



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Севастопольский государственный университет

Кафедра «Техносферная безопасность»

СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД:
ОСАЖДЕНИЕ, ФИЛЬТРОВАНИЕ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

на выполнение контрольных заданий

по дисциплине «Экология»

для студентов очной и заочной форм обучения

направлений подготовки 03.03.02-Физика,

27.03.04-Управление в технических системах

Севастополь

2015

УДК 615.9

Методические указания на выполнение контрольных заданий по дисциплине «Экология» для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 03.03.02-Физика, 27.03.04-Управление в технических системах/ Разраб. Каширцев В.Г., Никитин А.А. – Севастополь: Изд-во Севастопольского государственного университета, 2015. - 24 с.

Методические указания разработаны с целью оказания помощи различным формам обучаемых и студентам направлений подготовки 03.03.02-Физика, 27.03.04-Управление в технических системах при выполнении практических и самостоятельных работ, а также при изучении дисциплины «Экология».

В задании даны исходные данные по вариантам для выполнения контрольного задания по расчету предельно допустимых сбросов (ПДС). Даны основные формулы расчета ПДС и рекомендации по выполнению задания.

Контрольное задание предназначено для студентов специальности

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техносферная безопасность» СевГУ.

Протокол № 1 от 28 августа 2015 г.

Рецензент: Шустицкий И.В., к.т.н., доцент

© Каширцев В.Г.,
Никитин А.А.

© Севастопольский
государственный
университет, 2015 год

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	3
Введение	4
1. Краткие теоретические сведения	4
2. Примеры решения задач	11
2. Задачи для самостоятельного решения	18
4. Контрольные вопросы	21
4. Библиографический список	24

ВВЕДЕНИЕ

Промышленные сточные воды — это воды, отработанные на предприятиях самых различных областей производства. Сточные воды промышленности обладают крайне высоким уровнем загрязненности и при этом, в отличие от бытовых стоков, загрязнители которых удаляются стандартными системами водоочистки, требуют особого внимания при выборе технологий и методом очистки.

Механическая очистка сточных вод применяется в системах преимущественно как предварительная. Очистка стоков при помощи песколовки обеспечивает удаление взвешенных веществ из бытовых сточных вод на 60-65%, а из некоторых производственных сточных вод на 90-95%. Задачи предварительной очистки заключаются в подготовке воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическая очистка сточных вод является в известной степени самым дешевым методом очистки, а поэтому всегда целесообразна наиболее глубокая доочистка сточных вод другими методами.

В методических указаниях рассмотрен один из основных звеньев системы механической очистки осаждением.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Теоретические основы выделения взвешенных частиц из производственных сточных вод под действием сил гравитации и инерции.

Выделение взвешенных частиц под действием гравитационных сил происходит в песколовках и отстойниках.

Песколовки предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (главным образом песка) и устанавли-

ваются перед отстойниками. Обычно в песколовках задерживается песок крупностью 0,2—0,25 мм, составляющий около 65% всего количества песка, содержащегося в сточных водах. Применение песколовков обусловлено тем, что при совместном выделении в отстойниках минеральных и органических примесей возникают значительные затруднения при удалении осадка из отстойников и дальнейшем его сбраживании в метантенках.

Рассчитываются песколовки таким образом, чтобы в них выпадали песок и другие тяжелые минеральные частицы, но не выпадал осадок органического происхождения.

По характеру движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные — с круговым или прямолинейным движением воды, вертикальные — с движением воды снизу вверх и песколовки с винтовым (поступательно-вращательным) движением воды.

Действие горизонтальной песколовки основано на том, что при движении сточной воды (в резервуаре, канале, отстойнике) каждая находящаяся в ней нерастворенная частица перемещается вместе со струей воды и одновременно движется вниз под действием силы тяжести со скоростью, соответствующей крупности и плотности частицы.

Чем больше скорость течения воды, тем сильнее турбулентность потока и больше вертикальная составляющая (пульсационной) скорости движения воды и тем более крупные частицы будут выноситься вместе с водой. Чем медленнее течение, тем более мелкие и легкие частицы будут выпадать в осадок. Скорость движения воды в песколовках не должна выходить из определенных пределов: 0,15 м/с — 0,3 м/с. При этих скоростях продолжительность пребывания сточной воды в горизонтальных песколовках принимается равной 30—60 с.

