

Практикум
(задачи и указания)

СОДЕРЖАНИЕ

Тема и содержание занятия
Тема 1. Система водоотведения промышленного предприятия 1.1. Общая оценка водоотводящей системы промышленных предприятий. 1.2. Определение показателей и условий выпуска сточных вод
Тема 2. Системы очистки сточных вод промышленных предприятий 2.1. Определение баланса материальных потоков системы водоотведения. 2.2. Формирование системы очистки сточных вод промышленного предприятия. 2.3. Оборудование для механической очистки производственных сточных вод. 2.4. Принципы расчета сооружений для механической очистки производственных сточных вод. 2.5. Принципы расчета сооружений и оборудования для химической очистки производственных сточных вод. 2.6. Принципы расчета сооружений и оборудования для физико-химической очистки производственных сточных вод. 2.7. Принципы расчета сооружений и оборудования для физико-химической очистки производственных сточных вод. 2.8. Системы биологической очистки сточных вод промышленных предприятий

**РАЗДЕЛ 1. ВОДООТВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Тема 1. Система водоотведения промышленного предприятия

1.1. Общая оценка водоотводящей системы промышленных предприятий

Пример 1.1.

Определить значения показателей водного хозяйства предприятий по данным табл. 1.1 для заданного объема производства. Составить заключение об эффективности использования воды в производстве.

Таблица 1.1

Удельные нормы водопотребления и водоотведения на единицу продукции, м³/ед

Производство	Единица измерения	Вода из источника	Оборот. и послед. использование	Всего	Безвозвратные потери	Сточные воды
Добыча нефти	1т	3	3	6	2,75	0,25
Производство чугуна	1т	37	364	401	33	4
Шерстяные ткани	1 т	390	1840	2230	65	325
Кожаная обувь	1000 пар	15	2,5	17,5	2,5	12,5

Решение. Водное хозяйство промышленных предприятий оценивается следующими показателями:

1. Показатель оборота воды на предприятии
2. Показатель использования воды
3. Кратность использования воды
4. Показатель потерь воды в системе водного хозяйства

В качестве примера определим показатели водного хозяйства чугуноплавильного завода.

1. Показатель оборота воды на предприятия определяют по формуле:

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{ВП} + Q_c} 100, \% \quad (1.1)$$

где $Q_{об}$ – расход воды в оборотном контуре; Q_{en} – расход воды, подаваемой из источника; Q_c – расход воды, поступающей с сырьем.

Соответственно:

$$P_{об} = \frac{364}{364 + 37 + 0} = 90,8\%$$

2. Показатель использования воды на предприятия определяют по формуле:

$$P_{вп} = \frac{(Q_{вп} - Q_{ст})}{Q_{вп}} \leq 1 \quad (1.2)$$

где $Q_{ст}$ – расход сточных вод.

Соответственно:

$$P_{об} = \frac{(37 - 4)}{37} = 0,89$$

3. Кратность использования воды на предприятия определяют по формуле:

$$K = \frac{Q_{вп} + Q_c + Q_{ст}}{Q_{вп} + Q_c} \geq 1 \quad (1.3)$$

где $Q_{ст}$ – расход сточных вод.

Соответственно:

$$K = \frac{37 + 0 + 4}{37 + 0} = 1,1 \geq 1$$

4. Показатель потерь воды в системе водного хозяйства определяют по формуле:

$$K_{п} = \frac{Q_{вп} - Q_{ст}}{Q_{вп} + Q_{об}} 100 \quad (1.4)$$

где $Q_{ст}$ – расход сточных вод.

Соответственно:

$$K_{п} = \frac{37 - 4}{37 + 364} 100 = 8,2\%$$

Заключение об эффективности использования воды в производстве:

Водное хозяйство промышленного предприятия эффективно использует воду, применяя технологии оборотного водообеспечения, безвозвратные потери воды не превышают 10%.

