



Федеральное агентство морского и речного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА  
имени адмирала С. О. МАКАРОВА**

**Институт МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ФАКУЛЬТЕТ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ**

*Кафедра безопасности жизнедеятельности*

# **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Учебно-методическое пособие

Издание 2-е, испр.

Санкт-Петербург

Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

2018

УДК 504.42.06:627.7(26)  
ББК 20.18  
Э40

Э40 Экологическая безопасность водных объектов: учеб.-метод. пособие.  
Изд. 2-е испр. / С.В. Латухов, А. М. Бояринов, В.И. Решняк,  
А.В. Поляков, Е.А. Даргис. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм.  
С. О. Макарова, 2018. — 88 с.

Учебно-методическое пособие содержит лабораторные работы по основным проблемам экологической безопасности на водном транспорте: защите моря от загрязнения судами и предприятиями, защите атмосферного воздуха, экологическому контролю, технологии и технике очистки воды. Выполнение этих работ позволяет приобрести первоначальный опыт в решении задач по обеспечению экологической безопасности на водном транспорте. Приведены примеры расчета и оформления работ. В приложениях даны индивидуальные варианты заданий по каждой работе.

Предназначено для курсантов (студентов) специальностей 23.03.01, 23.04.01, 25.05.03, 26.04.01, 26.05.05 при изучении ими курса экологии.

Рекомендовано к изданию на заседании кафедры безопасности жизнедеятельности. Выписка из протокола № 2 от 16 октября 2018 г.

*Рецензенты:*

Шаронов А. Ю., канд. геогр. наук, доцент (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»);

Химич П. Г., канд. техн. наук, доцент (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»).

© ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2018

© Латухов С.В., Бояринов А. М., Решняк В.И., Поляков А.В., Даргис Е. А., 2018

## **Введение**

В настоящее время невозможно стать хорошим специалистом без знания проблем экологической безопасности объектов водного транспорта и умения их решать. Необходимость изучения вопросов охраны окружающей среды на водном транспорте вызвана практической деятельностью в этой области. Пособие по экологической безопасности водных объектов максимально приближает будущих специалистов к решению тех задач, с которыми они столкнутся в своей профессиональной деятельности.

Пособие состоит из четырех разделов, которые отражают такие основные направления охраны окружающей среды на водном транспорте, как защита атмосферного воздуха, предотвращение загрязнения водоемов, экологический контроль, технология и техника очистки воды. В каждый из них включено несколько лабораторных работ, которые содержат рассмотрение теоретических вопросов, непосредственно относящихся к их теме, а также знакомящих с необходимыми расчетными зависимостями. В лабораторных работах приведен пример расчета, что может оказать существенную помощь при их выполнении.

Пособие предназначено для аудиторной и самостоятельной работы при изучении курсантами (студентами) всех специальностей курса экологии.

# Раздел 1. ЭКОЛОГИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

## Лабораторная работа № 1

### Исследование отрицательного влияния предприятия на природные водные объекты

**Целью работы** является изучение методики расчета сбросов загрязняющих веществ со сточными водами предприятия, а также исследование отрицательного влияния предприятия на природные водные объекты.

#### Общие методические рекомендации

Отрицательное влияние предприятия на природные водные объекты характеризуется величиной сбросов загрязняющих веществ, поступающих в водоем со сточными водами предприятия. Сброс характеризует количество загрязняющих веществ, которое поступает в водоем со сточными водами предприятия в единицу времени. Различают годовой (валовой) сброс, т/год, и секундный (максимальный), г/с.

В общем случае на предприятиях образуются три категории сточных вод: хозяйственно-бытовые, технологические (производственные) и ливневые (поверхностный сток). Каждой категории соответствует свой комплекс загрязняющих веществ, определяемый особенностями использования воды, расходуемой на хозяйственно-бытовые и технологические нужды.

В целом значение фактического сброса загрязняющих веществ определяется количеством  $L_{ст}$  образующихся сточных вод и концентрацией  $C_i$  в них загрязняющих веществ:

$$M_i = L_{ст} C_i. \quad (1)$$

Если сточная вода перед сбросом в водоем очищается, то величина предельно-допустимого сброса рассчитывается по формуле

$$M_i = \alpha L_{ст} C_i, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — параметр, учитывающий очистку сточной воды.

Концентрация  $C_i$  определяется путем измерений, осуществляемых на каждом предприятии.

Количество хозяйственно-бытовых сточных вод определяется в зависимости от числа работающих  $N$  и норм расхода  $B$  воды на одного человека на различные нужды:

$$L_{\text{х.-б.ст.}} = N \cdot B. \quad (3)$$

Количество образующейся технологической воды зависит от особенности технологических процессов и оборудования. Как правило, эта величина указывается среди прочих технических характеристик оборудования.

Ливневый (поверхностный) сток зависит от природно-климатических условий, а также от вида и площади поверхности, на которую выпадают осадки (дороги, газоны, здания):

$$L_{\text{л}} = q \sum (\varphi_i F_i), \quad (4)$$

где  $q$  — условный расход дождевого стока, л/с-га;  $\varphi_i$  — коэффициент стока;  $F_i$  — площадь  $i$ -го вида поверхности стока, га (здания, дороги, газоны).

Коэффициент стока характеризует ту долю осадков, которая образует собственно сток, стекает с какой-то поверхности, а не впитывается ею. Значение коэффициента стока составляет для зданий и асфальтированных дорог — 0,9; для дорог со щебеночным покрытием — 0,6–0,45; для газонов — 0,1–0,2.

Условный расход  $q$  дождевого стока определяется по формуле

$$Q = 0,1i, \quad (5)$$

где  $i$  — среднесуточная норма осадков, мм/сут.

При расчете сброса необходимо учитывать, что в настоящей работе вычисляются значения максимальных сбросов, измеряемых в г/с. Поэтому единицы измерения нужно приводить в соответствии с требуемым результатом.

Уровень отрицательного влияния предприятия на природный водоем при сбросе сточной воды предприятия может быть оценен с помощью коэффициентов экологической опасности  $ED1$  и  $ED2$ :

$$ED1 = \frac{M_i}{\text{ПДС}_i};$$

$$ED2 = \frac{M_i}{K \cdot \text{ПДС}_i},$$
(6)

где  $\text{ПДС}_i$  — значение предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ (формула (1));  $K$  — класс опасности вещества (формула (2)).

Сравнение уровней загрязнения водоема различными веществами и категориями сточных вод с помощью коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$  позволяет определить приоритетные направления в природоохранной деятельности предприятия, в том числе выбрать технологию очистки сточной воды.

### **Порядок выполнения работы**

1. Познакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (табл. 1 прил. 1).
3. Выполнить расчет фактических значений секундных (максимальных) сбросов, пользуясь ранее приведенными рекомендациями. Расчет выполнить для всех категорий сточной воды и всех содержащихся в них веществ. При наличии очистки какой-либо категории сточной воды расчет выполняется с учетом очистки.
4. Пользуясь значениями ПДС и данными о классах опасности загрязняющих веществ (табл. 2 и 3 прил. 1 соответственно), рассчитать значения коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$ , вычисляемые только для тех веществ и категорий сточной воды, которые указаны в каждом варианте задания.
5. По результатам расчета значений коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$  построить диаграммы.
6. Все расчеты и оформление работы осуществлять в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы.

### **Пример расчета и оформления работы**

1. *Расчет значений фактических сбросов  $M_i$  при отведении хозяйственно-бытовой сточной воды*

$$L_{\text{х.-б.ст.}} = N \cdot V = 200 \text{ чел.} \cdot 2,5 \text{ л/чел.} \cdot \text{сут} = 500 \text{ л/сут.}$$

1.1. Сброс взвешенных веществ

$$M_{\text{ВВ}} = L_{\text{х-б.ст.}} \cdot C_{\text{ВВ}} = 500 \text{ л/сут} \cdot 300 \text{ мг/л} = 150000 \text{ мг/сут} = \\ = \frac{150000 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3600} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,4$ )  $M_{\text{ВВ}} = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}$ .

### 1.2. Сброс нитратов

$$M_{\text{нитрат}} = 500 \text{ л/сут} \cdot 0,15 \text{ мг/л} = 750 \text{ мг/сут} = \frac{750 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3600} = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,4$ )  $M_{\text{нитрат}} = 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ г/с}$ .

### 1.3. Сброс СПАВ

$$M_{\text{СПАВ}} = 500 \text{ л/ч} \cdot 5 \text{ мг/л} = 5000 \text{ мг/ч} = \frac{5000 \cdot 10^{-3}}{3600} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,8$ )  $M_{\text{СПАВ}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}$ .

2. Расчет значений фактических сбросов  $M_i$  при отведении технологической сточной воды  $L_T = 1000 \text{ л/ч}$ .

#### 2.1. Сброс взвешенных веществ

$$M_{\text{ВВ}} = 1000 \text{ л/ч} \cdot 500 \text{ мг/л} = 500000 \text{ мг/ч} = \frac{500000 \cdot 10^{-3}}{3600} = 0,14 \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,8$ )  $M_{\text{ВВ}} = 0,14 \cdot 0,8 = 0,11 \text{ г/с}$ .

#### 2.2. Сброс железа

$$M_{\text{Fe}} = 1000 \text{ л/ч} \cdot 50 \text{ мг/л} = 50000 \text{ мг/ч} = \frac{50000 \cdot 10^{-3}}{3600} = 0,01 \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,8$ )  $M_{\text{Fe}} = 0,01 \cdot 0,8 = 0,008 \approx 0,01 \text{ г/с}$ .

#### 2.3. Сброс нефтепродуктов

$$M_{\text{н}} = 1000 \text{ л/ч} \cdot 125 \text{ мг/л} = 125000 \text{ мг/ч} = \frac{125000 \cdot 10^{-3}}{3600} = 0,03 \text{ г/с};$$

с учетом очистки ( $\alpha = 0,8$ )  $M_{\text{н}} = 0,03 \cdot 0,8 \approx 0,02 \text{ г/с}$ .

3. Расчет значений фактических сбросов  $M_i$  при отведении ливневого стока

$$L_{\text{л}} = q \sum \varphi_i F_i = 0,5 \text{ л/с} \cdot \text{га} (0,9 \cdot 2,1 \text{ га} + 0,6 \cdot 0,11 \text{ га} + 0,1 \cdot 4,6 \text{ га}) = \\ = 0,5 \cdot 2,41 = 1,21 \text{ л/с, где } q = 0,1 \text{ мм/сут} = 0,1 \cdot 5,0 \text{ мм/сут} = 0,5 \text{ л/с} \cdot \text{га};$$

$$\varphi_1 = 0,9, \varphi_2 = 0,6, \varphi_3 = 0,1;$$

$$F_1 = 2,1 \text{ га}, F_2 = 0,11 \text{ га}, F_3 = 4,6 \text{ га}.$$

### 3.1. Сброс взвешенных веществ

$$M_{\text{ВВ}} = 1,21 \text{ л/с} \cdot 450 \text{ мг/л} = 542 \text{ мг/с} = 0,5 \text{ г/с};$$

$$\text{с учетом очистки } (\alpha = 0,8) M_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ г/с}.$$

### 3.2. Сброс железа

$$M_{\text{Fe}} = 1,21 \text{ л/с} \cdot 0,4 \text{ мг/л} = 0,48 \text{ мг/с} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

$$\text{с учетом очистки } (\alpha = 0,8) M_{\text{Fe}} = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 0,39 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}.$$

### 3.3. Сброс нефтепродуктов

$$M_{\text{н}} = 1,21 \text{ л/с} \cdot 5,0 \text{ мг/л} = 6,1 \text{ мг/с} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

$$\text{с учетом очистки } (\alpha = 0,8) M_{\text{н}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}.$$

## 4. Расчет значений коэффициента EDI осуществляется для сброса

железа в технологическом и ливневом стоке по формуле  $EDI = \frac{M_i}{\text{ПДС}_i}$ .