Время пребывания взвешенных частиц в песколовке $\tau_{\text{преб}}$ можно определить из соотношений:

$$h_1 / w_{\text{ос}} \leq \tau_{\text{преб}}$$

$$L / w_{\text{св}} \leq \tau_{\text{преб}},$$

где h_1 – глубина песколовки;

$w_{\text{ос}}$ – скорость осаждения взвешенных частиц;

L – длина песколовки;

$w_{\text{св}}$ – скорость движения сточной воды.

Поскольку правые части уравнений одинаковы, можно приравнять их левые части и получить выражение для расчета длины песколовки с учетом коэффициента запаса k , равного 1,3:

$$L = k \cdot h_1 \cdot w_{\text{св}} / w_{\text{ос}}.$$

Для расчета скорости осаждения взвешенных частиц используют формулу Стокса:

$$w_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}) \cdot g}{18 \mu_{\text{с}}},$$

где $d_{\text{ч}}$ – диаметр взвешенных частиц, м;

$\rho_{\text{ч}}$ – плотность взвешенных частиц, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$\rho_{\text{с}}$ – плотность среды, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;

$\mu_{\text{с}}$ – вязкость среды, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Вязкость воды при различных температурах приведена в таблице

1.

Формула Стокса может быть применена, если критерий Рейнольдса не превышает величины 0,2:

$$\text{Re} = \frac{w_{\text{ос}} \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}}.$$

Отстойники предназначены для выделения из сточных вод взвешенных частиц крупностью менее 0,2—0,25 мм. Скорость осаждения таких частиц меньше, чем частиц, выделяемых в песколовках. Поэтому время пребывания производственных сточных вод (ПСВ) в отстойниках достигает 1,5 – 2 часов. Влажность осадка достигает 91,5...96%, зольность – 25...35, содержание песка в осадке – не более 5...8%. В отстойниках частицы не только оседают под действием гравитационных сил, но и часть их всплывает на поверхность обрабатываемых сточных вод. В зависимости от требуемой степени очистки сточных вод отстаивание применяют в целях их предварительной обработки перед очисткой на других сооружениях, а также и как окончательную очистку, если из сточной воды требуется выделить только нерастворенные примеси.

В зависимости от назначения отстойники делятся на первичные и вторичные, а по направлению движения основного потока сточной воды – на горизонтальные и вертикальные. Разновидностью горизонтальных отстойников являются радиальные отстойники, у которых вода при очистке движется от центра к краям (к периферии). Радиальные отстойники применяют при расходах сточных вод более 20 тыс. м³·сут⁻¹. Эти отстойники по сравнению с горизонтальными имеют некоторые преимущества: простота и надежность эксплуатации, экономичность, возможность строительства сооружений большой производительности. Поэтому радиальные отстойники находят широкое применение. Для радиального отстойника справедливо соотношение

$$F = Q_{\text{осв}} / w_{\text{ос}},$$

где $Q_{\text{осв}}$ – объемный расход осветленной жидкости (очищенной сточной воды);

$w_{\text{ос}}$ – скорость осаждения взвешенных частиц,

F – площадь сечения отстойника.

Материальный баланс процесса отстаивания по взвешенным частицам:

$$G_H \cdot C_H = G_{сг} \cdot C_{сг},$$

где G_H и $G_{сг}$ – массовые расходы начальной и сгущенной суспензии;

C_H и $C_{сг}$ – массовые концентрации взвешенных частиц в начальной и конечной (сгущенной) суспензии соответственно.

Из материального баланса по взвешенным частицам следует:

$$G_{сг} = G_H \cdot C_H / C_{сг}.$$

Общий материальный баланс отстойника (по воде):

$$G_H = G_{сг} + G_{осв};$$

$$G_{осв} = G_H - G_{сг} = G_H - G_H \cdot C_H / C_{сг} = G_H (1 - C_H / C_{сг});$$

$$G_{осв} = G_H (1 - C_H / C_{сг}).$$

Фильтры применяют для выделения из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц, удаление которых отстаиванием затруднено. Разделение суспензий проводят при помощи пористых перегородок, пропускающих жидкость и задерживающих взвешенные частицы. Движущая сила процесса – разность давлений Δp по обе стороны фильтрующей перегородки (ФП). Процесс идет под действием гидростатического давления столба жидкости, повышенного давления над перегородкой или вакуума после перегородки.