1.2. Определение показателей и условий выпуска сточных вод

Пример 1.2

Очищенные сточные воды сбрасываются в водоем, используемый для целей питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования. Расход сточных вод, сбрасываемых в водоем, равен $1 \text{ м}^3/\text{с}$, расход воды в реке – $40 \text{ м}^3/\text{с}$. Коэффициент смешения $a=0,4$. Содержание растворенного кислорода в природной воде до места выпуска сточной $O_p=6,5 \text{ мг/л}$.

Определить, Необходимую эффективность очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода, если БПК_{полн} сточной воды $L_{ст} = 358 \text{ мг/л}$, а БПК_{полн} речной воды в расчетном створе $L_p = 2 \text{ мг/л}$.

Решение. Для расчетного створа данного вида водоема установлено значение ПДК растворенного кислорода, $O_{ПДК} \geq 4 \text{ мг/л}$. Допустимое значение БПК_{полн} очищенной сточной воды, при котором будет обеспечено ПДК кислорода в речной воде на вторые сутки, вычисляют по формуле:

$$L_{ст} = \frac{aQ}{0,4q} (O_p - 0,4L_p - O_{ПДК}) - \frac{O_{ПДК}}{0,4} \quad (1.5)$$

Соответственно:

$$L_{ст} = \frac{0,4 \cdot 40}{0,4 \cdot 1} (6,5 - 0,4 \cdot 2 - 4) - \frac{4}{0,4} = 58 \text{ мг/л}$$

Эффективность очистки сточных вод по БПК для обеспечения условий сброса определяют по формуле:

$$\text{Э}_{\text{БПК}} = \frac{(L_{ст} - L_{\text{осв}})}{L_{ст}} 100 \quad (1.6)$$

Соответственно:

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}} = \frac{(358 - 58)}{357} 100 = 84\%$$

Требуемая эффективность очистки воды по органическим веществам может быть достигнута методами биологической очистки.

РАЗДЕЛ 2. СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тема 2. Системы очистки сточных вод промышленных предприятий

2.1. Определение балансов материальных потоков систем водоотведения

Пример 2.1.

Составить ведомость водопотребления и отведения сточных вод для основных водоемких производственных процессов промышленного предприятия по выпуску шерстяных тканей объемом 10 т/сут (задается индивидуально).

Решение. Пользуясь данными таблицы 1.1 и информационно-нормативными данными* составим ведомость водопотребления и отведения сточных вод по форме таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Ведомость потоков потребляемой и сбрасываемой воды в производственных процессах

Код потока	Производственный процесс (цех)	Удельная норма водопотребления, в м ³ на единицу продукции	Потребление воды, м ³ в единицу времени (сутки)	Потери воды, м ³ в единицу времени (сутки)	Удельная норма водоотведения, в м ³ на единицу продукции	Расход сточных вод, м ³ в единицу времени (сутки)

К4	производство шерстяных тканей объемом 10 т/сут	390	3900	650	325	3250
----	--	-----	------	-----	-----	------

*) Укрупненные нормы расхода воды и количество сточных вод на единицу продукции для различных отраслей / СЭВ, ВНИИВОДГЕО. - М.: Стройиздат, 1982.

2.2. Формирование системы очистки сточных вод промышленного предприятия

Пример 2.2.

Состав загрязняющих веществ производственных сточных вод следующий: взвешенные вещества – 400 мг/л, рН= 3,0, БПК – 600 мг/л, ХПК – 800 мг/л, медь – 22 мг/л, хром(VI+) – 18 мг/л. Проанализировать показатели сточных вод. Оценить возможность очистки производственных сточных вод с последующим сбросом в городскую водоотводящую сеть.

