

# ПРЕДИСЛОВИЕ

**О**храна и рациональное использование водных ресурсов представляют собой важнейшую проблему в современной промышленной экологии.

При использовании воды в производственных технологических процессах и в быту она загрязняется различными неорганическими и органическими веществами, как в дисперсном, так и растворенном состоянии, т. е. образуются сточные воды, требующие очистки и обезвреживания при повторном использовании в замкнутых системах водоснабжения или при сбросе в естественные водоемы.

В составе инженерных коммуникаций большинства промышленных предприятий и коммунального хозяйства населенных пунктов имеется комплекс канализационных сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется водоотведение, предварительная и глубокая обработка сточных вод. Разработка и выбор эффективных методов, способов и технических устройств очистки сточных вод, излагаемых в учебном курсе «Процессы и аппараты защиты гидросферы», является сложной инженерной задачей, решением которой занимается в основном инженер-эколог.

Настоящий сборник примеров и задач по защите водной среды от сбросов сточных вод составлен в дополнение к учебным пособиям А. Г. Ветошкина «Процессы и аппараты защиты гидросферы» (Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006) и «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» (М.: Высш. шк., 2008). В усвоении материала этих учебных пособий как составных частей учебной дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» существенную роль играют практические занятия, на которых студенты овладевают навыками расчета аппаратов и установок, а также с помощью схем и чертежей изучают устройство и принцип действия аппаратов.

В предлагаемом практикуме в обобщенном и систематизированном виде приведены апробированные в проектной и учебной практике методики расчета основных способов очистки сточных вод от взвешенных и растворенных вредных примесей и приводятся подробные примеры технологического и конструкторского расчета аппаратов и машин, реализующих эти способы очистки.

С методической точки зрения каждая глава практикума состоит из трех частей: в первой части приведены основные понятия и расчетные формулы, применяемые при решении задач, во второй — подробные решения типовых задач и в третьей — контрольные задачи. В приложении приведены основные физико-химические, теплофизические свойства используемых веществ и характеристики аппаратов, необходимые для выполнения технических расчетов.

Содержание практикума соответствует примерной программе специальной дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности «Инженерная защита окружающей среды» направления подготовки дипломированного специалиста «Защита окружающей среды».

Пособие предназначено для подготовки бакалавров по профилю «Инженерная защита окружающей среды» направления подготовки «Техносферная безопасность», бакалавров по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование» и для подготовки инженеров-экологов по специальностям: «Инженерная защита окружающей среды», «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», «Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды», «Природоохранное обустройство территорий»; инженеров-строителей по специальности «Водоснабжение и водоотведение». Оно может быть также использовано при изучении дисциплин «Экология» и «Безопасность жизнедеятельности» других технических специальностей.

Материал пособия может быть использован студентами и преподавателями вузов для проведения семинарских занятий, выполнения домашних заданий, при самостоятельном изучении материала учебной дисциплины, а также при выполнении расчетных работ, курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Практикум составлен на основе обобщения опыта преподавания дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» на кафедре техносферной безопасности Пензенского государственного университета.

# ГЛАВА 1 СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Гидросфера, являясь важнейшим элементом биосферы, играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе и в обеспечении жизни человека.

Загрязнение озер, рек, морей и даже океанов принимает такие размеры, что во многих районах превышает их способность к самоочищению.

В таблице 1.1 приведена классификация примесей, отражающая все их многообразие в сточных водах.

Эта классификация помогает проектировать и создавать очистные установки в зависимости от состава сточных вод.

В зависимости от характера примесей в сточных водах применяют те или другие приемы очистки или их комбинацию:

- для суспензированных и эмульгированных примесей — отстаивание, флотацию, фильтрацию, осветление, центрифугирование (для грубодисперсных частиц), коагуляцию, флокуляцию, электрические методы осаждения (для мелкодисперсных и коллоидных частиц);

Таблица 1.1

Классификация примесей воды

Показатели	Примеси			
	гетерогенные		гомогенные	
	1 гр.	2 гр.	3 гр.	4 гр.
Размер частиц, см	$10^{-1}-10^{-3}$	$10^{-5}-10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
Характеристика системы	Взвеси (суспензии, эмульсии, патогенные микроорганизмы и планктон)	Коллоидные частицы (коллоиды, высокомолекулярные соединения)	Молекулярные растворы, растворенные в воде газы и органические вещества	Ионные растворы, электролиты (соли, кислоты, основания)
Влияние примесей на систему	Вызывают помутнение воды	Обуславливают окисляемость и цветность воды	Придают воде запахи и привкусы	Обуславливают минерализацию

- для очистки от неорганических соединений — дистилляцию, ионообмен, обратный осмос, ультрафильтрацию, реагентное осаждение, методы охлаждения, электрические методы;
- для очистки от органических соединений — экстракцию, абсорбцию, флотацию, ионообмен, реагентные методы (регенерационные методы), биологическое, жидкофазное и паровфазное окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление (деструктивные методы);
- для очистки от газов и паров — отдувку, нагрев, реагентные методы;
- для уничтожения вредных веществ — термическое разложение.