Согласно данным, приведенным в табл. 1, сброс железа в технологическом стоке составляет  $M_{\text{Fe}} = 0,01 \text{ г/с}$ , сброс железа в ливневом стоке —  $M_{\text{Fe}} = 0,48 \text{ г/с}$ , значение ПДС для железа в технологическом стоке —  $2,4 \text{ г/с}$ , в ливневом —  $0,6 \text{ г/с}$ :

Значения коэффициента EDI:

$$\text{— для технологического стока — } EDI = \frac{0,01}{2,4} = 4,2 \cdot 10^{-3};$$

$$\text{— для ливневого стока — } EDI = \frac{0,48}{0,6} = 0,8.$$

Таблица 1

Значения сброса	Технологический сток	Ливневый сток
Железо, г/с	0,01	0,48
ПДС железа, г/с	2,4	0,6
EDI	$4,2 \cdot 10^{-3}$	0,8

*Вывод.* Сброс железа в технологическом и ливневом стоке не представляет экологической опасности ( $EDI \leq 1$  для этих категорий сточной воды) — рис. 1.

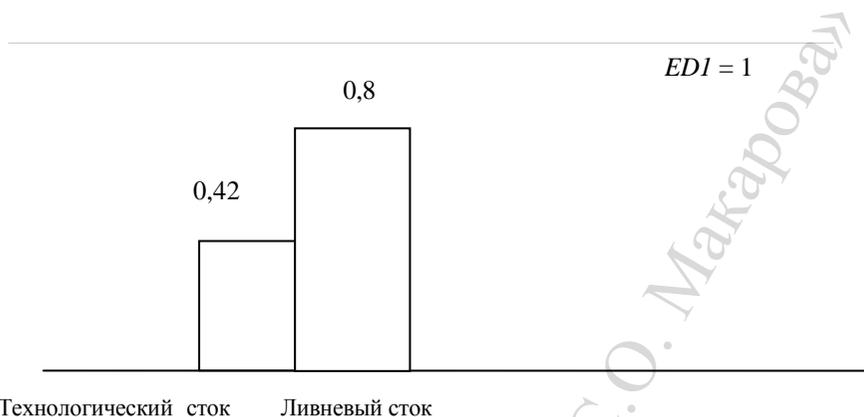


Рис. 1. Диаграмма EDI

5. Расчет значений коэффициента ED2 осуществляется для веществ, сбрасываемых с технологическим стоком, по формуле

$$ED\ 2 = \frac{M_i}{K \cdot ПДС_i}$$

(расчет выполнен в форме табл. 2).

Таблица 2

Расчет значений коэффициента ED2

Значения сброса	Взвешенные вещества	Железо	Нефтепродукты
Значения сброса, г/с	0,11	0,01	0,02
ПДС, г/с	0,06	0,024	0,01
Класс опасности	4	3	1
ED2	0,46	0,14	2,0

**Вывод.** Наибольшую экологическую опасность в технологическом стоке представляет сброс нефтепродуктов (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма  $ED2$  для технологического стока

## Лабораторная работа № 2

### Исследование загрязнения водоемов при эксплуатации судовой энергетической установки

**Целью работы** является исследование судовой энергетической установки как источника загрязнения водоемов сточной и нефтесодержащей подсланевой водой (НПВ).

#### Общие методические рекомендации

Экологическое состояние судов практически полностью определяется влиянием судовой энергетической установки (СЭУ) на окружающую природную среду. Одними из основных аспектов отрицательного влияния СЭУ является загрязнение водоемов судовой сточной и нефтесодержащей подсланевой водой.

При эксплуатации судов и их СЭУ нормирование загрязнения водоемов судовыми сточными водами осуществляется при установке предельного значения параметров, характеризующих указанные категории судовой сточной воды.

Подсланевая нефтесодержащая и балластная вода нормируются по концентрации нефтепродуктов, хозяйственно-бытовая сточная вода — по концентрации взвешенных веществ, БПК<sub>20</sub>,  $col_i$ -индексу и концентрации хлора.

Данные о качестве хозяйственно-бытовой сточной воды и подсланевой нефтесодержащей воды, а также о нормах их очистки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Качество хозяйственно-бытовой сточной воды,  
подсланевой нефтесодержащей воды и нормы их очистки

Категория судовой сточной воды и наименование показателя	Значение показателя	
	в исходной воде	в очищенной воде (норма очистки)
<b>Хозяйственно-бытовая сточная вода</b>		
БПК <sub>20</sub> , мг, O <sub>2</sub> , л	300÷400	40
концентрация взвешенных веществ, мг/л	400÷450	40
col <sub>i</sub> — индекс, шт.,	10 <sup>9</sup> ÷10 <sup>12</sup>	1000
концентрация хлора, мг/л	—	1÷5
<b>Подсланевая нефтесодержащая вода</b>		
концентрация нефтепродуктов, мг/л	800–1000	10 (для судов внутреннего плавания) 15 (для судов плавания река–море)

Для более глубокого понимания проблемы необходимо уметь рассчитывать величину сброса загрязняющих веществ для каждой категории загрязненной воды. Сброс  $i$ -го загрязняющего вещества определяется по формуле

$$M_i = L \cdot C_i, \quad (1)$$

где  $M_i$  — сброс  $i$ -го вещества, г/с;  $L$  — количество воды, поступающей в водоем с судна в единицу времени, м<sup>3</sup>/ч;  $C_i$  — концентрация  $i$ -го вещества в этой воде, мг/л (г/м<sup>3</sup>).

При расчете величины сброса необходимо учесть, что сброс определяется в г/с.

Количество хозяйственно-бытовой сточной воды  $V_{х-б}$ , м<sup>3</sup>, образующейся на судне, определяется нормами водопотребления и численностью экипажа и пассажиров:

$$V_{х-б} = 10^{-3} N n, \quad (2)$$

где  $N$  — норма водопотребления, л/чел·сут;  $n$  — количество людей на судне, чел.

Нормы водопотребления приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Нормы водопотребления на судах

Категория водопотребления	Норма водопотребления на одного человека в сутки для судов разных категорий, л/чел. сут		
	1	2	3
Питьевая	40	15	10
Мытьевая	30	20	–

Примечание. 1-, 2- и 3-я — категории судов по их автономности плавания.

Количество воды  $L$ , сбрасываемой в водоем, определяется по формуле

$$L = V / t, \quad (3)$$

где  $t$  — время работы установки для очистки воды или время, в течение которого осуществляется сброс воды за борт.

Время работы установки для очистки воды рассчитывается по формуле

$$t = V / Q, \quad (4)$$

где  $Q$  — производительность установок для очистки воды, м<sup>3</sup>/ч.

Количество  $V_{\text{НПВ}}$  нефтесодержащей подсланевой воды, которое накапливается на судне, зависит от мощности СЭУ, грузоподъемности (или пассажироместности) судна и его типа. Данные о средне-суточной норме накопления подсланевой воды приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Нормы накопления нефтесодержащей подсланевой воды (НПВ)

Мощность СЭУ, л.с., или тип судна	Накопление НПВ, $V_{\text{НПВ}}$ , м <sup>3</sup> /сут
1	2
до 150	0,1
150 ÷ 500	0,2
500 ÷ 1000	0,3
Свыше 1000	0,4
Суда на подводных крыльях	0,1

Значение концентрации  $C_i$  принимается в соответствии с данными, которые приведены в табл. 1, в зависимости от условий водопотребления.

Нефтесодержащая подсланевая вода может быть сброшена за борт после очистки, и концентрация  $C_{\text{нп}}$  нефтепродуктов в сбросе будет определяться местом сброса: в море или во внутренних водоемах.

Хозяйственно-бытовая сточная вода может быть сброшена без ее очистки или после очистки. Соответственно концентрация загрязняющих веществ  $C_i$  будет определяться их содержанием в исходной воде или после ее очистки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Познакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (таблица прил. 2).
3. Выполнить расчет сброса тех загрязняющих веществ, по которым нормируется каждая категория судовой сточной воды.

Последовательность расчета:

- рассчитать объем накопления подсланевой  $V_{\text{НПВ}}$  и хозяйственно-бытовой воды  $V_{\text{х.-б.}}$ ;
  - рассчитать время работы установки для очистки подсланевой  $t_{\text{НПВ}}$  и хозяйственно-бытовой воды  $t_{\text{х.-б.}}$ ;
  - рассчитать  $L_{\text{НПВ}}$  и  $L_{\text{х.-б.}}$ ;
  - определить значения концентраций загрязняющих веществ в сбрасываемой за борт воде, учитывая исходные данные и данные табл. 1;
  - рассчитать значения сбросов  $M_i$  загрязняющих веществ со сточной и нефтесодержащей подсланевой водой.
4. Все расчеты и оформление работы осуществляются в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее.

### **Пример расчета и оформления работы**

**Исходные данные:** категория судна по автономности плавания — 2; тип судна — транспортное; численность команды и пассажиров, чел. — 11; мощность СЭУ — 1200 л.с.; производительность установки для очистки хозяйственно-бытовой сточной воды —  $2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; производительность установки для очистки подсланевой воды —  $0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; условия сброса хозяйственно-бытовой сточной воды — после очистки; условия сброса НПВ в море.

#### **1. Расчет сброса загрязняющих веществ**

1.1. Расчет объемов накопления подсланевой  $V_{\text{НПВ}}$  и хозяйственно-бытовой воды  $V_{\text{х.-б.}}$  выполняется по формуле  $V_{\text{НПВ}} = 0,4 \text{ м}^3$  (по данным табл. 3):

$V_{\text{х.-б.}} = 10^{-3} \cdot N \cdot n = 10^{-3} \cdot (15+20) \cdot 11 = 0,385 \text{ м}^3$  (нормы водопотребления из табл. 2).

1.2. Расчет времени работы установки для очистки подсланевой  $t_{\text{НПВ}}$  и хозяйственно-бытовой  $t_{\text{х.-б.}}$  воды:

$$t_{\text{НПВ}} = V_{\text{НПВ}} / Q_{\text{НПВ}} = 0,4 / 0,2 = 2 \text{ ч};$$

$$t_{\text{х.-б.}} = V_{\text{х.-б.}} / Q_{\text{х.-б.}} = 0,385 / 2,0 = 0,1925 \text{ ч.}$$

1.3. Расчет  $L_{\text{НПВ}}$  и  $L_{\text{х.-б.}}$ :

$$L_{\text{НПВ}} = V_{\text{НПВ}} / t_{\text{НПВ}} = 0,4 / 2 = 0,2 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$L_{\text{х.-б.}} = V_{\text{х.-б.}} / t_{\text{х.-б.}} = 0,385 / 0,1925 = 2,0 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

1.4. Расчет концентрации загрязняющих веществ в сбрасываемой за борт воде, учитывая исходные данные и данные табл. 5,

$$C_{\text{нп}} = 15 \text{ мг/л (г/м}^3\text{)}; C_{\text{взв.в.}} = 40 \text{ мг/л}; C_{\text{соли-нп}} = 1000 \text{ шт.}; C_{\text{хлор}} = 1\text{--}5 \text{ мг/л.}$$

1.5. Расчет значений сбросов  $M_i$  загрязняющих веществ со сточной и нефтесодержащей подсланевой водой:

– сброс нефтепродуктов с подсланевой водой

$$M_{\text{нп}} = L_{\text{НПВ}} \cdot C_{\text{нп}} = 0,2 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot 15 \text{ г/м}^3 = 3,0 \text{ г/ч} = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/с};$$

– сброс взвешенных веществ с хоз.-быт. сточной водой

$$M_{\text{взв.в.}} = L_{\text{х.-б.}} \cdot C_{\text{взв.в.}} = 2 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot 40 \text{ г/м}^3 = 80 \text{ г/ч} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ г/с};$$

– сброс по соли-индексу

$$M_{\text{соли}} = L_{\text{х.-б.}} \cdot C_{\text{соли}} = 2 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot 1000 \text{ г/м}^3 = 2000 \text{ г/ч} = 0,55 \text{ г/с};$$

– сброс хлора с хоз.-быт. сточной водой

$$M_{\text{хлор}} = L_{\text{х.-б.}} \cdot C_{\text{хлор}} = 2 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot 2,5 \text{ г/м}^3 = 5,0 \text{ г/ч} = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}.$$

Примечания: 1. Расчет сброса для БПК не выполняется, так как БПК не является концентрацией загрязняющего вещества в общепринятом смысле.