Решение. Для удобства проведения технологического анализа потока сточных вод составим сопоставительную таблицу с требованиями к приему сточных вод в коммунальную водоотводящую сеть (таблица 2.2). Оценку необходимой эффективности очистки сточных вод ведут по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{(C_{ст} - C_{осв})}{C_{ст}} 100 \quad (2.1)$$

где $C_{ст}$ – концентрация загрязнений в производственных сточных водах, мг/л;
 $C_{осв}$ – концентрация загрязнений в очищенных сточных водах, мг/л.

Таблица 2.2

Сопоставительная таблица показателей поступающих сточных вод и нормативов приема в системы централизованного водоотведения

Наименование показателя	Величина показателя в сточных	Норматив для приема в систему цен-	Необходимая эффективность
-------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---------------------------

	водах	трализованного водоотведения	предочистки воды, %
Взвешенные вещества, мг/л	400	300	25
рН	3,0	6-9	64
БПК, мг/л	600	300	50
ХПК, мг/л	800	500	38
Медь, мг/л	22	1,0	95
Хром(VI+), мг/л	18	0,05	99

На основании анализа показателей общего потока сточных вод предприятия следуют следующие выводы:

1. Отношение показателей БПК/ХПК = 0,75, что позволяет применить процесс биохимической очистки воды в одну ступень.

2. Показатель взвешенные вещества технологически увязывается с процессом биохимической очистки воды.

3. Лимитирующими показателями являются рН и ионы тяжелых металлов. Эти вещества относятся к ингибиторам биологических процессов и характерны для сточных вод гальванического производства.

2.3. Оборудование для механической очистки производственных сточных вод

Пример 2.3.

Укажите назначение и перечислите виды оборудования для механической очистки сточных вод.

Решение. Оборудование механической очистки сточных вод предназначено для подготовки потоков воды к процессам очистки и удаления из воды грубодисперсных загрязнений. Основными видами технологического оборудо-

дования для механической очистки сточных вод являются регулирующие емкости, процеживатели, гравитационные разделители и микропроцеживатели.

2.4. Принципы расчета сооружений для механической очистки производственных сточных вод

Пример 2.4

Определить объем и размеры в плане многокоридорного усреднителя при залповом сбросе высококонцентрированных сточных вод в течение $t_3=0,5$ ч. Расход сточных вод постоянен: $Q=80$ м³/ч. Концентрации загрязнений $C_{\text{макс}}=450$ мг/л, $C_{\text{ср}}=85$ мг/л. Допустимая концентрация загрязнений из условий нормальной работы последующих сооружений $C_{\text{доп}}=140$ мг/л.

Решение. Определяем коэффициент усреднения K по формуле:

$$K = (C_{\text{макс}} - C_{\text{ср}}) / (C_{\text{доп}} - C_{\text{ср}}); \quad (2.2)$$

где $C_{\text{макс}}$ – 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.

Соответственно:

$$K = (450 - 85) / (140 - 85) = 6,64$$

Объем усреднителя находим по формуле:

$$W = Q \cdot t_3 \cdot K / 2 \quad (2.3)$$

Где Q – расход сточных вод, м³/ч;

t_3 – длительность залпового сброса, ч;

K – коэффициент усреднения.

Соответственно:

$$W = 80 \cdot 0,5 \cdot 6,64 / 2 = 132,8 \text{ м}^3$$

Проектируем прямоугольный усреднитель, состоящий из двух отделений глубиной $H=1,5$ м. Площадь поверхности каждого отделения составит:

$$F = W / (nH) = 132,8 / (2 \cdot 1,5) = 44,27 \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

В плане размеры сооружений принимаем $L \times B = 5,53 \times 8$ м. По ширине каждое отделение делим на четыре коридора шириной $b = 2$ м. Для устранения стратификации в коридорах устанавливается по одному барботеру, так как $b/H = 2/1,5 = 1,33 < 2$.

2.5. Принципы расчета сооружений и оборудования для химической очистки производственных сточных вод

Пример 2.5.