Различают:

а) собственно разделение суспензий – отделение содержащихся в них твердых частиц, задерживаемых ФП, через которую проходит подавляющее количество жидкости (фильтрата);

б) сгущение суспензий – повышение в них концентрации твердой фазы путем удаления через ФП некоторой части жидкой фазы;

в) осветление жидкостей – очистка от содержащегося в них небольшого количества тонких взвесей.

Уравнение материального баланса процесса фильтрования:

$$G_{\text{сусп}} = G_{\text{ф}} + G_{\text{вл.ос.}}$$

Разделим это уравнение на $G_{\text{сух}}$ – массу сухого вещества, содержащегося в суспензии:

$$\frac{G_{\text{сусп}}}{G_{\text{сух}}} = \frac{G_{\text{ф}}}{G_{\text{сух}}} + \frac{G_{\text{вл.ос.}}}{G_{\text{сух}}} \quad (1)$$

Примем во внимание, что

$$\frac{G_{\text{сух}}}{G_{\text{сусп}}} = C_{\text{н}}; \quad \frac{G_{\text{сух}}}{G_{\text{вл.ос.}}} = C_{\text{к}}; \quad G_{\text{ф}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho_{\text{ф}};$$

$$G_{\text{сух}} / V_{\text{ф}} = C_{\text{ф}}$$

Тогда из уравнения (1) получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{\text{н}}} &= \frac{V_{\text{ф}} \cdot \rho_{\text{ф}}}{G_{\text{сух}}} + \frac{1}{C_{\text{к}}}; & \frac{1}{C_{\text{н}}} &= \frac{\rho_{\text{ф}}}{C_{\text{ф}}} + \frac{1}{C_{\text{к}}}; \\ \frac{\rho_{\text{ф}}}{C_{\text{ф}}} &= \frac{1}{C_{\text{н}}} - \frac{1}{C_{\text{к}}} = \frac{C_{\text{к}} - C_{\text{н}}}{C_{\text{н}} \cdot C_{\text{к}}}; \\ & \frac{\rho_{\text{ф}} \cdot C_{\text{к}} \cdot C_{\text{н}}}{C_{\text{к}} - C_{\text{н}}} \end{aligned} \quad (2)$$

Числитель и знаменатель в правой части уравнения (2) поделим на $C_{\text{к}}$:

$$\frac{\rho_{\text{ф}} \cdot C_{\text{н}}}{1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}}} \quad (3)$$

Интенсивность разделения суспензии может определяться объемом фильтрата $V_{\text{ф}}$ (м^3), прошедшего через единицу площади F (м^2)

поверхности фильтрования за единицу времени τ . При $\Delta p = \text{const}$ объем фильтрата V_{ϕ} , и продолжительность фильтрования τ связаны уравнением:

$$V_{\phi}^2 + 2RV_{\phi} = K\tau,$$

где K – константа фильтрования, учитывающая режим процесса, физико-химические свойства осадка и жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

R – константа фильтрования, учитывающая гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки (ткани), $\text{м}^3/\text{м}^2$;

τ – продолжительность фильтрования, с.

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu_{\phi} \cdot C_{\phi} \cdot r}, \text{ м}^2/\text{час}$$

где Δp – перепад давлений на фильтре, Па

r – удельное сопротивление осадка (в расчете на 1 кг содержащегося в нём твердого сухого вещества), $\text{м}/\text{кг}$.

С учетом C_{ϕ} из уравнения (3) получим выражение для K :

$$K = \frac{2\Delta p(1 - C_{\text{н}}/C_{\text{к}})}{\mu_{\phi} \cdot r \cdot \rho_{\phi} \cdot C_{\text{н}}}$$

Зная K , можно определить удельное сопротивление осадка r :

$$r = \frac{2\Delta p (1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}})}{\mu_{\phi} \cdot K \cdot \rho_{\phi} \cdot C_{\text{н}}}, \text{ м}/\text{кг} \quad (4)$$

$$R = \frac{r_{\text{тк}}}{r \cdot C_{\phi}} \quad \text{или}$$

$$R = \frac{r_{\text{тк}}(1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}})}{r \cdot \rho_{\phi} \cdot C_{\text{н}}}, \text{ м}^3/\text{м}^2$$

Отсюда можно определить $r_{\text{тк}}$:

$$r_{\text{TK}} = \frac{R \cdot r \cdot \rho_{\text{ф}} \cdot C_{\text{н}}}{1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}}}, \text{м/м}^2 \quad (5)$$

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1

Определить длину горизонтальной песколовки, если скорость движения сточных вод $0,04 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Глубина песколовки $0,5 \text{ м}$. Размер частиц взвеси 80 мкм . Плотность частиц $2000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Температура сточной воды 15°C .