2. Сброс для соли-индекса может быть выполнен, так как с некоторыми допущениями можно считать, что соли-индекс показывает количество бактерий группы соли, которое содержится в одном литре воды.

## Раздел 2. ЭКОЛОГИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

### Лабораторная работа № 3

#### Исследование загрязнения атмосферы источниками выбросов предприятия

**Целью работы** является освоение методов контроля уровня загрязнения предприятием атмосферы и расчета выбросов загрязняющих веществ источниками выбросов предприятия.

#### Общие методические рекомендации

Уровень загрязнения атмосферного воздуха источниками выбросов предприятия определяется величиной выбросов различных веществ, содержащихся в газовоздушной смеси. Выбросом является количество  $i$ -го вещества, поступающего в атмосферу в единицу времени. Различают максимальный, г/с, и валовый, т/год, выбросы. Величина выброса зависит от вида технологического процесса, интенсивности удельного выделения загрязняющих веществ и времени работы технологического оборудования, являющегося источником выделения этих веществ.

Расчетные зависимости для определения максимальных выбросов загрязняющих веществ при работе различных типов технологического оборудования и осуществлении производственных процессов приведены далее.

#### 1. Расчет выбросов при сжигании топлива в котлах

– Расчет выбросов твердых частиц

$$M_{\text{ТВ}} = BA^r f(1 - \eta), \quad (1)$$

где  $B$  — расход топлива, г/с;  $A^r$  — зольность топлива, % (табл. 1);  $\eta$  — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях;  $f$  — коэффициент топки, принимаемый равным 0,0023 — для углей и 0,01 — для жидкого топлива.

– Расчет выбросов окислов серы

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BS^r(1 - \eta')(1 - \eta''), \quad (2)$$

где  $S^r$  — содержание серы в топливе, % (см. табл. 1);  $\eta'$  — доля окислов серы, принимаемая равной 0,2 для углей и 0,02 — для жидкого топлива;  $\eta''$  — коэффициент, учитывающий очистку от окислов серы.

Таблица 1

Характеристика углей и жидких видов топлива

Вид топлива (или месторождение)	$A^r$ , %	$S^r$ , %	$C_{\text{CO}}$ , г/кг
Угли Карагандинского бассейна	27,6	0,8	5,30
Угли Кузнецкого бассейна	13,2	0,4	5,40
Угли Канско-Ачинского бассейна	6,7	0,2	3,70
Мазут	0,1	1,9	9,40
Дизельное топливо	0,025	0,3	6,80
Моторное топливо	0,05	0,4	9,80

– Расчет выбросов окиси углерода

$$M_{\text{CO}} = 0,001C_{\text{CO}}B, \quad (3)$$

где  $C_{\text{CO}}$  — выход окиси углерода при сжигании топлива в граммах на 1кг топлива (см. табл. 1).

– Расчет выбросов окислов азота

$$M_{\text{NO}_2} = 0,025V(1 - \beta), \quad (4)$$

где  $V$  — объем газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий очистку выбросов от азота.

## 2. Расчет выбросов загрязняющих веществ от горна кузницы

– Расчет выбросов твердых частиц

$$M_{\text{ТВ}} = 0,011BA^r, \quad (5)$$

где  $B$  — расход угля в горне, г/с;  $A^r$  — зольность угля, % (см. табл. 1).

– Расчет выбросов окислов серы

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 BS^r (1 - \eta')(1 - \eta''), \quad (6)$$

где  $S^r$  — содержание серы, % (см. табл. 1);  $\eta'$  — доля окислов серы, %.

– Расчет выбросов окиси углерода

$$M_{\text{CO}} = 0,001 BC_{\text{CO}}. \quad (7)$$

– Расчет выбросов окислов азота

$$M_{\text{NO}_2} = 0,025 V. \quad (8)$$

### 3. Расчет выбросов от сварочных аппаратов

– Расчет выбросов твердых частиц (сварочного аэрозоля):

$$M_{\text{тв}} = \frac{1}{3600} q_{\text{тв}} B, \quad (9)$$

где  $q_{\text{тв}}$  — удельные выделения твердых частиц при сжигании электродов, г/кг (табл. 2);  $B$  — расход электродов, кг/ч.

– Расчет выбросов окислов марганца

$$M_{\text{Mn}} = \frac{1}{3600} q_{\text{Mn}} B, \quad (10)$$

где  $q_{\text{Mn}}$  — удельные выделения марганца, г/кг (см. табл. 2).

### 4. Расчет выбросов от газорезки

– Расчет выбросов твердых частиц

$$M_{\text{тв}} = \frac{q_{\text{тв}}}{3600}, \quad (11)$$

где  $q_{\text{тв}}$  — удельные выделения твердых частиц при газорезке, г/ч (табл. 3).

Таблица 2

Удельные выделения  $q$ , г/кг, вредных веществ при сварке

Марка электрода	Сварочный аэрозоль	Окислы марганца	Окислы углерода	Окислы азота
УОНИ 13/45	14,0	0,51	3,1	3,2
УОНИ 13/55	18,6	0,97	2,3	3,7
ОЗС-3	15,3	0,42	5,8	4,1
ОЗС-4	10,9	1,27	7,4	5,6

Таблица 3

Удельные выделения  $q$ , г/ч, вредных веществ при газорезке

Металл	Толщина резки, мм	Сварочный аэрозоль	Оксиды марганца	Оксиды углерода	Оксиды азота
Сталь углеродистая	5	74,0	2,31	4,95	3,90
То же	10	131,0	3,79	6,34	6,41

– Расчет выбросов окислов марганца

$$M_{\text{Mn}} = \frac{q_{\text{Mn}}}{3600}, \quad (12)$$

где  $q_{\text{Mn}}$  — удельные выделения окислов марганца, г/ч (см. табл. 3).

– Расчет выбросов окислов углерода

$$M_{\text{CO}} = \frac{q_{\text{CO}}}{3600}, \quad (13)$$

где  $q_{\text{CO}}$  — удельные выделения окислов углерода, г/ч (см. табл. 3).

– Расчет выбросов окислов азота

$$M_{\text{NO}_2} = \frac{q_{\text{NO}_2}}{3600}, \quad (14)$$

где  $q_{\text{NO}_2}$  — удельные выделения окислов азота, г/ч (см. табл. 3).

## 5. Расчет выбросов вредных веществ на малом участке

– Расчет выбросов твердых частиц (покрасочного аэрозоля)

$$M_{\text{ТВ}} = \frac{1000}{3600} Va, \quad (15)$$

где  $B$  — расход краски, кг/ч;  $a$  — доля краски, потерянной в виде аэрозоля (принимается равной 0,3 — для пневматического распыления и 0,025 — для безвоздушного распыления).

– Расчет выбросов органического растворителя

$$M_p = \frac{1000}{3600} Bm, \quad (16)$$

где  $m$  — содержание растворителя в краске, принимаемое равным 0,25.

6. Расчет выбросов вредных веществ в деревообрабатывающем цехе

– Расчет выбросов твердых частиц

$$M_{тв} = \frac{1000}{3600} q_{ср}, \quad (17)$$

где  $q_{ср}$  — удельные выделения твердых частиц от деревообрабатывающих станков, кг/ч (табл. 4).

Таблица 4

Удельное выделение вредных веществ при механической обработке древесины

Тип станка	Содержание пыли, кг/ч
Круглопильные:	
Ц 6-2	10,7
ЦПА-40	15,3
Строгальные:	
СФ-3	8,2
СФ-6	18,2

Уровень экологической опасности различных источников выбросов и веществ определяется с помощью следующих коэффициентов экологической опасности:

$$ED1 = \frac{M_i}{ПДВ_i}; \quad (18)$$

$$ED2 = \frac{M_i}{K \cdot ПДВ_i},$$

где  $M_i$  и ПДВ<sub>*i*</sub> — соответственно, значения фактического  $M_i$  и предельно-допустимого ПДВ<sub>*i*</sub> выбросов *i*-го вещества;  $K$  — класс опасности *i*-го вещества.

Коэффициент  $ED1$  позволяет сравнить уровень экологической опасности загрязнения атмосферы одним веществом, которое поступает от различных источников выбросов.

Коэффициент  $ED2$  позволяет сравнивать между собой опасность выброса различных веществ как для одного источника, выбрасывающего различные вещества, так и для разных.

### Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (табл. 1 и 2 прил. 3).
3. Пользуясь вышеприведенными зависимостями, выполнить расчет максимальных выбросов загрязняющих веществ от тех источников выбросов предприятия, которые указаны в индивидуальном задании.
4. Пользуясь данными о ПДВ и классе опасности веществ, которые указаны в табл. 3 прил. 3, рассчитать значения коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$ .
5. По результатам расчета коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$  построить диаграммы и составить заключение.
6. Все расчеты и оформление работы осуществлять в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее.

### Пример расчета и оформления работы

**Исходные данные:** Значения коэффициента  $ED1$  рассчитать для твердых частиц, которые выбрасываются источниками 1 — 3. Значения коэффициента  $ED2$  рассчитать для веществ, выбрасываемых источником 1.

Источник 1 — котельная, работающая на жидком топливе — мазуте,  $B = 1,5$  кг/с;  $\eta = 0,2$ ;  $\eta' = 0$ ;  $\eta'' = 0,1$ ;  $\beta = 0$ ;  $V = 1,15$  м<sup>3</sup>/с.

Источник 2 — сварочные аппараты;  $B = 4,5$  кг/ч; электроды ОЗС-4.

Источник 3 — газорезка; сталь углеродистая толщиной 10 мм.

#### 1. Расчет выбросов

– от котельной

$$M_{\text{ТВ}} = BA' f(1-\eta) = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \cdot (1-0,2) = 1,2 \text{ г/с};$$

– от сварочных аппаратов

$$M_{\text{ТВ}} = \frac{1}{3600} q_{\text{ТВ}} B = \frac{1}{3600} \cdot 10,9 \cdot 4,5 = 1,36 \cdot 10^{-2} \text{ г/с};$$

– от газорезки

$$M_{\text{ТВ}} = \frac{q_{\text{ТВ}}}{3600} = \frac{131,0}{3600} = 3,64 \cdot 10^{-2} \text{ г/с}.$$

## 2. Расчет значений коэффициента ED1

– для котельной

$$ED1 = \frac{M_{\text{ТВ}}}{\text{ПДВ}_{\text{ТВ}}} = \frac{1,2}{0,085} = 14,1;$$

– для сварочных работ

$$ED1 = \frac{M_{\text{ТВ}}}{\text{ПДВ}_{\text{ТВ}}} = \frac{1,36 \cdot 10^{-2}}{0,085} = 0,16;$$

– для газорезки

$$ED1 = \frac{M_{\text{ТВ}}}{\text{ПДВ}_{\text{ТВ}}} = \frac{3,64 \cdot 10^{-2}}{0,085} = 0,43;$$

## 3. Расчет выбросов загрязняющих веществ от котельной

(источник № 1):

– твердых частиц (формула (5));

– окислов серы (формула (6));

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BS^r(1 - \eta')(1 - \eta'') = 0,02 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,9 \cdot (1 - 0)(1 - 0,1) = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

– окислов углерода

$$M_{\text{CO}} = 0,001C_{\text{CO}}B = 0,001 \cdot 9,4 \cdot 1,5 = 14,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/с};$$

– окислов азота

$$M_{\text{NO}_2} = 0,025V(1 - \beta) = 0,025 \cdot 1,15(1 - 0) = 0,03 \text{ г/с}.$$

