text{сух}} = a \cdot Q / 10^6 \text{ т/сут.} = 200 \cdot 45000 / 10^6 = 9 \text{ т/сут.}$$

Объем осадка при влажности $\gamma_{\text{mud(ос)}} = 94\%$ по формуле:

$$V_{\text{ос}} = 100 \cdot Q_{\text{сух}} / (100 - \gamma_{\text{mud}}) \rho_{\text{ос}}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где $\rho_{\text{ос}}$ - объемный вес осадка

$$V_{\text{ос}} = 8,52 \cdot 100 / (100 - 94) \cdot 1 = 142 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объем избыточного активного ила при его влажности $\gamma_{\text{mud(ил)}} = 97\%$ (после уплотнения) определяем по формуле:

$$V_{\text{ил}} = 100 \cdot I_{\text{сух}} / (100 - \gamma_{\text{mud(ил)}}) \rho_{\text{ил}}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где $\rho_{\text{ил}}$ - объемный вес ила

$$V_{\text{ил}}=100 \cdot 9 / (100 - 97) = 300 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$\text{Общий объем осадка составит: } V = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}} = 142 + 300 = 442 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Средняя влажность смеси по формуле:

$$V_{\text{см}} = 100 \left(1 - \frac{(Q_{\text{сух}} + I_{\text{сух}})}{V} \right) \% = 100 \left(1 - \frac{(8,52 + 9)}{442} \right) = 96\%.$$

При влажности 96% для мезофильного процесса доза нагрузки в метантенк по таблице 24 ($D_{\text{нт}}=9\%$) и по формуле:

$$W = V_{\text{см}} \cdot 100 / D_{\text{нт}}, \text{ м}^3 = 442 \cdot 100 / 9 = 4911,11 \approx 4911 \text{ м}^3.$$

Выход газа определяем по формуле:

$$\Gamma = (a - n \cdot D_{\text{нт}}) / 100, (\text{м}^3 / \text{кг. беззольного вещества}),$$

где a – максимальная величина сбраживания беззольного вещества, зависящая от компонентов сбраживания, в %;

n – коэффициент, зависящий от влажности осадка.

$$\Gamma = (49 - 0,56 \cdot 9) / 100 = 0,44 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Количество сухого беззольного вещества (*при гигроскопической влажности 6% и зольности 27%*) сырого осадка по формуле:

$$Q_{\text{бз}} = Q_{\text{сух}} (100 - B_{\Gamma}) (100 - Z_{\text{ос}}) / 100 \cdot 100 \text{ т/сут.},$$

где B_{Γ} – гигроскопичность;

$Z_{\text{ос}}$ – зольность сухих веществ, составит:

$$Q_{\text{бз}} = 8,52 (100 - 6) (100 - 27) / 100 \cdot 100 = 5,85 \text{ т/сут. и избыточного активного}$$

ила по формуле:

$$I_{\text{бз}} = I_{\text{сух}} (100 - B_{\Gamma}) (100 - Z_{\text{ил}}) / 100 \cdot 100 \text{ т/сут.}, \text{ составит:}$$

$$I_{\text{бз}} = 9 (100 - 6) (100 - 27) / 100 \cdot 100 = 6,2 \text{ т/сут.}$$

Общее количество сухих беззольных веществ:

$$V_{\text{общ}} = 5,85 + 6,2 = 12,05 \text{ т/сут.}$$

Общее количество газа составит:

$$\Gamma_{\text{общ}} = \Gamma \cdot 1000 \cdot V_{\text{общ}} = 0,440 \cdot 1000 \cdot 12,05 = 5302 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Выход газа на 1 м³ загруженной смеси расчетной влажности составит:

$$V = \Gamma_{\text{общ}} / V = 5302 / 442 = 11,995 \approx 12 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$