Решение:

Время пребывания взвешенных частиц в песколовке $\tau_{\text{преб}}$ можно определить из соотношений:

$$h_1 / w_{\text{ос}} \leq \tau_{\text{преб}} \quad \text{и} \quad L / w_{\text{св}} \leq \tau_{\text{преб}},$$

где h_1 – глубина песколовки;

$w_{\text{ос}}$ – скорость осаждения взвешенных частиц;

L – длина песколовки;

$w_{\text{св}}$ – скорость движения сточной воды.

Поскольку правые части уравнений одинаковы, можно приравнять их левые части и получить выражение для расчета длины песколовки с учетом коэффициента запаса k , равного $1,3$:

$$L = k \cdot h_1 \cdot w_{\text{св}} / w_{\text{ос}}.$$

Для расчета скорости осаждения взвешенных частиц воспользуемся формулой Стокса:

$$w_{oc} = \frac{d_q^2 (\rho_q - \rho_c) \cdot g}{18 \mu_c} = \frac{(0,08 \cdot 10^{-3})^2 (2000 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,00306 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Вязкость воды находим из таблицы 1 – для температуры 15°C она составляет $1,14 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Формула Стокса может быть применена, так как критерий Рейнольдса не превышает величины 0,2:

$$Re = \frac{w_{oc} \cdot d_q \cdot \rho_c}{\mu_c} = \frac{0,00306 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,21 \approx 0,2$$

Действительная (фактическая) скорость осаждения частей равна половине теоретической скорости осаждения:

$$w_d = \frac{1}{2} w_{oc} = 0,00306 / 2 = 0,00153 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$L = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 0,040 / 0,00153 = 17,0 \text{ м}$$

Ответ: Длина горизонтальной песколовки равна 17,0 м.

Пример 2

Определить диаметр радиального отстойника для непрерывного осаждения мела в воде. Производительность отстойника $80 \text{ т} \cdot \text{час}^{-1}$ начальной суспензии, содержащей 8% (масс.) мела CaCO_3 . Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, 35 мкм. Температура суспензии 15°C. Плотность мела $2710 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Решение:

Для радиального отстойника справедливо соотношение

$$F = Q_{ocв} / w_{oc},$$

где $Q_{ocв}$ – объемный расход осветленной жидкости (очищенной сточной воды);

w_{oc} – скорость осаждения взвешенных частиц,

F – площадь сечения отстойника.

Это уравнение можно преобразовать, выразив объемный расход осветленной жидкости через ее массовый расход $G_{\text{осв}}$ и плотность $\rho_{\text{осв}}$

$$Q_{\text{осв}} = G_{\text{осв}} / \rho_{\text{осв}}.$$

$$\text{Тогда } F = G_{\text{осв}} / (w_{\text{ос}} \rho_{\text{осв}})$$

Из материального баланса отстойника следует:

$$G_{\text{осв}} = G_{\text{н}} (1 - C_{\text{н}} / C_{\text{сг}})$$

где $G_{\text{н}}$ и $G_{\text{сг}}$ – массовые расходы начальной и сгущенной суспензии;

$C_{\text{н}}$ и $C_{\text{сг}}$ – массовые концентрации взвешенных частиц в начальной и конечной (сгущенной) суспензии соответственно.

Тогда площадь сечения отстойника можно рассчитать по формуле:

$$F = \frac{G_{\text{н}} (1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}})}{\rho_{\text{с}} \cdot w_{\text{ос}}}$$

Определяем скорость осаждения по формуле Стокса:

$$w_{\text{ос}} = \frac{d^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}) \cdot g}{18 \mu_{\text{с}}} = \frac{(3,5 \cdot 10^{-5})^2 \cdot (2710 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,001 \text{ м/с}$$

Проверим применимость формулы Стокса по значению критерия Re :

$$Re = \frac{w_{\text{ос}} \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,0307 < 0,2$$

Действительная скорость осаждения равна половине теоретической скорости осаждения:

$$w_{\text{д}} = 0,5 \cdot 0,001 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

$$F = \frac{G_{\text{н}} (1 - C_{\text{н}} / C_{\text{к}})}{\rho_{\text{с}} \cdot w_{\text{ос}}} = \frac{80 \cdot 10^3 (1 - 8 / 30) \cdot}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 32,6 \text{ м}^2$$

Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32,6}{3,14}} = 6,44 \text{ м}$$

Ответ: Диаметр радиального отстойника равен 6,44 м.