## 4. Расчет значений коэффициента ED2

– для твердых частиц

$$ED2 = \frac{M_{\text{ТВ}}}{K \cdot \text{ПДВ}_{\text{ТВ}}} = \frac{1,2}{3 \cdot 0,085} = 4,71;$$

– для окислов серы

$$ED2 = \frac{M_{SO}}{K \cdot ПДВ_{SO}} = \frac{5,1 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3}} = 9,44 \cdot 10^{-3};$$

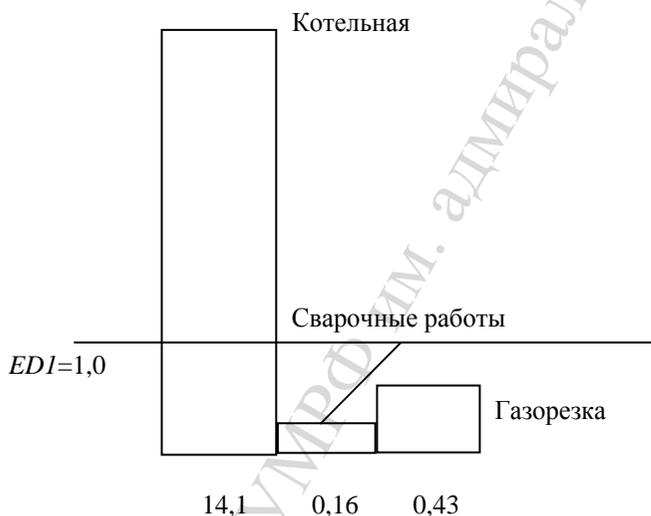
– для окислов углерода

$$ED2 = \frac{M_{CO}}{K \cdot ПДВ_{CO}} = \frac{14,1 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3}} = 12,59;$$

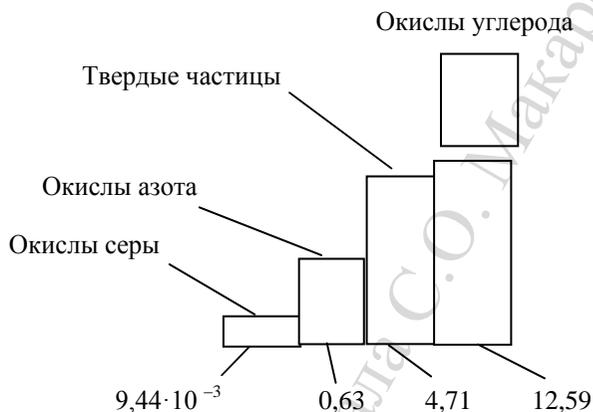
– для окислов азота

$$ED2 = \frac{M_{NO}}{K \cdot ПДВ_{NO}} = \frac{0,03}{2 \cdot 0,024} = 0,63.$$

### 5. Построение диаграммы EDI (для твердых частиц)



## 6. Построение диаграммы ED2



**Выводы:** анализ результатов расчетов показывает, что выброс твердых частиц от сварочных работ и от газорезки не превышает допустимых пределов ( $EDI < 1$ ), выброс от котельной в 14,1 раза превышает допустимый уровень; наиболее опасным среди выбросов от котельной является выброс твердых частиц.

### Лабораторная работа № 4

#### Исследование загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации судовой энергетической установки

**Целью работы** является усвоение представлений о СЭУ как источнике загрязнения атмосферного воздуха и освоение методики расчета уровня этого загрязнения.

#### Общие методические рекомендации

При эксплуатации судовой энергетической установки происходит загрязнение атмосферы воздухом, который используется в судовых двигателях внутреннего сгорания, котельных агрегатах, при вентиляции судовых помещений и вентиляции топливных цистерн. Напомним, что загрязнение атмосферного воздуха характеризуется параметром «выброс», который показывает, какое количество какого-либо вещества поступает в атмосферу в единицу времени. Поступление загрязняющих

веществ от СЭУ в основном определяется: а) выбросами с отработавшими газами от ДВС и котлов —  $B_{\text{ДВС}}$ ; б) выбросами в вентиляционном воздухе —  $B_{\text{вент}}$ .

В общем случае выброс  $i$ -го вещества определяется по формуле

$$B_i = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot L \cdot C_i, \quad (1)$$

где  $L$  — количество газовой смеси (загрязненного воздуха), поступающей в атмосферу в единицу времени, м<sup>3</sup>/ч;  $C_i$  — концентрация загрязняющих веществ в этой газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>.

Выбросы от ДВС и котлов могут быть рассчитаны в зависимости от расхода топлива  $W$  и удельного выделения загрязняющих веществ  $g_i$  при сжигании 1 кг топлива по следующей формуле:

$$B_i = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_i, \quad (2)$$

где  $B_i$  — выброс  $i$ -го вещества, г/с;  $W$  — расход топлива, т/ч;  $g_i$  — удельные выделения загрязняющих веществ, г/кг (табл. 1).

Таблица 1

Удельные выделения загрязняющих веществ от ДВС и котлов СЭУ

Наименование вещества	Удельные выделения, г/кг
Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	3,9
Оксид углерода CO	25,6
Оксиды азота NO <sub>x</sub>	68,1
Углеводороды C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	18,1
Сажа	6,1

При расчете выбросов с вентиляционным воздухом концентрация загрязняющих веществ в выбросе принимается в соответствии с данными, приведенными в табл. 2. Количество газовой смеси, которое образуется при вентиляции служебных и жилых помещений, приводится в виде исходных данных в таблице прил. 4.

Концентрация загрязняющих веществ в вентиляционном воздухе

Наименование вещества	Концентрация, мг / м <sup>3</sup>
Машинное отделение: окись углерода CO	5,0
углеводороды C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	5,0
Жилые помещения: окись углерода CO	2,0

### Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (см. табл. прил. 4).
3. Выполнить расчет выбросов от ДВС и котлов ( $B_{\text{ДВС}}$ ) и выбросов с вентиляционным воздухом ( $B_{\text{вент}}$ ). Расчет выбросов выполняется для всех веществ, содержащихся в газозвдушной смеси.
4. По результатам расчета построить следующие круговые диаграммы (с. 27): 1 — диаграмму выбросов загрязняющих веществ (пять веществ) от ДВС и котлов; 2 — диаграмму выбросов загрязняющих веществ (два вещества) с вентиляционным воздухом из машинного отделения и жилых помещений; 3 — диаграмму выбросов окиси углерода: а) от ДВС и котлов; б) с вентиляционным воздухом из машинного отделения и жилых помещений; 4 — диаграмму выбросов углеводородов: а) от ДВС и котлов; б) с вентиляционным воздухом из машинного отделения.
5. Составить выводы по результатам работы.
6. Все расчеты и оформление работы осуществляются в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее.

### Пример расчета и оформления работы

#### 1. Расчет выбросов загрязняющих веществ от ДВС и котлов

– Расчет выбросов сернистого ангидрида SO<sub>2</sub>

$$B_{\text{SO}_2} = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_{\text{SO}_2} = \frac{10^3}{3600} \cdot 0,12 \text{ т/ч} \cdot 3,9 \text{ г/кг} = 0,13 \text{ г/с},$$

где  $W = 0,12 \text{ т/ч}$  — расход топлива в СЭУ.

– Расчет выбросов окиси углерода CO

$$B_{\text{CO}} = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_{\text{CO}} = \frac{10^3}{3600} \cdot 0,12 \text{ т/ч} \cdot 25,6 \text{ г/кг} = 0,85 \text{ г/с}.$$

– Расчет выбросов окислов азота NO<sub>x</sub>

$$B_{\text{NO}_x} = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_{\text{NO}_x} = \frac{10^3}{3600} \cdot 0,12 \text{ т/ч} \cdot 68,1 \text{ г/кг} = 2,27 \text{ г/с}.$$

– Расчет выбросов углеводородов C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>

$$B_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{10^3}{3600} \cdot 0,12 \text{ т/ч} \cdot 18,1 \text{ г/кг} = 0,6 \text{ г/с}.$$

– Расчет выбросов сажи

$$B_{\text{сажа}} = \frac{10^3}{3600} \cdot W \cdot g_{\text{сажа}} = \frac{10^3}{3600} \cdot 0,12 \text{ т/ч} \cdot 6,1 \text{ г/кг} = 0,2 \text{ г/с}.$$

## 2. Расчет выбросов загрязняющих веществ при вентиляции помещений

А. Машинного отделения:

– расчет выбросов окиси углерода CO

$$B_{\text{CO}} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot L_{\text{МО}} \cdot C_{\text{CO}} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 6,8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 5,0 \text{ мг/м}^3 = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ г/с},$$

где  $L_{\text{МО}} = 6,8 \text{ м}^3/\text{ч}$  — количество вентиляционного воздуха в машинном отделении;

– расчет выбросов углеводородов C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>

$$B_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot L_{\text{МО}} \cdot C_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 6,8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 5,0 \text{ мг/м}^3 = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ г/с}.$$

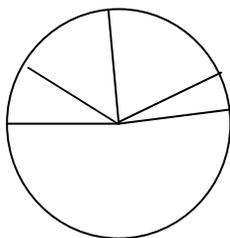
Б. Жилых помещений:

– расчет выбросов окиси углерода CO

$$B_{\text{CO}} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot L_{\text{ж}} \cdot C_{\text{CO}} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 3,2 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 2,0 \text{ мг/м}^3 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ г/с},$$

где  $L_{\text{ж}} = 3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$  — количество вентиляционного воздуха в жилых помещениях.

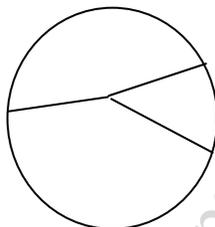
14 %  $C_xH_y$   
10 %  $SO_2$   
52 %  $NO_x$



1-я диаграмма

маш. отд. — 45 %  $C_xH_y$

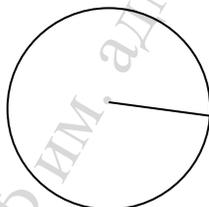
маш. отд. — 45 % CO



жил. помещения — 10 % CO

2-я диаграмма

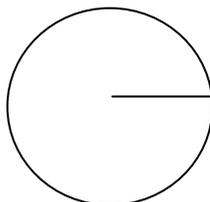
от ДВС (CO) 99,998 %



вент. (CO) 0,002 %

3-я диаграмма

от ДВС ( $C_xH_y$ ) — 99,998 %



в вент. ( $C_xH_y$ ) — 0,002 %

4-я диаграмма

*Выводы:* при выбросе отработанных газов ДВС и котлов наибольшее загрязнение атмосферного воздуха дают окислы азота NOx (доля выбросов составляет 52 %); наименьшее загрязнение дает выброс сажи (доля выбросов составляет 5 %); загрязнение атмосферы при вентиляции помещений ничтожно мало (0,002%) по сравнению с загрязнением отработанными газами.

### **Раздел 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

#### **Лабораторная работа № 5**

##### **Обработка результатов экологического контроля**

**Целью работы** является освоение методики обработки результатов экологического контроля за состоянием природной среды и инженерных объектов.

##### **Общие методические рекомендации**

Экологический контроль подразумевает измерение или расчет параметров, характеризующих влияние техногенных объектов на природную среду и ее состояние (качество). При измерении получают результаты, которые необходимо уметь обрабатывать.

При измерении какого-либо параметра получают ряд отличающихся друг от друга значений  $x_1, x_2 \dots x_n$  этого параметра, которые будут отражать истинное значение измеряемой величины с большей или меньшей точностью. Кроме того, все эти значения  $x_n$  группируются вокруг некоторого значения  $x_{cp}$ , которое при определенных условиях будет приближаться к истинному значению  $x$ .

Необходимым условием является такая организация измерений, которая исключает так называемую систематическую ошибку. В целом различают систематические и случайные ошибки.