Во всех случаях очистки стоков первой стадией является механическая очистка, предназначенная для удаления взвеси и дисперсно-коллоидных частиц. Последующая очистка от химических веществ осуществляется различными методами — физико-химическими (флотация, абсорбция, ионообмен, дистилляция, обратный осмос, ультрафильтрация и др.), химическими (реагентная очистка), электрохимическими, биологическими. Если в сточных водах имеются токсичные вещества, применяют термические методы.

Механическая очистка применяется для выделения из сточной воды нерастворенных минеральных и органических примесей. Назначение механической очистки заключается в подготовке сточных вод при необходимости к биологическому, физико-химическому или другому методу более глубокой очистки.

Механическая очистка на современных очистных станциях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования. Типы и размеры этих сооружений зависят в основном от состава, свойств и расхода производственных сточных вод, а также от методов их дальнейшей обработки.

Выбор метода очистки сточных вод от взвешенных частиц осуществляется с учетом кинетики процесса.

## 1.1. РЕШЕТКИ И УСРЕДНИТЕЛИ

*Процеживание* — первичная стадия очистки сточных вод — предназначено для выделения из сточных вод крупных нерастворимых примесей размером до 25 мм, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе очистного оборудования. Процеживание сточных вод осуществляется пропусканием воды через решетки и волокнуловители.

**Решетки.** Решетки применяют для улавливания из сточных вод крупных, нерастворенных, плавающих загрязнений. Попадание таких отходов в последующие очистные сооружения может привести к засорению труб и каналов, поломке движущихся частей оборудования, т. е. к нарушению нормальной работы. Решетки изготавливают из круглых и прямоугольных стержней. Зазоры между ними равны 16–20 мм.

Схема механизированной решетки показана на рисунке 1.1.

Расчет решеток производится на максимальный приток сточных вод ( $\text{м}^3/\text{с}$  или  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) или на пропускную способность очистной станции ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ). Исходными данными для расчета решеток являются максимальный расход сточных

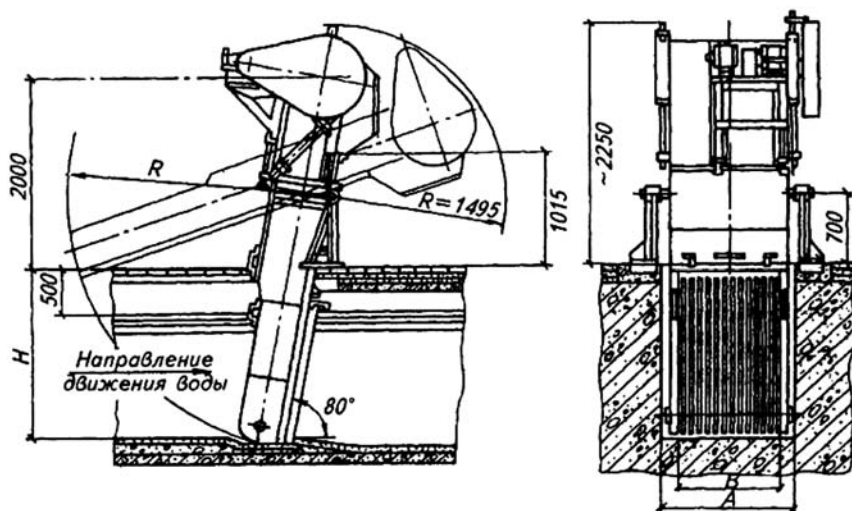


Рис. 1.1  
Грабельная механизированная решетка

вод ( $q_{w \max}$ ) и скорость движения жидкости в зазорах решеток, которую принимают равной  $v = 0,8-1$  м/с. Исходя из этих же данных, определяют суммарную площадь «живого» сечения решеток  $S$  и, задаваясь числом решеток  $N$ , площадь одной решетки  $S_1$ :

$$S = \frac{q_{w \max}}{v}; \quad S_1 = \frac{S}{N}. \quad (1.1)$$

Число прозоров между прутьями решетки можно определить по формуле

$$n = \frac{q_w r_3}{b H_1 v}, \quad (1.2)$$

где  $b$  — ширина прозоров между прутьями решетки, м;  $H_1$  — глубина установки решетки в водоем, м;  $r_3$  — коэффициент, учитывающий стеснение прозоров и равный 1,05.