Подобрать озонаторы для окисления производственных сточных вод при следующих исходных данных: расход сточных вод $Q = 2300$ м³/сут. Требуемая доза озона для окисления загрязнений $D_{\text{оз}} = 18$ г/м³.

Решение. Определяем необходимый расход озона для окисления загрязнений, содержащихся в сточных водах по формуле:

$$G_{\text{оз}} = D_{\text{оз}} \cdot Q / 1000. \quad (2.5)$$

Соответственно:

$$G_{\text{оз}} = 18 \cdot 2300 / 1000 = 41,4 \text{ кг/сут}$$

По табл. 2.3 принимаем озонаторы марки ОП-4, производительность которых $P_{\text{оз}} = 1$ кг/ч.

Определяем количество озонаторов по формуле:

$$n = K \cdot G_{\text{оз}} / (24 \cdot P_{\text{оз}}) \quad (2.6)$$

Здесь K – коэффициент резервирования 1,05 – 1,1. принимаем $K = 1,07$.

Соответственно

$$n = 1,07 \cdot 41,4 / (24 \cdot 1) \approx 2 \text{ шт.}$$

К установке принимаем два рабочих и один резервный озонатор марки ОП-4.

Техническая характеристика озонаторов трубчатого типа

Марка озонатора	Номинальная производительность по озону, кг/ч	Концентрация озона в озонозооной смеси, %	Средний расход воздух, м ³ /ч	Напряжение на электродах, кВ
ОП-4	1	16-17	40	10
ОП-6	2	14-16	80	10
ОП-121	1.6	14-16	120	16
011-315	3.8	12-14	300	18
ОП-510	6	12-14	450	18

2.6. Принципы расчета сооружений и оборудования для физико-химической очистки производственных сточных вод

Пример 2.6.

Рассчитать компрессионный флотационный уплотнитель при следующих исходных данных: расход сточных вод – 500 м³/сут, содержание твердой фазы извлекаемых загрязняющих веществ – 3500 мг/л, температура воды – 15°С, содержание примесей в очищенной воде не более 100 мг/л.

Решение.

1. Необходимый расход воздуха для флотационного разделения, м³/ч, определяют по общей формуле:

$$Q_{\Gamma} = q_{\Gamma} \cdot 10^{-3} \cdot (C_{en} - C_{ex}) \cdot Q_w \quad (2.7)$$

где q_{Γ} – удельный расход газа, дм³/кг; C_{en} , C_{ex} – содержание загрязняющих веществ в поступающей и выходящей из сооружения воде, кг/м³; Q_w – расчетный расход воды, м³/ч.

Удельный расход газа для условий задачи – 15 дм³/кг [по СП32.13330.2018].

Соответственно

$$Q_{\Gamma} = 0,015(3,5 - 0,1)500 / 24 = 1,062 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Необходимое содержание воздуха в водовоздушной смеси, $\text{м}^3/\text{м}^3$ для этих условий должно быть не менее:

$$C_{\text{возд}} = Q_{\Gamma} / (k \cdot Q_w), \quad (2.8)$$

где k – коэффициент использования воздуха = 0,6.

Соответственно:

$$C_{\text{возд}} = 1,062 / (0,6 \cdot 20,83) = 0,085 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Или $C_{\text{возд}} = 85 \text{ дм}^3/\text{м}^3$.

3. Согласно рекомендациям принимаем: давление воздуха – 0,4 МПа, температура воды по условиям задачи – 15°C.