Еще одним важным условием является выполнение измерений в достаточно большом количестве, что в целом снижает случайную ошибку. При  $n \rightarrow \infty x_{cp} \rightarrow x$ . Понятно, что на практике число измерений  $n$

→ ∞ неосуществимо. Поэтому истинное значение измеряемого параметра  $x$  всегда остается неизвестным. Однако результаты измерений всё же можно определенным образом охарактеризовать. Например, пользуясь методами математической статистики можно определить погрешность или ошибку измерений (в данном случае имеется в виду случайная ошибка). Существуют и другие параметры, с помощью которых можно характеризовать результаты измерений:

– среднее арифметическое значение

$$x_{\text{cp}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (1)$$

где  $n$  — количество измерений;

$$\tilde{x} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}, \quad (2)$$

где  $\tilde{x}$  — среднее геометрическое значение;

– среднее квадратическое отклонение

$$S_n = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $\Delta x_1 = x_{\text{cp}} - x_1$ ;  $\Delta x_2 = x_{\text{cp}} - x_2$  (4)

и т.д.

Доверительная вероятность  $\alpha$  характеризует надежность получения результата и задается в зависимости от требований к точности измерений в каждой определенной их области.

Коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha n}$  выбирается по следующей таблице, в зависимости от числа измерений  $n$  и доверительной вероятности  $\alpha$ :

$\alpha$	$n$					
	2	4	6	8	10	15
0,70	2,0	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
0,95	12,7	3,2	2,6	2,4	2,3	2,1

Погрешность результата измерений:

– абсолютная

$$\Delta x = t_{\alpha} S_n; \quad (5)$$

– относительная, %,

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{cp}} \cdot 100. \quad (6)$$

Результат измерений записывается следующим образом: результат измерений составил  $x_{cp} \pm \Delta x$  или результат измерений, полученный с погрешностью  $\varepsilon_x, \%$ , составил  $x_{cp}$ .

Полученные результаты измерения какого-либо параметра можно также характеризовать гистограммой, которая наглядно будет отражать качество измерений. Для построения гистограммы необходимо значения  $x_i$  записать в порядке их возрастания. Затем, определив размах  $R$  как  $R = x_{max} - x_{min}$ , разбить весь интервал изменения  $x_i$  на несколько интервалов. Количество интервалов  $k$  определяется согласно одной из рекомендаций:

$$5 < k < 25; \quad (7)$$

$$k \leq 5 \lg n. \quad (8)$$

После этого определяется количество измерений  $h_k$ , попавших в каждый интервал, а также относительная частота попадания результатов в каждый интервал как отношение  $h_k / n$ . Строится график, на котором по горизонтальной оси откладываются интервалы, а по вертикальной — значения  $h_k/n$  (рис. 1). Полученная кривая является гистограммой, характеризующей разброс результатов измерений.

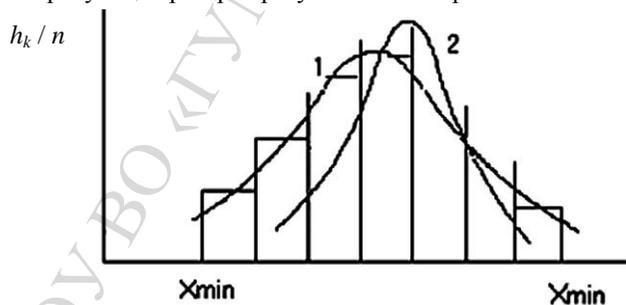


Рис. 1. Гистограмма результатов измерений

Более точным измерениям соответствует кривая 2 по сравнению с кривой 1.

### Порядок выполнения работы

1. Пользуясь измерительным инструментом, по указанию преподавателя измерить длину каждого из двенадцати отрезков, которые изображены на рис. 2. Данные измерений записываются как ряд результатов  $x_1; x_2 \dots x_n$ .

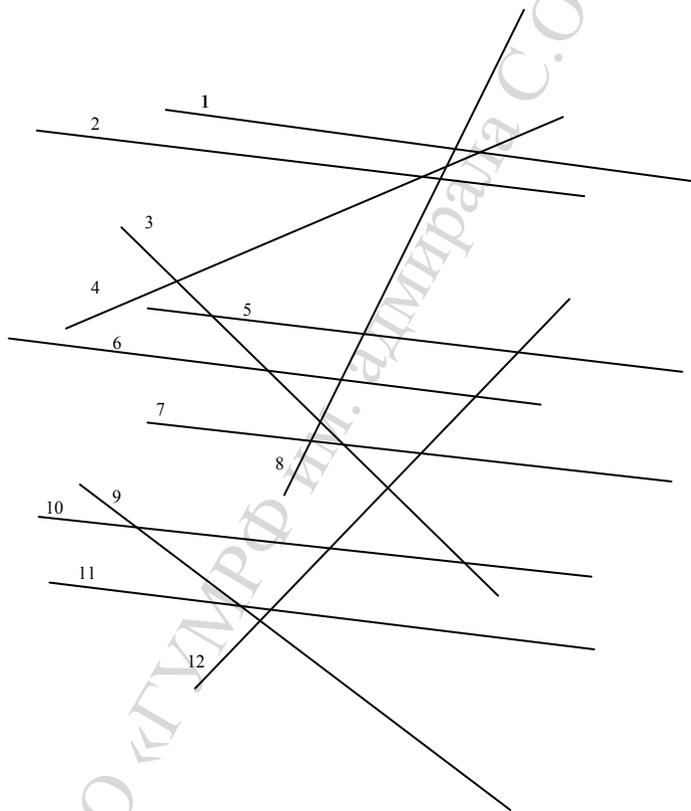


Рис. 2. Образцы отрезков

2. Рассчитать параметры, которые характеризуют полученные результаты измерений: среднее арифметическое, среднее геометрическое, среднее квадратическое отклонение и погрешность результатов измерений. Записать результат измерений.

3. Используя результаты 24 – 36 измерений, полученных двумя-тремя обучаемыми, построить гистограмму результатов измерений.

### Пример расчета и оформления работы

1. При экологическом контроле состояния природного объекта были получены следующие результаты ( $n = 15$  — число измерений):

10,5; 10,2; 10,35; 10,6; 10,55; 10,4; 10,45; 10,25; 10,45; 10,5; 10,35; 10,4; 10,45; 10,55; 10,35 см.

2. Нахождение среднего арифметического значения:

$$x_{\text{ср}} = \frac{1}{15} \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_{14} + x_{15});$$

$$x_{\text{ср}} = \frac{1}{15} \cdot (10,5 + 10,2 + 10,35 + 10,6 + 10,55 + 10,4 + 10,45 + 10,25 + 10,45 + 10,5 + 10,35 + 10,4 + 10,45 + 10,55 + 10,35) = 10,42 \text{ см.}$$

3. Вычисление параметров, характеризующих полученные результаты измерений:

– среднего геометрического значения:

$$x = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_{15}};$$

$$x = \sqrt[15]{10,5 \cdot 10,2 \cdot 10,35 \cdot 10,6 \cdot 10,55 \cdot 10,4 \cdot 10,45 \cdot 10,25 \cdot 10,45 \cdot 10,5 \cdot 10,35 \cdot 10,4 \cdot 10,45 \cdot 10,55 \cdot 10,35} = 10,42$$

– средней квадратической ошибки:

$$S_n = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,0064 + 0,0484 + 0,0049 + 0,0324 + 0,0169 + 0,0004 + 0,0009 + 0,0289 + 0,0009 + 0,0064 + 0,0049 + 0,0004 + 0,0009 + 0,0016 + 0,0049}{14}} = 0,11.$$

$$\Delta x_1 = x_{\text{cp}} - x_1 = 0,08$$

$$\Delta x_1^2 = 6,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_2 = x_{\text{cp}} - x_2 = -0,22$$

$$\Delta x_2^2 = 0,0484$$

$$\Delta x_3 = x_{\text{cp}} - x_3 = -0,17$$

$$\Delta x_3^2 = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_4 = x_{\text{cp}} - x_4 = 0,18$$

$$\Delta x_4^2 = 0,0324$$

$$\Delta x_5 = x_{\text{cp}} - x_4 = 0,13$$

$$\Delta x_5^2 = 0,0169$$

$$\Delta x_6 = x_{\text{cp}} - x_6 = -0,02$$

$$\Delta x_6^2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_7 = x_{\text{cp}} - x_7 = 0,03$$

$$\Delta x_7^2 = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_8 = x_{\text{cp}} - x_8 = -0,17$$

$$\Delta x_8^2 = 0,0289$$

$$\Delta x_9 = x_{\text{cp}} - x_9 = 0,03$$

$$\Delta x_9^2 = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_{10} = x_{\text{cp}} - x_{10} = 0,08$$

$$\Delta x_{10}^2 = 6,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_{11} = x_{\text{cp}} - x_{11} = -0,07$$

$$\Delta x_{11}^2 = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_{12} = x_{\text{cp}} - x_{12} = -0,02$$

$$\Delta x_{12}^2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_{13} = x_{\text{cp}} - x_{13} = 0,03$$

$$\Delta x_{13}^2 = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta x_{14} = x_{\text{cp}} - x_{14} = 0,13$$

$$\Delta x_{14}^2 = 0,0169$$

$$\Delta x_{15} = x_{\text{cp}} - x_{15} = -0,07$$

$$\Delta x_{15}^2 = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

- принимаем значения коэффициента  $t_\alpha$  для  $x = 0,95$  и  $n = 15$ ,  $t_\alpha = 2,1$ ;
- определяем погрешность результата измерений:
- абсолютную  $\Delta x = t_\alpha \cdot S_n = 2,1 \cdot 0,11 = 0,23$  см;

– относительную

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{ср}}} 100\% = \frac{0,23}{10,42} = 0,22 \cdot 100\% = 2,2\%.$$

4. Результаты измерений:

- длина измеряемого параметра составила  $(10,42 \pm 0,23)$  см;
- длина измеряемого параметра составила 10,42 см (с относительной погрешностью 2,2 %).

5. Построение гистограммы результатов измерения (рис. 3):

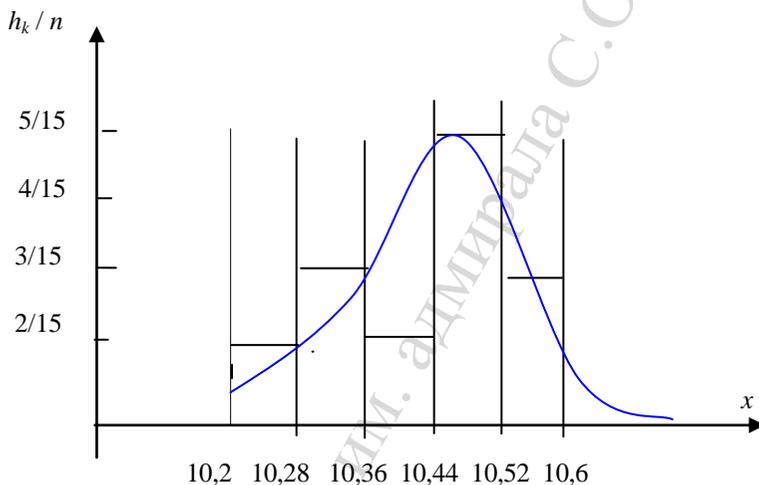


Рис. 3. Гистограмма результатов измерений

Ряд результатов измерений (в порядке возрастания): 10,2; 10,25; 10,35; 10,4; 10,45; 10,5; 10,55; 10,6.

Разброс полученных измерением значений составляет

$$R = X_{\text{max}} - X_{\text{min}} = 10,6 - 10,2 = 0,4 \text{ см.}$$

Весь интервал изменений  $x$  разбиваем на пять подинтервалов:

в первом находятся два результата,  $h_k/n = 2/15 = 0,13$ ;

во втором — три,  $h_k/n = 3/15 = 0,2$ ; в третьем — два,  $h_k/n = 2/15 = 0,13$ ;

в четвертом — пять,  $h_k/n = 5/15 = 0,33$ ; в пятом — три,  $h_k/n = 0,2$ .