Ширину решетки можно определить по уравнению

$$B_p = s(n - 1) + bn, \quad (1.3)$$

где  $s$  — толщина стержней решетки, м.

При проектировании решеток количество уловленных загрязнений следует принимать в зависимости от размера решеток (при  $b = 16-20$  мм количество отбросов равно 8 л на 1 чел. в год, а их плотность —  $750 \text{ кг/м}^3$ ). Уловленные на решетках отбросы должны подвергаться дроблению в дробилках и возвращаться в поток воды перед решетками.

Если количество улавливаемых загрязнений составляет  $0,1 \text{ м}^3$  в 1 сут и более, то очистка решеток должна быть механизирована.

**Пример 1.1.** Определить размеры решеток и количество улавливаемых загрязнений для очистной станции со средней производительностью  $Q_w = 120\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

**Р е ш е н и е.** Расчетные расходы следует определять по суммарному графику притока сточных вод на очистную станцию с учетом поступления сточных вод от промышленных предприятий. Если данные о расходе сточных вод от промышленных предприятий отсутствуют, расчетные расходы определяют в предположении, что на станцию поступают только городские сточные воды.

Средний секундный расход:

$$q_w = Q_w / (24 \cdot 3600) = 120\,000 / 86\,400 = 1,39 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий коэффициент неравномерности водоотведения  $K_{\text{об.мах}} = 1,47$ .

Тогда

$$q_{w \text{ max}} = q_{w \text{ ср}} \cdot K_{\text{об.мах}} = 1,39 \cdot 1,47 = 2,04 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Этот расход является расчетным расходом для решеток.

Принимая глубину воды в камере решетки  $h_1 = 1,5 \text{ м}$ , среднюю скорость воды в прозорах между стержнями  $v = 1 \text{ м/с}$  и ширину прозоров  $b = 0,016 \text{ м}$ , количество прозоров решетки определяем по формуле (1.2):

$$n = \frac{2,04 \cdot 1,05}{0,016 \cdot 1,5 \cdot 1} = 89.$$

Принимаем толщину стержней решетки  $s = 0,008 \text{ м}$ .

Ширину решеток находим по зависимости (1.3):

$$B_p = 0,008(89 - 1) + 0,016 \cdot 89 = 2,13 \text{ м}.$$

Принимаем две решетки, ширина каждой из которых составляет

$$B_1 = 2,13/2 = 1,065 \text{ м}.$$

В соответствии с выполненными расчетами выбираем решетку со следующими данными: размеры камеры перед решеткой  $B \times H = 1000 \times 2000$ ; число прозоров  $n = 39$ ; угол наклона решетки к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ . Перепад между дном камеры до и после решетки  $Z_1 - Z_2 = 0,1 \text{ м}$ .

Проверяем скорость воды в прозорах решетки. При принятых размерах она будет

$$v = \frac{q_w r_3}{N b h_1 n} = \frac{2,04 \cdot 1,05}{2 \cdot 0,016 \cdot 1,5 \cdot 39} = 1,14 \text{ м/с}.$$

Вычисляем длину камеры решетки:  $l_p = l_1 + l_2 = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ м}$  (величины  $l_1$  и  $l_2$  приняты конструктивно). Отметка уровня воды:  $Z_3 = Z_1 + h_1 = 0,1 + 1,5 = 1,6 \text{ м}$ .

Определим количество загрязнений, улавливаемых решетками. Количество отбросов, снимаемых с решеток, имеющих ширину прозоров  $b = 16 \text{ мм}$ , равно 8 л/год на 1 чел.

Принимая норму водоотведения  $n = 250 \text{ л/чел.сут}$ , определим приведенное число жителей:

$$N_{\text{пр}} = Q_w / 120\,000 \cdot 1000/250 = 480\,000 \text{ чел}.$$

Объем улавливаемых загрязнений:

$$V_{\text{сут}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot 8}{1000 \cdot 365} = \frac{480\,000 \cdot 8}{1000 \cdot 365} = 10,52 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При их плотности  $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$  масса загрязнений составляет  $M = 10,52 \times 0,75 = 7,89 \text{ т}$  в 1 сут.