Пример 3

В результате фильтрования водной суспензии с содержанием 20% (масс.) твердой фазы собрано 15 м³ фильтрата. Влажность осадка 30%. Сколько получено осадка, считая на сухое вещество?

Решение:

Согласно полученному уравнению (3):

$$C_{\phi} = \frac{\rho_{\phi} \cdot C_{\text{н}}}{1 - C_{\text{н}}/C_{\text{к}}};$$

$$G_{\text{сух}} = C_{\phi} \cdot V_{\phi} = \frac{\rho_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot C_{\text{н}}}{1 - C_{\text{н}}/C_{\text{к}}}$$

$$G_{\text{сух}} = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 15 \text{ м}^3 \cdot 0,2}{1 - \frac{0,2}{0,7}} = 4166 \text{ кг} \approx 4,2 \text{ т.}$$

Ответ: В расчете на сухое вещество получено 4,2т осадка.

Пример 4

Определить продолжительность фильтрования 10 дм³ жидкости через 1 м² фильтра, если при предварительном испытании фильтра с 1 м² было собрано фильтрата: 1 дм³ через 2,25 мин и 3 дм³ через 14,5 мин после начала фильтрования.

Решение:

Для решения задачи воспользуемся кинетическим уравнением фильтрования

$$V_{\phi}^2 + 2RV_{\phi} = K\tau$$

где V_{ϕ} – объем фильтрата (м^3), собираемого с 1м^2 поверхности фильтра;

K – константа фильтрования, учитывающая режим процесса, физико-химические свойства осадка и жидкости, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

R – константа фильтрования, учитывающая гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки (ткани), $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-2}$;

τ – продолжительность фильтрования, мин.

Подставив данные задачи для двух опытов в кинетическое уравнение фильтрования, получим систему из двух уравнений. Решая систему методом подстановки, находим значения констант фильтрования.

$$1^2 + 2 \cdot 1 \cdot R = K \cdot 2,25$$

$$K = \frac{1 + 2R}{2,25}$$

$$3^2 + 2 \cdot 3 \cdot R = K \cdot 14,5$$

$$3^2 + 6R = 6,44 + 12,88R$$

$$6,88R = 2,56$$

$$R = 0,37 \text{ дм}^3/\text{м}^2 = 0,37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$$

$$K = \frac{1 + 0,37 \cdot 2}{2 \cdot 25} = 0,77 \text{ дм}^6 \cdot (\text{м}^4 \cdot \text{мин})^{-1} = 0,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$$

Для определения искомой продолжительности фильтрования полученные значения констант и заданный объем фильтрата подставляем в кинетическое уравнение фильтрования:

$$10^2 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} = 0,77 \cdot 10^{-6} \tau$$

$$\tau = (100 + 7,4) / 0,77 = 139,5 \text{ мин или } 2 \text{ час } 19,5 \text{ мин}$$

Ответ: Время фильтрования 10 дм^3 жидкости составит 2 часа 19,5 минут.

Пример 5

Рассчитать удельное сопротивление осадка карбоната кальция, если $K = 560 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{час}^{-1}$ и $R = 3,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-2}$ при избыточном давлении $10,03 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Дополнительно известно, что влажность осадка 32%, содержание карбоната кальция в суспензии 13,9% (масс.), температура суспензии 20°C . Чему равно удельное сопротивление ткани?

Решение:

Содержание сухого вещества в осадке:

$$C_k = 1 - 0,32 = 0,68.$$

Константа фильтрования K в системе СИ

$$K = 560 \cdot 10^4 / 3600 = 0,155 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Удельное сопротивление осадка рассчитываем по формуле (4):

$$r = \frac{2\Delta p (1 - C_n / C_k)}{\mu_f \cdot K \cdot \rho_f \cdot C_n} = \frac{2 \cdot 10,03 \cdot 10^4 (1 - 0,139 / 0,68)}{0,155 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 0,139} =$$

$$7,34 \cdot 10^{10} \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Удельное сопротивление ткани рассчитываем по формуле (5):

$$r_{\text{тк}} = \frac{R \cdot r \cdot \rho_f \cdot C_n}{1 - C_n / C_k} = \frac{3,78 \cdot 10^{-3} \cdot 7,34 \cdot 10^{10} \cdot 1000 \cdot 0,139}{1 - 0,139 / 0,68} =$$

$$4,84 \cdot 10^{10} \text{ м} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Ответ: удельное сопротивление осадка равно $7,34 \cdot 10^{10} \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1}$
удельное сопротивление ткани равно $4,84 \cdot 10^{10} \text{ м} \cdot \text{м}^{-2}$.