## Лабораторная работа № 6

### Анализ экспериментальных результатов экологического контроля природной среды и инженерных объектов

**Целью работы** является освоение способов обработки и анализ экспериментально полученной информации о параметрах экологического контроля, а также освоение способов представления экспериментальных данных в графическом и аналитическом виде.

#### Общие методические рекомендации

При экологическом контроле обычно разного рода измерения предполагают исследование зависимости одного параметра от другого или других. Подобные экспериментально полученные зависимости могут иметь различный вид. Например такой, как показан на рис. 1.

Дальнейший анализ полученных экспериментальным способом сведений о зависимости  $C(t)$  от  $t$  требует обработки этой информации, осуществляемой для её дальнейшего представления в графическом и аналитическом виде.

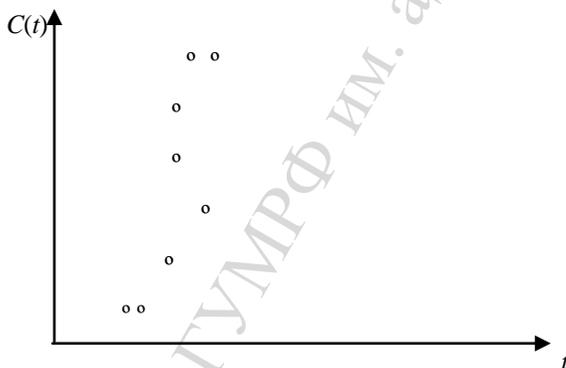


Рис. 1. Результаты экспериментального наблюдения за контролируемым параметром  $C(t)$

Если необходимо представить зависимость двух параметров в графическом виде, следует на координатную сетку (например,  $C(t)$  и  $t$ ), нанести точки  $(C_1; t_1); (C_2; t_2) \dots (C_n; t_n)$  — рис. 2, где эти точки обозначены знаком  $^{\circ}$ . Обычно они не укладываются на какой-либо плавной кривой. Поэтому возникает необходимость так называемого «сглаживания» экспериментальных данных. Для этого весь интервал изменения параметра

$t$  произвольно разбивают на  $m$  равных интервалов так, чтобы в каждом из них было не менее двух экспериментальных точек. Затем для каждого интервала определяют средние арифметические значения.

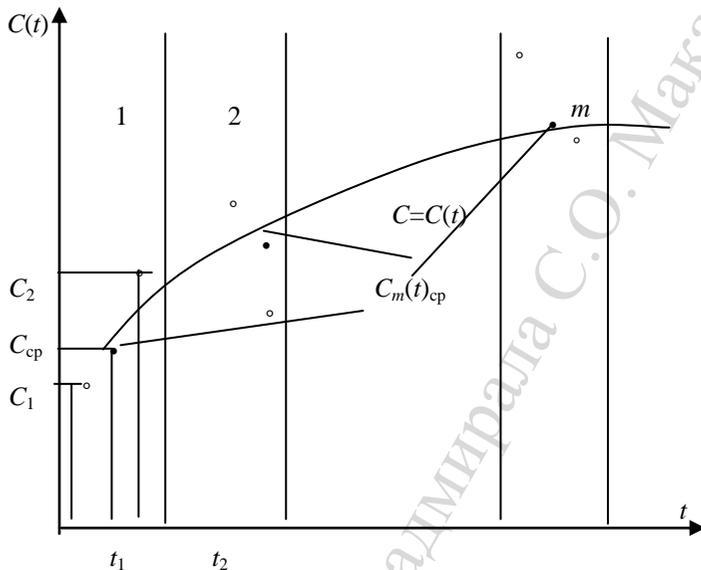


Рис. 2. Операция «сглаживания» экспериментальной зависимости  
 Например, для первого интервала среднее значение  $C_1(t)_{cp}$  будет определяться по формуле

$$C_1(t)_{cp} = \frac{C_1(t) + C_2(t)}{2}. \quad (1)$$

Полученные при помощи расчета средние значения  $C_m(t)_{cp}$  откладывают на координатной сетке, «привязывая» их к серединам своих интервалов. На рис. 2 эти точки обозначены в виде  $\bullet$ . Полученные таким образом точки соединяют плавной кривой  $C=C(t)$ , которая будет являться экспериментально полученной зависимостью  $C(t)$  от  $t$ , представленной в графическом виде.

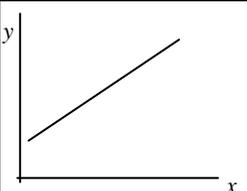
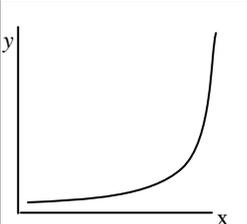
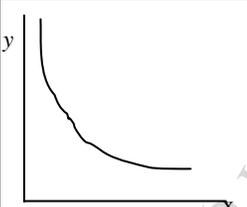
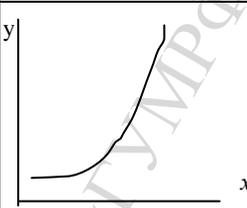
Необходимо представлять полученные экспериментально зависимости в аналитическом виде. С достаточной точностью можно утверждать, что любая опытная зависимость (или ее часть) с допустимыми отклонениями будет совпадать с какой-либо из известных функций, например линейной, степенной, гиперболической, показательной или другой. Аналитическое

выражение экспериментальной зависимости может быть получено в виде одной из функций, указанных в таблице (с. 38), если предварительно будут рассчитаны значения параметров  $a$  и  $b$  в соответствующих уравнениях регрессии. (Формулы для определения параметров  $a$  и  $b$  приведены также в этой таблице).

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (прил. 5).
3. Первоначальную информацию о контролируемом параметре представить в виде таблицы, которая будет отражать отличие исследуемого параметра  $y(x)$  от параметра  $x$ . Все данные необходимо располагать в порядке возрастания  $x$  (здесь и далее исследуемый параметр обозначаем как  $y(x)$ , независимый — как  $x$ ).
4. Начертить координатную сетку  $y(x)$ ;  $x$ , выбрав масштаб так, чтобы площадь страницы была максимально заполнена.
5. На координатную сетку нанести точки  $y(x)_n$ ;  $x_n$ , выбрав для их обозначения определенный символ.
6. Выполнить «сглаживание» экспериментальных данных в соответствии с ранее изложенными рекомендациями.
7. Полученные при процедуре «сглаживания» точки соединить плавной кривой. Эта кривая будет представлять собой график экспериментальной зависимости  $y_{\text{эксп}} = y(x)$ .
8. Определить аналитический вид экспериментально полученной зависимости. Предполагаемый вид зависимости указан в задании. Для определения аналитического вида зависимости необходимо в табл. 1 выбрать формулы для расчета параметров  $a$  и  $b$ , вычислив их значения.
9. Записать аналитический вид полученной зависимости  $y_{\text{теор}} = y(x)$ .
10. По установленному аналитическому виду зависимости  $y_{\text{теор}} = y(x)$  построить график этой функции.
11. Визуально оценить совпадение экспериментальной  $y_{\text{эксп}} = y(x)$  и теоретической  $y_{\text{теор}} = y(x)$  зависимостей.
12. Все расчеты и оформление работы осуществляются в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее.

Виды теоретических зависимостей и формулы  
для расчета параметров  $a$  и  $b$

Вид зависимости	Графическое изображение	Уравнение регрессии	Выражение для определения коэффициентов
1	2	3	4
Линейная		$y = a + bx$	$b = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum (x_i y_i)}{(\sum x_i)^2 - n \sum (x_i^2)}$ $a = 1/n (\sum y_i - b \sum x_i)$
Степенная		$y = a x^b$	$b = \frac{\sum \ln x_i \sum \ln y_i - n \sum (\ln x_i \cdot \ln y_i)}{(\sum \ln x_i)^2 - n \sum (\ln x_i)^2}$ $a = \exp[1/n (\sum \ln y_i - b \sum \ln x_i)]$
Гиперболическая		$y = a + b/x$	$b = \frac{n \sum (y_i/x_i) - \sum (1/x_i) \sum y_i}{n \sum (1/x_i^2) - (\sum 1/x_i)^2}$ $a = 1/n (\sum y_i - b \sum 1/x_i)$
Показательная		$y = ab^x$	$\lg b = \frac{n \sum (x_i \lg y_i) - \sum x_i \sum \lg y_i}{n \sum (x_i^2) - (\sum x_i)^2}$ $\lg a = 1/n (\sum \lg y_i - \lg b \sum x_i)$

**Пример расчета и оформления работы**

1. В результате экологического контроля были получены данные об изменении параметра  $C(t)$  в зависимости от параметра  $t$ . Эти данные представлены в следующем виде:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t, \text{ч}$	0,2	0,5	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5	7,0	8,0	8,5	9,5
$C(t), \text{мг/л}$	3,5	2,5	2,0	1,7	1,75	1,7	1,73	1,6	1,6	1,5	1,65	1,5	1,56	1,45

2. Построение графиков экспериментальной и теоретической зависимости (процедура сглаживания на рис. 3 не показана).

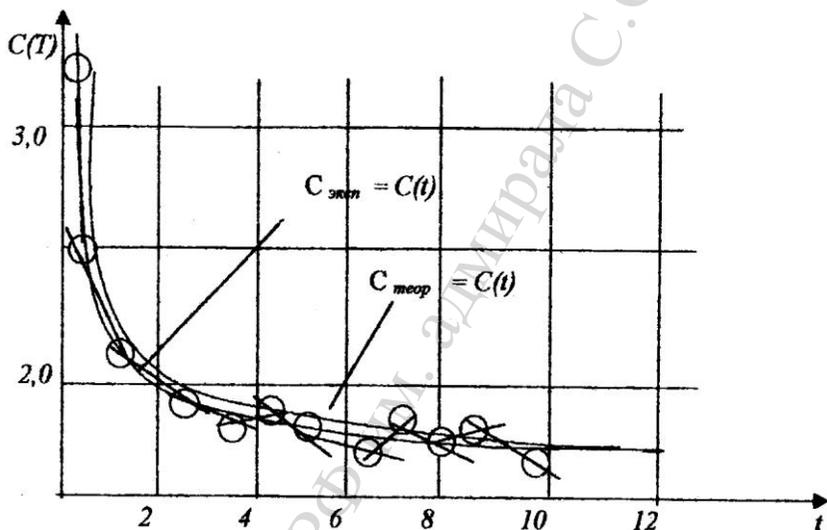


Рис. 3. Экспериментальная и теоретическая зависимости  $C = C(t)$

3. Определение аналитического вида исследуемой зависимости.