**Усреднители.** Резкие колебания расхода и количества загрязнений сточных вод затрудняют их очистку. Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений усредняют расход сточной воды или концентрации веществ, находящихся в ней. Иногда усреднение осуществляют по двум показателям одновременно. Изменение концентрации в сточной воде может произойти в результате ее залпового сброса или вследствие циклических колебаний состава вод.

Усреднение проводят в контактных и проточных усреднителях. Контактные усреднители используют при небольших расходах сточной воды, в периодических процессах и для обеспечения высоких степеней выравнивания концентраций. В большинстве случаев применяют проточные усреднители, которые выполняют в виде многокоридорных (многоходовых) резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами. Из многокоридорных усреднителей наибольшее распространение получили прямоугольные (рис. 1.2) и круглые. Усреднение в них достигается смешением струй сточной воды разной концентрации. Такие усреднители рекомендуется применять при незначительном количестве взвешенных веществ в поступающей сточной воде.

В усреднителях с перемешивающими устройствами усреднение воды достигается за счет интенсивного перемешивания воды. Оно может осуществляться барботированием воды воздухом, специальными мешалками или циркуляцией воды в резервуарах, создаваемой насосами. Усреднитель с барботированием воды воздухом рекомендуется применять для усреднения сточных вод с содержанием взвешенных веществ до  $500 \text{ мг/л}$ . При большем содержании взвешенных веществ рекомендуется применять усреднители с механическим перемешиванием и отстойной частью.

Объем усреднителя определяется с учетом характера колебаний концентрации загрязняющих веществ, который может быть подразделен на три вида: залповый, циклический и произвольный.

Многокоридорные усреднители рекомендуется применять при залповых сбросах высококонцентрированных сточных вод. Их объем рассчитывают по формуле

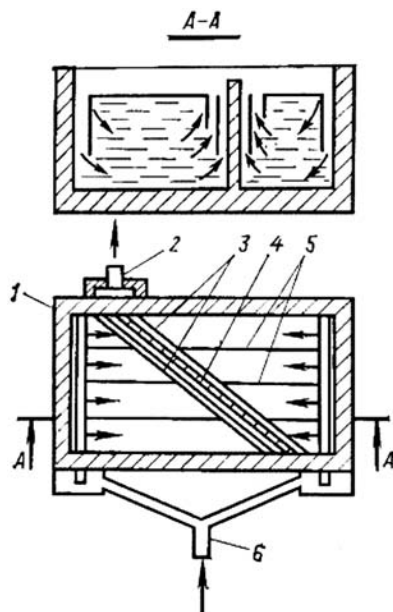


Рис. 1.2  
Прямоугольный усреднитель сточных вод:

1 — распределительный лоток; 2 — водоотводный канал; 3 — сборные лотки; 4 — глухая перегородка; 5 — вертикальная перегородка; 6 — подвод воды.

$$V = q_w \tau_3 K / 2, \quad (1.4)$$

где  $q_w$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $\tau_3$  — длительность залпового сброса, ч;  $K$  — коэффициент усреднения:

$$K = (C_{\max} - C_{\text{ср}}) / (C_{\text{доп}} - C_{\text{ср}}), \quad (1.5)$$

где  $C_{\max}$  — максимальная концентрация загрязнений в залповом сбросе;  $C_{\text{ср}}$  — средняя концентрация загрязнений в стоке;  $C_{\text{доп}}$  — концентрация загрязнений в стоке, допустимая по условиям работы последующих сооружений.

Объем усреднителя  $V$  с перемешивающим устройством при залповом сбросе надлежит определять по следующим формулам:

при  $K < 5$

$$V = \frac{1,3 q_w \tau_3}{\ln K / (K - 1)}; \quad (1.6)$$

при  $K \geq 5$

$$V = 1,3 q_w \tau_3 K. \quad (1.7)$$

Объем усреднителя  $V$  с перемешивающим устройством при циклических колебаниях вычисляют по формулам:

при  $K < 5$

$$V = 0,21 q_w \tau_K \sqrt{K^2 - 1}; \quad (1.8)$$

при  $K \geq 5$

$$V = 0,21 q_w \tau_K K, \quad (1.9)$$

где  $\tau_K$  — период цикла колебания, ч.