Пример 6.

На барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия подается $8,5 \text{ м}^3 \cdot \text{час}^{-1}$ водной суспензии, содержащей 17,6% твердой фазы. Желательна конечная влажность осадка 34%. Константы фильтрования имеют значения $K = 13,1 \text{ дм}^6 \cdot (\text{м}^4 \cdot \text{с})^{-1}$; $R = 6 \text{ дм}^3 \cdot \text{м}^{-2}$. Плотность суспензии $1120 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Время работы зоны фильтрования 32 с. Определить требуемую поверхность фильтра.

Решение:

Решая кинетическое уравнение процесса фильтрования, найдем V_{ϕ} .

$$V_{\phi}^2 + 2RV_{\phi} = K\tau; \quad V_{\phi}^2 + 2 \cdot 6 \cdot V_{\phi} = 13,1 \cdot 32$$

$$V_{\phi} = -6 \pm \sqrt{36 + 420} = -6 + 20,5 = 14,5 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \text{ за } 32 \text{ с}$$

Следовательно, удельная производительность Π_{ϕ} (производительность 1 м^2) зоны фильтрования за 1 с равна:

$$\Pi_{\phi} = V_{\phi} / \tau = 14,5/32 = 0,452 \text{ дм}^3 \cdot (\text{м}^2 \cdot \text{с})^{-1}$$

Пересчитываем заданную производительность по суспензии на производительность по фильтрату:

$$G_{\phi} = G_{\text{н}} (1 - C_{\text{н}}/C_{\text{к}}) = 8,5 \cdot 1120 \cdot (1 - 0,176 / 0,66) = 6980 \text{ кг} \cdot \text{час}^{-1};$$

$$C_{\text{к}} = 1 - 0,34 = 0,66;$$

$$Q_{\phi} = 6980 / 1000 = 6,98 \text{ м}^3 \cdot \text{час}^{-1} \text{ или } Q_{\phi} = 6,98 / 3600 = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Следовательно, необходимая поверхность в зоне фильтрования

$$F_{\phi} = Q_{\phi} / \Pi_{\phi} = 1,94 \cdot 10^{-3} / (0,452 \cdot 10^{-3}) = 4,29 \text{ м}^2$$

Обычно в барабанных фильтрах поверхность зоны фильтрования составляет 35% от общей поверхности: $F = 4,29 / 0,35 = 12,3 \text{ м}^2$.

Ответ: Площадь поверхности барабанного вакуум-фильтра равна $12,3 \text{ м}^2$.

2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Частицы какого наименьшего диаметра будут осаждаться в горизонтальной песколовке, если их плотность равна $3000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Скорость движения сточной воды равна $0,15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Длина песколовки $8,0 \text{ м}$, высота – $0,6 \text{ м}$. Температура воды 10°C .

2. Определить длину и высоту горизонтального отстойника, если время пребывания ПСВ в отстойнике составляет $1,5$ часа. Размер частиц взвеси 50 мкм . Плотность частиц $2300 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Температура суспензии 15°C . Скорость движения ПСВ $0,01 \text{ м/с}$. Расчет произведите упрощенный (как для песколовки).

3. Определить диаметр радиального отстойника для непрерывного осаждения мела в воде. Производительность отстойника 80 т/час начальной суспензии, содержащей 8% мела CaCO_3 . Влажность шлама (сгущенной суспензии) 70% . Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, 35 мкм . Температура суспензии 35°C . Плотность мела $2710 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

4. Определить диаметр радиального отстойника для непрерывного осаждения гидроксида железа в воде. Производительность отстойника 50 т/час начальной суспензии, содержащей 6% (масс.) мела $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Влажность шлама (сгущенной суспензии) 80% . Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, 50 мкм . Температура суспензии 15°C . Плотность $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $3400 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

5. Определите влажность шлама (сгущенной суспензии), которая будет достигнута в радиальном отстойнике непрерывного действия,

если производительность отстойника 60 т/ч начальной суспензии, содержащей 7% (масс.) $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, 40 мкм. Температура суспензии 20°C. Плотность $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 3400 кг·м⁻³. Диаметр отстойника 5,5 м.