Предполагаемый вид зависимости — гиперболический (формулы (1) и (2)):

$$C(t) = a + \frac{b}{t}, \quad (1)$$

где  $a = \frac{1}{n} \left( \sum y_i - b \sum \frac{1}{x_i} \right)$ ;

$$b = \frac{n \sum \frac{y_i}{x_i} - \sum \frac{1}{x_i} \cdot \sum y_i}{n \sum \frac{1}{x_i^2} - \left( \sum \frac{1}{x_i} \right)^2}. \quad (2)$$

Обозначив  $y=C(t)$  и  $x=t$ , вычисляют значения параметров  $a$  и  $b$ :

$$\begin{aligned} \sum \frac{y_i}{x_i} &= \frac{3,5}{0,25} + \frac{0,5}{2,5} + \frac{2,0}{1,0} + \frac{1,7}{2,0} + \frac{1,75}{2,5} + \frac{1,72}{3,5} + \frac{1,73}{4,0} + \frac{1,6}{5,0} + \frac{1,6}{5,5} + \\ &+ \frac{1,5}{6,5} + \frac{1,65}{7,0} + \frac{1,5}{8} + \frac{1,56}{8,5} + \frac{1,45}{9,5} = 20,25; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum \frac{1}{x_i} &= \frac{1}{0,25} + \frac{1}{2,5} + \frac{1}{1,0} + \frac{1}{2,0} + \frac{1}{2,5} + \frac{1}{3,5} + \frac{1}{4,0} + \frac{1}{5,0} + \\ &+ \frac{1}{5,5} + \frac{1}{6,5} + \frac{1}{7,0} + \frac{1}{8,0} + \frac{1}{8,5} + \frac{1}{9,5} = 7,83; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum y_i &= 3,5 + 0,5 + 2,0 + 1,7 + 1,75 + 1,72 + 1,73 + 1,6 + 1,6 + \\ &+ 1,5 + 1,65 + 1,5 + 1,56 + 1,45 = 23,76; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum \frac{1}{x_i^2} &= \frac{1}{0,25^2} + \frac{1}{2,5^2} + \frac{1}{1,0^2} + \frac{1}{2,0^2} + \frac{1}{2,5^2} + \frac{1}{3,5^2} + \frac{1}{4,0^2} + \\ &+ \frac{1}{5,0^2} + \frac{1}{5,5^2} + \frac{1}{6,5^2} + \frac{1}{7,0^2} + \frac{1}{8,0^2} + \frac{1}{8,5^2} + \frac{1}{9,5^2} = 27,85; \end{aligned}$$

$$\left( \sum \frac{1}{x_i} \right)^2 = 61,3$$

$$b = \frac{14 \cdot 20,25 - 783 \cdot 23,76}{14 \cdot 27,85 - 61,3} = 0,51.$$

Таким образом, аналитический вид исследуемой зависимости  $C = C(t)$  можно представить в следующем виде:

$$C(t) = 1,38 + \frac{0,51}{t}.$$

График этой зависимости показан на рис. 3.

*Вывод.* Анализ визуального сравнения графиков теоретической и экспериментальной зависимостей показывает достаточно точное их совпадение.

## **Раздел 4. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ОЧИСТКИ ВОДЫ**

### **Лабораторная работа № 7**

#### **Исследование процесса очистки воды при окислении загрязняющих веществ**

**Целью работы** является получение общих представлений о процессе очистки воды при окислении загрязняющих веществ, а также освоение методики расчета основных параметров этого процесса.

#### **Общие методические рекомендации**

Обширная группа загрязняющих веществ, встречающихся в сточной воде, относится к органическим веществам. Поэтому для очистки воды от этих веществ используют процессы их окисления. Процесс очистки воды с применением окисления представляет собой химическую реакцию окисления загрязняющих воду веществ веществом-окислителем, например, озоном. Окисление загрязняющих веществ осуществляется до их полного превращения в углекислый газ и воду или до появления промежуточных продуктов этой реакции, которые начинают интенсивно коагулировать, образуя хлопьевидную массу.

Процесс озонирования представлен в виде законов химической кинетики. Скорость реакции озона с органическими веществами описана уравнением, решение которого позволяет определить степень превращения реагирующих веществ в зависимости от времени:

$$\frac{dn}{dt} = kC_1C_2, \quad (1)$$

где  $n$  — концентрация загрязняющих веществ или озона, прореагировавших к моменту времени  $t$ ;  $k$  — константа скорости реакции

окисления;  $C_1$  и  $C_2$  — текущие концентрации загрязняющих веществ и озона, которые можно записать в виде:

$$C_1 = a - n; \quad C_2 = b - n, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — начальные концентрации, соответственно, загрязняющих веществ и озона.

Решением этого уравнения при начальных условиях:

$$t = 0; n = 0; C_1 = a; C_2 = b \quad (3)$$

будет выражение

$$\frac{n}{a} = \frac{1 - \exp[k(a-b)t]}{1 - \frac{a}{b} \exp[k(a-b)t]}. \quad (4)$$

В том случае, когда  $a = b$ , выражение (4) преобразуется в выражение

$$\frac{n}{a} = \frac{k a t}{1 + k a t}. \quad (5)$$

Процесс окисления протекает до момента времени  $T_{\text{пр}}$ , когда практически прекращается изменение концентрации загрязняющих веществ.

Полная длительность процесса очистки  $T_{\text{пр}}$ , может быть рассчитана согласно следующим зависимостям:

$$\text{при } a = b \quad T_{\text{пр}} = 48287,9 \exp(-5,1a);$$

$$\text{при } a > b \quad T_{\text{пр}} = 265,7 \exp \left[ 3,3 \left( \frac{b}{a} \right) \right]; \quad (6)$$

$$\text{при } a < b \quad T_{\text{пр}} = 174,54 \exp \left[ 3,9 \left( \frac{a}{b} \right) \right].$$

Остаточная концентрация загрязняющих веществ к моменту прекращения реакции окисления будет зависеть от соотношения  $a/b$  и может быть вычислена по следующим формулам:

$$\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}} = \frac{b}{a} \quad \text{при } a > b;$$

$$\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}} = 1 \quad \text{при } a < b \text{ или } a = b. \quad (7)$$

Таким образом, вышеприведенные зависимости позволяют рассчитать степень очистки загрязненной воды при заданной начальной концентрации загрязняющего вещества и начальной концентрации озона, а также определить время реакции  $T_{\text{пр}}$ . Это время является необходимым для расчета объема и размеров устройства для очистки воды окислением при заданном значении производительности технологической линии очистки. Объем такого устройства  $V$  определяется по формуле

$$V = Q \cdot T_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где  $Q$  — производительность очистки.

Размеры устройства будут определяться по известным в математике формулам, в зависимости от формы устройства. Наиболее предпочтительной по многим причинам является цилиндрическая форма устройств для очистки воды.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (таблица прил. 6).
3. Согласно зависимостям (4) или (5), рассчитать и построить кинетическую кривую изменения концентрации органических веществ (нефтепродуктов) в процессе их окисления. Кинетическая кривая строится по пяти — семи точкам. Значения константы скорости реакции для всех вариантов заданий  $k = 0,032$  л/ммоль·с. Для расчета выходной кривой рекомендуется принимать следующие значения текущего времени реакции окисления:  $t$  — 50, 100, 200, 300, 600, 900, 1200 с. Для тех условий реакции, когда  $a=b$ , значения времени реакции окисления будут 2000, 5000, 10000, 20000 с и более.
4. На графике выходной кривой указать время окончания реакции  $T_{\text{пр}}$  и остаточную концентрацию загрязняющих веществ  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}}$ .

5. Согласно зависимостям (6) и (7), рассчитать время  $T_{\text{пр}}$  и остаточную концентрацию  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}}$ . Сравнить полученные расчетные значения  $T_{\text{пр}}$  и  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}}$  со значениями этих параметров, полученными при анализе выходной кривой.

6. Выполнить расчет объема  $V$  устройства для очистки воды окислением.

7. Выбрав форму и определив размеры устройства для очистки воды окислением, нарисовать эскиз этого устройства с элементарной его проработкой.

8. Составить выводы по работе, в которых указать эффект достигаемой очистки и основные технологические параметры: время очистки, объем и производительность очистного устройства.

9. Все расчеты и оформление работы осуществляются в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее. Данные для расчета процесса очистки окисления приведены в таблице прил. 6.

### Пример расчета и оформления работы

1. Исходные данные для расчета:

$a = 0,5$  ммоль/л;  $b = 0,1$  ммоль/л;  $Q = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч.

2. Расчет изменения концентрации загрязнений выполняется по формулам:

– при  $t = 50$  с

$$\frac{n}{a} = \frac{1 - \exp[k(a-b)t]}{1 - \frac{a}{b} \exp[k(a-b)t]} = \frac{1 - \exp[0,032(0,5 - 0,1)50]}{1 - \frac{0,5}{0,1} \exp[0,032(0,5 - 0,1)50]} = 0,11;$$

– при  $t = 100$  с

$$\frac{n}{a} = \frac{1 - \exp[k(a-b)t]}{1 - \frac{a}{b} \exp[k(a-b)t]} = \frac{1 - \exp[0,032(0,5 - 0,1)100]}{1 - \frac{0,5}{0,1} \exp[0,032(0,5 - 0,1)100]} = 0,15;$$

– при  $t = 200$  с

$$\frac{n}{a} = \frac{1 - \exp[k(a-b)t]}{1 - \frac{a}{b} \exp[k(a-b)t]} = \frac{1 - \exp[0,032(0,5 - 0,1)200]}{1 - \frac{0,5}{0,1} \exp[0,032(0,5 - 0,1)200]} = 0,19 ;$$

– при  $t = 600$  с

$$\frac{n}{a} = \frac{1 - \exp[k(a-b)t]}{1 - \frac{a}{b} \exp[k(a-b)t]} = \frac{1 - \exp[0,032(0,5 - 0,1)600]}{1 - \frac{0,5}{0,1} \exp[0,032(0,5 - 0,1)600]} = 0,20.$$

3. По результатам расчета строим график изменения концентрации загрязняющих веществ (рис. 1).

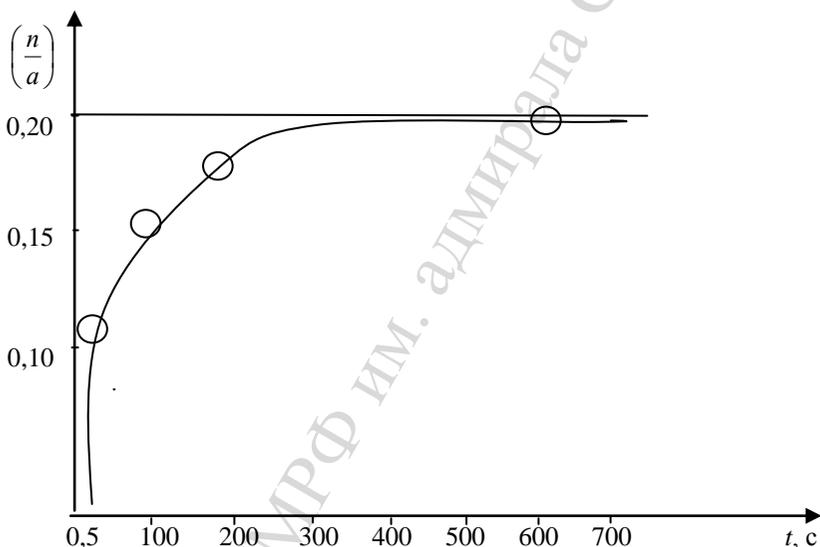


Рис. 1

По графику значение  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}} = 0,20$  при  $T_{\text{пр}} \approx 400$  с.

4. Рассчитываем значение  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}}$  при  $a > b$   $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}} = \frac{b}{a} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2$ .

Полученное значение  $\left(\frac{n}{a}\right)_{\text{пр}}$  совпадает со значением, которое было определено по графику.

5. Рассчитываем значение

$$T_{\text{пр}} = 265,7 \exp\left[3,3\left(\frac{b}{a}\right)\right] = 265,7 \exp(3,3 \cdot 0,2) = 512 \text{ с.}$$

Полученное значение  $T_{\text{пр}}$  достаточно точно совпадает со значением, взятым по графику.

6. Рассчитываем объем устройства:  $V = Q \cdot T_{\text{пр}} = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 400 \text{ с} = 0,14 \text{ м}^3$ .

7. Рассчитываем размеры устройства. Для этого принимаем цилиндрическую форму устройства.

Для цилиндра  $V = H \cdot S$  (рис. 2), при высоте устройства  $H = 0,6 \text{ м}$ , площадь дна корпуса составит  $S = 0,14 / 0,6 = 0,23 \text{ м}^2$ , отсюда диаметр корпуса  $D = \sqrt{4S / \pi} = \sqrt{4 \cdot 0,23 / 3,14} = 0,55 \text{ м}$ .