Для случая произвольного характера колебаний концентрации загрязнений сточных вод методики определения объема усреднителя с перемешивающим устройством не имеется, и объем определяется методом подбора. Сначала объем усреднителя принимают примерно равным суммарному притоку сточных вод в часы с концентрацией загрязнений, превышающей допустимую концентрацию. Затем проверяют правильность принятого объема путем расчета концентрации загрязнений на выходе из сооружения по часам суток. В любой период времени концентрация загрязнений не должна превышать допустимую концентрацию. Проверочный расчет ведется последовательно для периодов времени (в ч):

$$\Delta t < V / (5 q_w). \quad (1.10)$$

Число периодов времени должно быть не менее 50. Изменение концентрации загрязнений, г/м<sup>3</sup>, на выходе из усреднителя в каждый период времени определяется по формуле

$$\Delta C_{\text{вых}} = q_w (C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}) \Delta t / V, \quad (1.11)$$

где  $C_{\text{вх}}$ ,  $C_{\text{вых}}$  — концентрация загрязнений на входе и выходе за предыдущий период времени, г/м<sup>3</sup>.

Результат вычисления  $\Delta C_{\text{вых}}$  может быть положительным и отрицательным. Полученное  $\Delta C_{\text{вых}}$  следует прибавить к  $C_{\text{вых}}$  предшествующего периода времени, в результате чего получим  $C_{\text{вых}}$  данного периода времени.



Определение концентрации загрязнений в усредненной воде следует начинать с того часа, когда наблюдается максимальное значение  $C_{\text{вх}}$ . Если полученный результат в любой период времени превышает допустимую концентрацию загрязнений, то расчет следует повторить при увеличенном объеме усреднителя.

Для усреднения расхода сточных вод объем усреднителя следует рассчитывать аналогично расчету регулирующих емкостей систем водоснабжения и канализации.

Объем усреднителя, предназначенного для усреднения расхода и концентрации загрязнения, также определяется методом подбора — проверкой принятого объема усреднителя и концентрации загрязнения на выходе из усреднителя в отдельные периоды времени.

*Пример 1.2.* Определить объем и размеры усреднителя для усреднения сточных вод, приток которых и концентрация загрязнений по часам суток характеризуются данными, приведенными в таблице 1.2. Допустимая концентрация загрязнений  $C_{\text{доп}} = 700 \text{ г/м}^3$ . Концентрация взвешенных веществ в воде  $C = 295 \text{ мг/л}$ .

Таблица 1.2

Исходные и расчетные данные для проектируемого усреднителя

Исходные данные			Расчетные концентрации загрязнений в усредненной воде за сутки, $\text{г/м}^3$					
часы суток	приток, $\text{м}^3/\text{ч}$	$C$ , $\text{г/м}^3$	1-е		2-е		3-е	
			$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$	$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$	$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$
0–1	540	240	—	—	–27	493	–24	465
1–2	580	280	—	—	–22	471	–19	446
2–3	580	285	—	—	–19	452	–17	429
3–4	400	300	—	—	–11	441	–9	420
4–5	450	200	—	—	–19	422	–18	402
5–6	340	450	—	—	2	424	3	405
6–7	340	600	—	—	12	435	12	417
7–8	300	740	—	—	16	451	17	434
8–9	450	500	—	—	4	455	5	439
9–10	450	700	—	—	20	475	21	460
10–11	480	1000	—	—	45	520	46	506
11–12	500	1550	—	700	92	612	93	599
12–13	600	820	13	713	22	634	24	623
13–14	700	650	–8	705	2	636	3	626
14–15	750	800	13	718	22	658	23	649
15–16	500	1200	43	761	48	706	49	698
16–17	350	450	–19	742	–16	690	–16	682

Исходные данные			Расчетные концентрации загрязнений в усредненной воде за сутки, г/м <sup>3</sup>					
часы суток	приток, м <sup>3</sup> /ч	C, г/м <sup>3</sup>	1-е		2-е		3-е	
			$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$	$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$	$\Delta C_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$
17–18	350	240	–31	711	–28	662	–28	654
18–19	380	270	–30	681	–27	635	–26	628
19–20	450	180	–40	641	–37	598	–36	592
20–21	450	150	–39	602	–36	562	–36	556
21–22	400	150	–32	570	–29	533	–29	527
22–23	400	210	–26	544	–23	510	–23	504
23–24	550	300	–24	520	–21	489	–20	484

**Р е ш е н и е.** Как видно из таблицы 1.2, изменение концентрации загрязнения происходит произвольно. Учитывая это и то, что содержание взвешенных веществ в воде меньше 500 мг/л, проектируем усреднитель с перемешиванием, осуществляемым барботированием воды воздухом.