По данным рис. 2.1 определяют растворимость воздуха $C_{\text{теор}}$ при заданных значениях давления и температуры:

$$C_{\text{теор}} = 82 \text{ дм}^3/\text{м}^3 \leq 85 \text{ дм}^3/\text{м}^3 \quad (2.9)$$

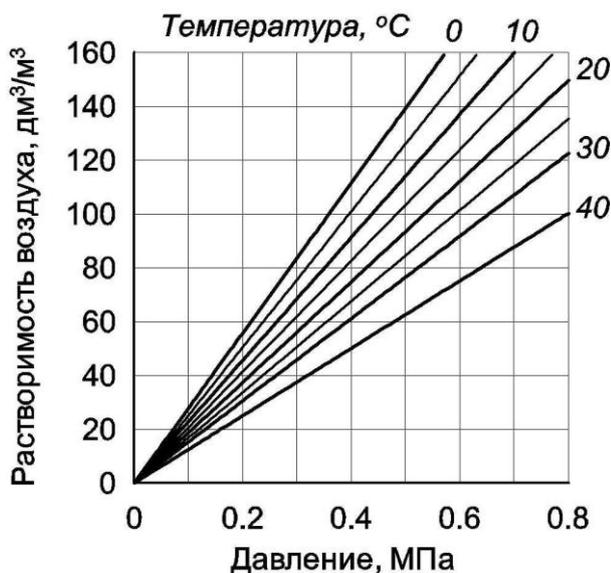


Рис. 2.1. Растворимость воздуха в воде в зависимости от давления и температуры.

Расчет показал, что для надежной работы флотатора целесообразно применить схему с рециркуляцией, обеспечивающей достаточное количество воздуха.

4. Расход циркулирующей воды, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяют по формуле:

$$Q_R = Q_{\Gamma} / (k \cdot C_{\text{теор}}), \quad (2.10)$$

Соответственно:

$$Q_R = 1,062 / (0,6 \cdot 0,082) \approx 21,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Поступающий расход воды во флотатор составит, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q_f = Q_w + Q_R, \quad (2.11)$$

Соответственно:

$$Q_f = 20,83 + 21,6 \approx 42,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

6. Принимая продолжительность флотации 0,3 ч, находим вместимость камеры флотации, м^3 :

$$W_f = Q_f \cdot \tau, \quad (2.12)$$

Соответственно:

$$W_f = 42,4 \cdot 0,3 = 12,72 \text{ м}^3$$

7. Принимаем две секции флотаторов с размерами в плане $L \times B = 1,5 \times 4,0$ м и глубиной 1,2 м.

Рекомендуется выполнить аналогичный расчет флотатора для давления 0,6 МПа, проанализировать полученные результаты.

2.7. Принципы расчета сооружений и оборудования для физико-химической очистки производственных сточных вод

Пример 2.7.

Рассчитать компрессионный флотационный уплотнитель при следующих исходных данных: расход сточных вод – $500 \text{ м}^3/\text{сут}$, содержание твердой фазы извлекаемых загрязняющих веществ – 3500 мг/л , температура воды – 15°C , содержание примесей в очищенной воде не более 100 мг/л , давление принять $0,6 \text{ МПа}$. Проанализировать полученные результаты.

Решение.

1. Необходимый расход воздуха для флотационного разделения, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяют по общей формуле:

$$Q_{\Gamma} = q_{\Gamma} \cdot 10^{-3} \cdot (C_{en} - C_{ex}) \cdot Q_w \quad (2.13)$$

где q_{Γ} – удельный расход газа, $\text{дм}^3/\text{кг}$; C_{en} , C_{ex} – содержание загрязняющих веществ в поступающей и выходящей из сооружения воде, $\text{кг}/\text{м}^3$; Q_w – расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Удельный расход газа для условий задачи – $15 \text{ дм}^3/\text{кг}$ [по СП 32.13330.2018].

Соответственно

$$Q_{\Gamma} = 0,015(3,5 - 0,1)500 / 24 = 1,062 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Необходимое содержание воздуха в водо-воздушной смеси, $\text{м}^3/\text{м}^3$ для этих условий должно быть не менее:

$$C_{\text{возд}} = Q_{\Gamma} / (k \cdot Q_w), \quad (2.14)$$

где k – коэффициент использования воздуха = $0,6$.