6. Какое количество влажного осадка будет собрано на фильтре в результате фильтрования 10 м³ суспензии плотностью 1100 кг·м⁻³, содержащей 20% (масс.) твердой фазы? Влажность осадка 25%.

7. Необходимо отфильтровать суспензию на рамном фильтрпрессе и за 3 часа получить 7 м³ фильтрата. Опытное фильтрование этой суспензии на лабораторном фильтрпрессе при том же давлении и той же толщине слоя осадка показало, что константы фильтрования имеют следующие значения: $K = 20,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{час}^{-1}$ и $R = 1,40 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-2}$. Определить поверхность фильтрования.

8. Необходимо отфильтровать суспензию на рамном фильтрпрессе и за 2 часа получить 5 м³ фильтрата. Опытное фильтрование этой суспензии на лабораторном фильтрпрессе при том же давлении и той же толщине слоя осадка показало, что константы фильтрования имеют следующие значения: $K = 19,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{час}^{-1}$ и $R = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-2}$. Определить поверхность фильтрования.

9. Рассчитать удельное сопротивление осадка на фильтре и фильтрующей перегородки, если $K = 0,75 \text{ дм}^6 \cdot \text{м}^{-4} \cdot \text{час}^{-1}$ и $R = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3 \cdot \text{м}^{-2}$ при избыточном давлении $3,3 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Известно, что влажность осадка 70%, содержание взвешенных частиц в суспензии 10%. Плотность фильтрата 1000 кг·м⁻³. Температура суспензии 15°C.

10. Рассчитать удельное сопротивление осадка CaCO_3 на фильтре и фильтрующей перегородки, если $K = 278 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{час}^{-1}$ и $R = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-2}$ при избыточном давлении $3,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Известно, что влажность

осадка 50%, содержание взвешенных частиц в суспензии 12%. Плотность фильтрата $1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Температура суспензии 25°C .

11. На барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия подается $8,5 \text{ м}^3\cdot\text{час}^{-1}$ водной суспензии, содержащей 15,0 % твердой фазы. Конечная влажность осадка 40%. Константы фильтрования имеют значения $K = 12,1 \text{ дм}^6\cdot(\text{м}^{-4}\cdot\text{с})^{-1}$; $R = 5,5 \text{ дм}^3\cdot\text{м}^{-2}$. Плотность суспензии $1100 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Время работы зоны фильтрования 35 с. Определить требуемую поверхность фильтра.

12. На барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия подается $7,5 \text{ м}^3\cdot\text{час}^{-1}$ водной суспензии, содержащей 16,0 % твердой фазы. Константы фильтрования имеют значения $K = 12,1 \text{ дм}^6\cdot(\text{м}^{-4}\cdot\text{с})^{-1}$; $R = 5,5 \text{ дм}^3\cdot\text{м}^{-2}$. Плотность суспензии $1100 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Время работы зоны фильтрования 40 с. Площадь поверхности фильтрования равна $4,5 \text{ м}^2$. Вычислить конечную влажность осадка.

13. Определите продолжительность фильтрования $6,0 \text{ дм}^3$ жидкости через 1 м^2 фильтра, если при предварительном испытании с 1 м^2 фильтра было собрано фильтрата: $2,5 \text{ дм}^3$ через 60 с и $9,0 \text{ дм}^3$ через 600 с после начала фильтрования.

14. Определить продолжительность фильтрования $5,0 \text{ дм}^3$ жидкости через 1 м^2 фильтра, если при предварительном испытании с 1 м^2 фильтра было собрано фильтрата: $3,0 \text{ дм}^3$ через 100 с и $10,0 \text{ дм}^3$ через 900 с после начала фильтрования.

15. Определить продолжительность фильтрования $4,0 \text{ дм}^3$ жидкости через 1 м^2 фильтра, если при предварительном испытании с 1 м^2 фильтра было собрано фильтрата: $2,75 \text{ дм}^3$ через 150 с и $7,0 \text{ дм}^3$ через 800 с после начала фильтрования.