Из таблицы 1.2 следует, что превышение концентрации загрязнений сверх допустимой наблюдается с 7 до 16 ч. Поэтому период усреднения принимаем равным 9 ч.

Ориентировочно объем усреднителя принимаем

$$V = 300 + 450 + 450 + 480 + 500 + 600 + 700 + 750 + 500 = 4730 \text{ м}^3.$$

Число типовых секций размером 25×11,8×5 м и объемом 1400 м<sup>3</sup> должно быть  $n = 4730/1400 = 3,38$ .

Принимаем четыре секции, общий объем которых будет

$$V = 1400 \cdot 4 = 5600 \text{ м}^3.$$

Пропускная способность каждой секции

$$q_w = q_{w \text{ max}} / n = 750/4 = 187,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Скорость продольного движения воды в секции

$$v = \frac{q_w \cdot 1000}{S \cdot 3600} = \frac{187,5 \cdot 1000}{11,8 \cdot 5 \cdot 3600} = 0,82 \text{ мм/с} < v_{\text{доп}} = 2,5 \text{ мм/с},$$

где  $S$  — площадь живого сечения секции.

Максимальный отрезок времени, через который следует определять концентрации загрязнений на выходе из усреднителя, находим по формуле (1.10):

$$\Delta t = 5600/(5 \cdot 750) = 1,49 \text{ ч}.$$

Принимаем  $\Delta t = 1 \text{ ч}$ .

Расчет правильности принятого объема усреднителя начинаем с 11 ч, когда концентрация загрязнений в поступающей воде наибольшая (см. табл. 1.2). Предполагаем, что в 12 ч в усредненной воде концентрация загрязнений равна

допустимой ( $C_{\text{вых}12} = 700 \text{ г/м}^3$ ). Изменение концентрации загрязнений в следующий час по формуле (1.11) будет

$$\Delta C_{\text{вых}13} = \frac{600}{5600} (820 - 700) \cdot 1 \approx 13 \text{ г/м}^3.$$

Концентрация загрязнений в выходящей воде

$$C_{\text{вых}13} = C_{\text{вых}12} + \Delta C_{\text{вых}13} = 700 + 13 = 713 \text{ г/м}^3.$$

Результаты расчетов в последующие часы приведены в таблице 1.2, из которой следует, что максимальная концентрация загрязнений в усредненной воде равна  $698 \text{ г/м}^3$  (в 16 ч за третьи сутки), т. е. меньше допустимой концентрации, равной  $700 \text{ г/м}^3$ . Следовательно, расчетный объем усреднителя  $V = 5600 \text{ м}^3$  определен правильно.

## 1.2. ОТСТОЙНИКИ, НЕФТЕЛОВУШКИ, ПЕСКОЛОВКИ

Отстаивание применяют в промышленности для сгущения суспензий или классификации суспензий по фракциям частиц твердой фазы, для грубой очистки газов от пыли и для разделения эмульсий. Ввиду малой движущей силы (сила тяжести) в процессе отстаивания возможно с достаточной эффективностью отделять только крупные частицы. Однако отстаивание — это наиболее простой и дешевый процесс среди гидродинамических, поэтому его часто используют для первичного разделения, что удешевляет последующее окончательное разделение гетерогенных систем более сложными способами.

Работа многочисленных аппаратов, предназначенных для выделения из сточных вод твердых и жидких примесей, основана на гидродинамических закономерностях процесса отстаивания. К таким аппаратам относятся песколовки, первичные и вторичные отстойники, илоуплотнители, нефтеловушки, смоло-, жиро- и маслоуловители.

**Отстойники.** Аппараты, применяемые для разделения суспензий сточной воды, называются отстойниками или сгустителями. Различают отстойники периодического и непрерывного действия, одноярусные и многоярусные. Наиболее распространены непрерывнодействующие одноярусные гребковые отстойники (рис. 1.3).

В таблице П.1 приложения приведены основные параметры отстойной аппаратуры.

Число первичных отстойников принимают не менее двух, а вторичных — не менее трех при условии, что все они являются рабочими. При минимальном числе их расчетный объем увеличивают в 1,2–1,3 раза.

**Нефтеловушки** применяются для очистки сточных вод, содержащих грубодиспергированную нефть и нефтепродукты при концентрации более  $100 \text{ мг/л}$ . Эти сооружения представляют собой прямоугольные вытянутые в длину резервуары, в которых происходит разделение нефти и воды за счет разности их плотностей (рис. 1.4). Нефть и нефтепродукты всплывают на поверхность, а содержащиеся в сточной воде минеральные примеси оседают на дно нефтеловушки.