Соответственно:

$$C_{\text{возд}} = 1,062 / (0,6 \cdot 20,83) = 0,085 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

или $C_{\text{возд}} = 85 \text{ дм}^3/\text{м}^3$.

3. Согласно п.2.6, принимаем: давление воздуха – $0,6 \text{ МПа}$, температура воды по условиям задачи – 15°C .

По данным рис. 2.1 определяют растворимость воздуха $C_{\text{теор}}$ при заданных значениях давления и температуры:

$$C_{\text{теор}} = 120 \text{ дм}^3/\text{м}^3 > 85 \text{ дм}^3/\text{м}^3 \quad (2.15)$$

Расчет показал, что для надежной работы флотатора целесообразно применить прямоточную схему, обеспечивающую достаточное количество воздуха.

4. Принимая продолжительность флотации $0,3 \text{ ч}$, находим вместимость камеры флотации, м^3 :

$$W_f = Q_f \cdot \tau, \quad (2.16)$$

Соответственно:

$$W_f = 24 \cdot 0,3 = 7,2 \text{ м}^3$$

5. Принимаем две секции флотаторов с размерами в плане $V \times L = 1,5 \times 2,0 \text{ м}$ и глубиной $1,2 \text{ м}$.

Заключение: Получили, что по сравнению с результатом решения задачи 2.6., увеличение давления до 0,6 МПа, позволяет сократить объем флотаторов в 1,7 раза.

2.8. Системы биологической очистки сточных вод промышленных предприятий

Пример 2.8.

Рассчитать анаэробный биореактор с объемной загрузкой, применяемый для очистки сточных вод мясокомбината, по следующим исходным данным: расход сточных вод – 100 м³/сут; ХПК исходных сточных вод – 2000 мгО/л; содержание взвешенных веществ в исходных сточных водах после механической очистки – 200 мг/л; ХПК в очищенных сточных водах – 400 мг/л; температура сточных вод – 15⁰ С.

Решение. Расчёт анаэробного биореактора с объемной загрузкой сводится к определению геометрических размеров сооружения и выходу биогаза.

1. Объем активной псевдооживленной зоны, м³, определяют по выражению:

$$W_a = Q (X_{en} - X_{ex}) / (1000 \cdot OM) \quad (2,17)$$

где W_a – объем зоны псевдооживленного слоя, м³; Q – расход сточных вод, м³/сут; X_{en} , X_{ex} – лимитирующий показатель поступающей и очищенной воды, соответственно, г/м³; OM – окислительная мощность псевдооживленного слоя составляет 30-60 кг ХПК/(м³·сут), принимаем по данным исследований – 40 кг ХПК/(м³·сут).

Соответственно

$$W_a = 100 (2000 - 400) / (1000 \cdot 40) = 4 \text{ м}^3$$

2. Поперечное сечение активной зоны определяют по восходящей скорости потока воды:

$$F_a = Q / (24 \cdot V), \quad (2,18)$$

где V – восходящая скорость, (5-10 м/ч), принимаем равной 7 м/ч.

Соответственно:

$$F_a = 100 / (24 \cdot 7) = 0,6 \text{ м}^2.$$

3. Гидравлическую высоту реактора находят по выражению:

$$H_a = W_a / F_a \quad (2,19)$$

Соответственно:

$$H_a = 4 / 0,6 \approx 6,7 \text{ м}$$

С учетом размещения устройств для отведения очищенной воды и сбора биогаза, принимаем высоту реактора равную 8 м.

4. Выход газа, м³/сут, определяют по выражению:

$$Q_g = Q(X_{en} - X_{ex}) \cdot q_g / 1000, \quad (2,20)$$

где q_g – удельный выход газа, (0,35 – 0,45 м³/кг снятой ХПК), принимаем равным 0,4 м³/кг.

Соответственно, выход газа будет равен:

$$Q_g = 100(2000 - 400) \cdot 0,4 / 1000 = 64 \text{ м}^3/\text{сут}$$