Таблица 1. Зависимость вязкости воды от температуры

Температура воды, °С	60	50	40	30	25	20	15	10	4	0
Коэф. вязкости $\mu \cdot 10^3$, Па·с	0,469	0,549	0,656	0,801	0,894	1,01	1,14	1,308	1,519	1,792

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Состав, свойства и классификация производственных сточных вод.
2. Режим водоотведения промышленных предприятий. Нормы водоотведения.
3. Схемы водообеспечения и водоотведения предприятий. Показатели эффективности использования воды предприятием.
4. Песколовки в системах механической очистки сточных вод. Пример конструкции песколовки.
5. Баланс воды для систем водоснабжения промышленного предприятия.
6. Первичные отстойники в системах механической очистки сточных вод. Пример конструкции отстойника, основные параметры.
7. Внутри - и внеплощадная система канализации промышленных предприятий. Факторы, влияющие на выбор системы канализации.
8. Определение необходимой степени очистки сточных вод по $БПК_{полн}$.
9. Схемы канализации промышленных предприятий.
10. Условия выпуска производственных сточных вод в водоемы культурно-бытового назначения.

11. Механическая очистка сточных вод. Используемое оборудование, технологическая схема.

12. Условия выпуска производственных сточных вод в городскую канализацию.

13. Условия выпуска производственных сточных вод в водоемы хозяйственно-питьевого назначения.

14. Нормативные показатели загрязненности сточных вод химическими веществами и соединениями. Примеры допустимых уровней загрязненности воды.

15. Условия выпуска производственных сточных вод в рыбохозяйственные водоемы.

16. Фильтрация в системах механической очистки производственных сточных вод. Пример конструкции сетчатого барабанного фильтра. Области применения.

17. Определение необходимой степени очистки сточных вод по общесанитарному и санитарно-токсикологическому показателям вредности.

18. Определение необходимой степени очистки сточных вод по растворенному в воде водоема кислороду.

19. Фильтрация в системах механической очистки производственных сточных вод. Электромагнитные фильтры. Принцип работы, области применения. Основные характеристики.

20. Расчет расхода бытовых, душевых и других видов производственных сточных вод промышленного предприятия.

21. Удаление песка из песколовков при механической очистке и его дальнейшее обезвреживание.

22. Решетки в системах механической очистки сточных вод. Пример конструкции, размещение, области применения.

23. Определение необходимой степени очистки сточных вод по температуре.

24. Открытые гидроциклоны в системах механической очистки сточных вод. Назначение, пример конструкции, расчет, основные размеры.

25. Методы, рекомендуемые для обработки сточных вод различной степени загрязненности.

26. Фильтрация в системах механической очистки сточных вод. Пример выполнения вертикального напорного фильтра. Области применения.

27. Определение степени очистки сточных вод, сбрасываемых в непроточные водоемы.

28. Усреднители в системах механической очистки сточных вод. Типовая схема усреднителя.

29. Нефтеловушки, центрифуги, смолоотстойники в системах механической очистки сточных вод

30. Химическая очистка производственных сточных вод. Основные методы

31. Нейтрализация. Способы и применение

32. Способ нейтрализации путем смешения кислых стоков со щелочами

33. Способ нейтрализации производственных сточных вод путем добавления реагентов

34. Нейтрализация кислых сточных вод путем фильтрования через нейтрализующие материалы

35. Окисление, как метод химической очистки производственных сточных вод. Основные виды окисления.

36. Окисление активным хлором. Типовая схема. Области применения.

37. Окисление кислородом воздуха. Области применения.

38. Озонирование. Применение. Способы введения озона в сточные воды.

4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование сооружений для очистки сточных вод / Всесоюз. Комплекс н.-и. и конструктор. – технолог. ин – т водоснабжения, канализации и инж. Гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.

2. Пааль Л. Л. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л. Л. Пааль, Я. Я. Кару, Х. А. Мельдер. – М.: Высш. шк., 1994. – 336 с.

3. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов, - М.:АСВ, 2002. – 704 с.

4. Тимонин А. С. Машины и аппараты химических производств: учебное пособие для вузов. – Калуга: Изд – во Н. Ф. Бочкарёвой, 2008. – 872 с.

5. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ // СЗ РФ. 2002. № 2. Ст. 133.

6. Экология. Сборник задач, упражнений и примеров: учебное пособие для вузов / Н.А. Бродская, О.Г. Воробьев, А.Н. Маковский и др.; под ред. О.Г. Воробьева и Н.И. Николайкина. – М.: Дрофа, 2006. – 508 с.