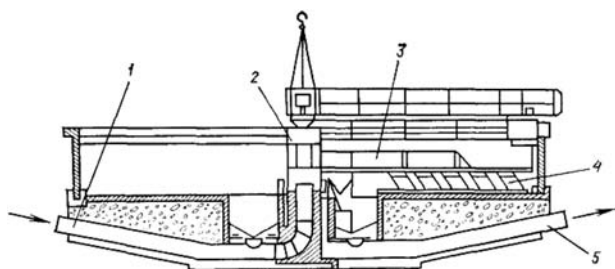


Рис. 1.3

Радиальный отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством:

1 — трубопровод для подачи сточной воды; 2 — центральная чаша; 3 — сборно-распределительное устройство; 4 — скребки; 5 — трубопровод для отвода очищенной воды.

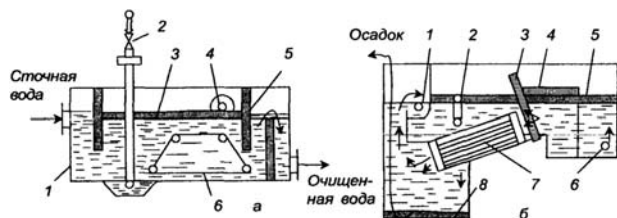


Рис. 1.4

Нефтеловушки:

*a* — горизонтальная: 1 — корпус, 2 — гидроэлеватор, 3 — слой нефти, 4 — нефтесборная труба, 5 — нефтеудерживающая перегородка, 6 — скребковый транспортер; *б* — тонкослойная: 1 — вывод очищенной воды, 2 — нефтесборная труба, 3 — перегородка, 4 — плавающий пенопласт, 5 — слой нефти, 6 — ввод сточной воды, 7 — секция из гофрированных пластин, 8 — осадок.

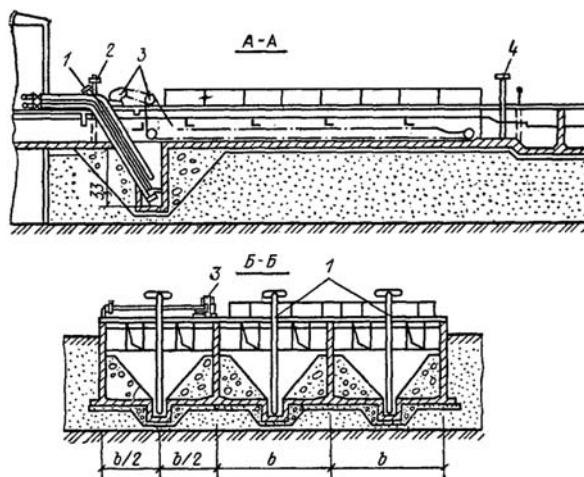


Рис. 1.5

Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением воды:

1 — гидроэлеваторы; 2 — щитовые затворы; 3 — скребковые механизмы для удаления песка.

**Песколовки** предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (главным образом песка) крупностью свыше 0,2–0,25 мм при пропускной способности станции очистки сточных вод более 100 м<sup>3</sup>/сут.

В системах очистки наибольшее применение нашли песколовки с горизонтальным прямолинейным движением воды (рис. 1.5).

### РАСЧЕТ ОТСТОЙНОЙ АППАРАТУРЫ

Для проектирования сооружений и аппаратов механической очистки задают следующие данные: общее количество сточных вод (м<sup>3</sup>/ч), температура сточных вод (°С), периодичность образования сточных вод, тяжелые механические примеси (мг/л), плотность тяжелых и легких загрязнений (г/см<sup>3</sup>), кинетика осаждения механических примесей, которые тяжелее и легче воды при их расчетной концентрации в исходной воде, требуемая степень очистки (%) или допустимое содержание загрязнений, гидравлическая крупность частиц  $w_0$  тяжелее и легче воды, которую необходимо выделить для обеспечения требуемой степени очистки (мм/с).

Технологический и конструктивный расчеты отстойной аппаратуры базируются на закономерностях гидромеханических процессов.

### МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС

При отсутствии потерь веществ в процессе механического разделения сточных вод от взвешенных примесей уравнения материального баланса имеют вид:

- по общему количеству веществ

$$G_c = G_{ocb} + G_{oc}; \quad (1.12)$$

- по дисперсной фазе

$$G_c x_c = G_{ocb} x_{ocb} + G_{oc} x_{oc}, \quad (1.13)$$

где  $G_c$ ,  $G_{ocb}$ ,  $G_{oc}$  — масса исходной суспензии (сточной воды), осветленной воды и получаемого осадка примесей, кг;  $x_c$ ,  $x_{ocb}$ ,  $x_{oc}$  — содержание примесей в исходной суспензии (сточной воде), осветленной воде и осадке, масс. доли.

Совместное решение этих уравнений позволяет определить массовое количество осветленной воды  $G_{ocb}$  и массу осадка  $G_{oc}$ , получаемых при заданном содержании примесей в осадке и осветленной воде:

$$G_{ocb} = G_c \frac{x_{oc} - x_c}{x_{oc} - x_{ocb}}; \quad (1.14)$$

$$G_{oc} = G_c \frac{x_c - x_{ocb}}{x_{oc} - x_{ocb}}. \quad (1.15)$$

Содержание взвешенных частиц в осветленной воде и в осадке выбирается в зависимости от конкретных технологических условий процесса разделения.

Чаще всего принимают при расчете  $x_{ocb} = 0$ .

Количество сухого вещества  $G_{c,в}$  (в кг) в осадке отстойника или на фильтре зависит от количества осветленной жидкости  $V_{ocb}$ , плотности осветленной жидкости  $\rho_o$ , массовой доли твердой фазы в суспензии сточной воды  $x_c$ , влажности

осадка (выражаемой массовым отношением  $m$ ) и может быть вычислено по формуле

$$G_{\text{с.в}} = V_{\text{осв}} \frac{\rho_o x_c}{1 - m x_c}. \quad (1.16)$$

Плотность суспензии сточной воды:

$$\rho_c = \frac{n+1}{\frac{1}{\rho_T} + \frac{n}{\rho_o}} = \frac{\rho_o(1+n)\rho_T}{\rho_o + \rho_T n}, \quad (1.17)$$

где  $\rho_T$  — плотность твердой фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  — масса жидкой фазы в суспензии сточной воды на единицу массы твердой фазы ( $T : Ж = 1 : n$ ).

По формуле (1.17) можно вычислить и плотность влажного осадка, рассматривая его как концентрированную суспензию.

#### КИНЕТИКА ОСАЖДЕНИЯ

Сила сопротивления жидкой среды при осаждении частицы  $R$  (в Н):

$$R = \frac{\zeta S_{\text{ч}} \rho_{\text{ж}} w_{\text{ос}}^2}{2}, \quad (1.18)$$

где  $S_{\text{ч}}$  — площадь сечения частицы, м<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $w_{\text{ос}}$  — скорость осаждения частицы, м/с;  $\zeta$  — коэффициент сопротивления среды при осаждении,  $\zeta = f(\text{Re})$ :

$$\text{при } \text{Re} \leq 2, \zeta = 24/\text{Re}; 500 > \text{Re} > 2, \zeta = 18,5/\text{Re}; \text{Re} > 500, \zeta = 0,44. \quad (1.19)$$

Для любого из трех указанных выше режимов скорость осаждения  $w_{\text{ос}}$  (м/с):

$$w_{\text{ос}} = \sqrt{4g d_{\text{э}} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) / (3\zeta \rho_{\text{ж}})}, \quad (1.20)$$

где  $d_{\text{э}}$  — эквивалентный диаметр частицы, м;  $\rho_{\text{ч}}$  — плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Для частицы массой  $m$  (в кг) эквивалентный диаметр  $d_{\text{э}}$  (в м):

$$d_{\text{э}} = 1,24 \sqrt[3]{m / \rho_{\text{ч}}}. \quad (1.21)$$

Скорость осаждения шарообразных частиц (в м/с) по закону Стокса при  $\text{Re} \leq 2$

$$w_{\text{ос}} = g d_{\text{ч}}^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) / (18\mu_{\text{ж}}), \quad (1.22)$$

где  $\mu_{\text{ж}}$  — динамическая вязкость жидкой среды, Па·с.

Для частиц не шарообразной формы скорость осаждения

$$w'_{\text{ос}} = w_{\text{ос}} \Phi, \quad (1.23)$$

где  $\Phi$  — коэффициент, учитывающий форму частиц (для частиц округлых  $\Phi = 0,77$ , для угловатых —  $0,66$ , для продолговатых —  $0,58$  и для пластинчатых —  $0,43$ ).

Для описания в критериальной форме процесса осаждения шарообразной частицы в неподвижной неограниченной среде могут быть применены крите-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)