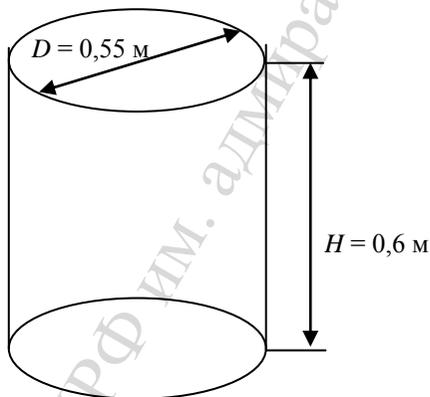


Рис. 2

**Выводы:** исследование процесса очистки воды окислением показало, что наибольшая степень очистки воды от органических примесей составляет 0,2 от начального их содержания (причиной такой незначительной очистки является низкое содержание озона в очищаемой воде), поэтому можно рекомендовать увеличить подачу озона в очистное устройство; полная длительность процесса очистки составляет около 400 с; расчет основных технологических параметров процесса очистки позволяет разработать эскиз очистного устройства.

## Лабораторная работа № 8

### Определение порядка химической реакции окисления загрязняющих веществ в процессах очистки сточной воды (графический метод)

**Целью работы** является получение представлений о процессах очистки, в основе которых лежат химические реакции, а также о способах определения порядка этих реакций.

#### Общие методические рекомендации

Одним из наиболее простых способов определения характера реакции является графический метод. Графический метод определения порядка и константы скорости реакции удобен при характере реакции первого или второго порядка.

При равных значениях начальной концентрации реагирующих веществ:  $C_a = C_b = C$ , скорость реакций первого и второго порядков, соответственно, будет выражена уравнениями:

$$\begin{aligned} -\frac{dC}{dt} &= kC; \\ -\frac{dC}{dt} &= kC^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Интегрируя эти уравнения, получаем:

$$\begin{aligned} -\ln C &= kt - \ln C_0; \\ \frac{1}{C} &= kt + \frac{1}{C_0}. \end{aligned} \quad (2)$$

Анализ уравнений (1) и (2) показывает, что они линейны, соответственно, в координатах  $\ln C$ ;  $t$  и  $1/C$ ;  $t$ . Поэтому, если экспериментальные данные, изображенные в координатах  $\ln C$ ;  $t$ , укладываются на прямую, то исследуемая реакция является реакцией первого порядка. Если экспериментальные точки ложатся на прямую в координатах  $(1/C; t)$ , то такая реакция имеет второй порядок.

Одновременно из выражений (1) и (2) можно получить формулы для определения константы  $k$  скорости реакции:

$$k = \frac{1}{t} (\ln C_0 - \ln C);$$

$$k = \frac{1}{t} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right). \quad (3)$$

#### Порядок выполнения работы

Методические рекомендации к работе предусматривают два варианта ее выполнения. В первом случае зависимость  $C = C(t)$  определяется опытным путем, и работа выполняется в соответствии с указаниями пп. 1 – 7. Во втором случае данные зависимости  $C = C(t)$  приводятся в виде известных в таблице исходных данных, и работа выполняется в соответствии с пп. 5 – 7.

1. Приготовить два равных объема воды с равными концентрациями окисляемого вещества и вещества-окислителя в них.

2. Измерить начальное содержание окислителя в объеме воды, содержащем вещество-окислитель.

3. Содержимое двух емкостей слить в одну, начав с нее отсчет времени реакции окисления.

4. Периодически измерять содержание окислителя  $C$  в объеме реакции.

Результаты наблюдений, полученные экспериментально или в виде исходных данных, при изменении концентрации  $C$  в зависимости от времени  $t$  записываются в табл. 1.

Таблица 1

Номер замера	Время $t$ , с	$C$ , ммоль/л	$\ln C$	$1/C$
1				
...				
i				

5. Рассчитать значения  $\ln C$  и  $1/C$ , по которым строятся графики зависимостей  $\ln C = f(t)$  и  $1/C = f(t)$ .

6. По виду зависимостей  $\ln C = f(t)$  и  $1/C = f(t)$  определить порядок реакции. В соответствии со ставшим известным порядком реакции и используя выражения (3), определить константу  $k$  скорости реакции окисления.

7. Расчеты и оформление работы выполнять в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы. Данные для своего варианта выбрать из таблицы прил. 7.

### Пример расчета и оформления работы

1. Исходные данные для выполнения работы и результаты расчета параметров  $\ln C$  и  $1/C$  приведены в табл. 2:

Таблица 2

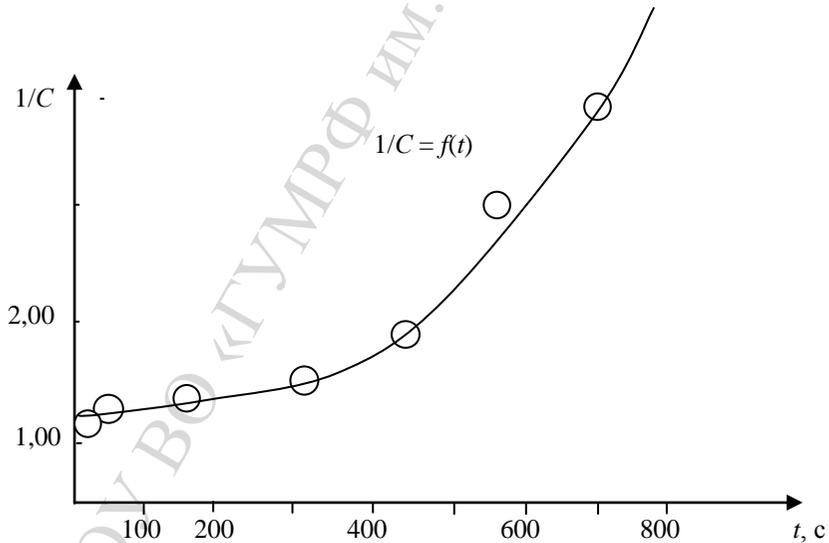
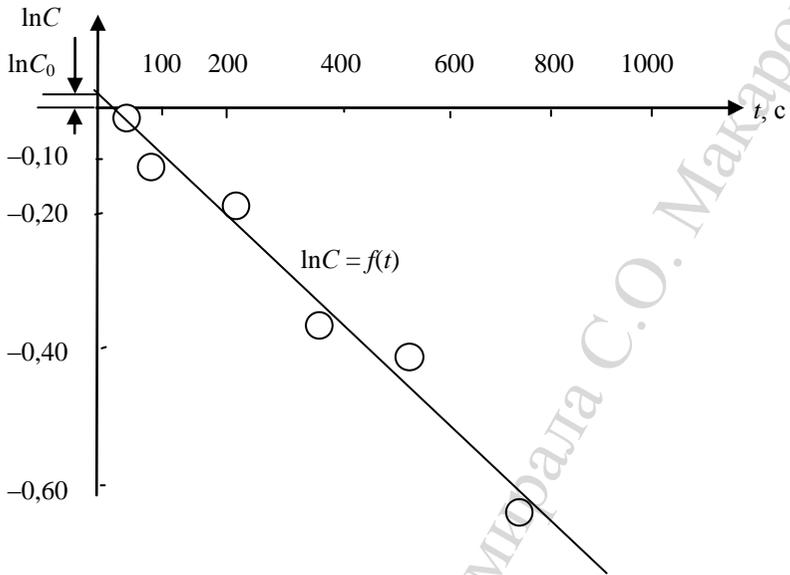
Номер замера	Время $t$ , с	$C$ , ммоль/л	$\ln C$	$\frac{1}{C}$
1	50	0,98	-0,02	1,02
2	100	0,90	-0,11	1,11
3	200	0,84	-0,17	1,19
4	400	0,76	-0,27	1,32
5	600	0,68	-0,39	1,47
6	800	0,54	-0,62	1,85
7	1000	0,42	-0,87	2,38

2. Графики зависимостей  $\ln C = f(t)$  и  $1/C = f(t)$ , соответственно, представлены на рисунке (с. 50).

*Выводы:* анализ зависимостей  $\ln C = f(t)$  и  $1/C = f(t)$  показывает, что зависимость  $\ln C = f(t)$  в большей степени, чем зависимость  $1/C = f(t)$ , имеет линейный характер. Следовательно, исследуемая реакция является реакцией первого порядка. Константу скорости реакции окисления можно определить, используя следующее уравнение:

$$k = \frac{1}{t} (\ln C_0 - \ln C)$$

При  $t = 400$  с,  $\ln C = -0,39$ ,  $\ln C_0 = 0,079$  (по графику) константа скорости реакции  $k = (\ln C_0 - \ln C):t = (0,079 - 0,27):400 = 0,87 \cdot 10^{-3}$  л/ммоль·с.



## Лабораторная работа № 9

### Исследование процесса нейтрализации технологической сточной воды

**Целью работы** является освоение способов расчета и организация процессов нейтрализации сточной воды предприятия.

Для очистки производственной (технологической) сточной воды от щелочей и кислот, как правило, применяется нейтрализация.

#### Общие методические рекомендации

Нейтрализация может быть выполнена следующими способами: при смешивании щелочных и кислотных стоков, при добавлении к сточным водам приготовленного раствора нейтрализатора, при фильтровании через нейтрализующие материалы.

При нейтрализации стока путем смешивания взаимонейтрализующих сточных вод, как правило, в общем после смешивания стоке будет наблюдаться избыток одного из веществ — кислоты или щелочи, который требует последующей его нейтрализации.

Определить, какое из веществ окажется в общем стоке в избытке, можно по величине одного из отношений:

$$\frac{B}{Aq_B} \text{ или } \frac{A}{Bq_A}, \quad (1)$$

где  $B$  — концентрация щелочи в стоке,  $\text{кг/м}^3$ ;  $A$  — концентрация кислоты в сточной воде,  $\text{кг/м}^3$ ;  $q_B$  — удельный расход щелочи для нейтрализации стока,  $\text{кг/кг}$  (табл. 1. прил. 8);  $q_A$  — удельный расход кислоты,  $\text{кг/кг}$ .

Удельные расходы кислоты  $A$  и щелочи  $q_B$  друг с другом связаны следующим образом:

$$q_A = \frac{1}{q_B}. \quad (2)$$

Если отношение (2) больше единицы, то в общем стоке будет наблюдаться избыток щелочи. Соответственно при величине второго отношения больше единицы в стоке будет наблюдаться избыток кислоты.

Количество остаточной щелочи (или кислоты) определяется согласно выражениям:

$$\begin{aligned} B_{\text{ост}} &= B - B_{\text{н}}; \\ A_{\text{ост}} &= A - A_{\text{н}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $B_{\text{н}} = q_B A$  — нейтрализуемая часть щелочи;  $A_{\text{н}} = A B$  — нейтрализуемая часть кислоты.

При расчете нейтрализации путем смешивания стоков необходимо учитывать, что отношения (2) и формулы (3) и (4) применяются в том случае, когда смешиваются равные количества нейтрализуемых стоков.

При нейтрализации кислых сточных вод раствором щелочи-нейтрализатора необходимое для нейтрализации количество щелочи можно рассчитать по формуле

$$b = k \frac{100}{m} Q_A q_B A, \quad (4)$$

где  $b$  — расход щелочи-реагента, кг;  $k$  — коэффициент запаса по расходу реагента, принимаемый равным  $k = 1,1 — 1,5$ ;  $m$  — количество активной части реагента в товарном продукте, принимаемое равным  $m = 78 — 85 \%$ ;  $Q_A$  — количество нейтрализуемых кислых сточных вод, м<sup>3</sup>.

Для нейтрализации щелочного стока количество кислоты-нейтрализатора определяется по формуле

$$a = k \frac{100}{m} Q_B q_A B, \quad (5)$$

где  $a$  — расход кислоты, кг;  $Q_B$  — количество нейтрализуемых щелочных стоков.

При нейтрализации кислого стока в вертикальном фильтре с загрузкой из щелочного нейтрализующего материала общая высота загрузки определяется по формуле

$$H = ka^n (3 + \lg C_A) \sqrt{V}, \quad (6)$$

где  $H$  — высота загрузки, м;  $k$  — значение эмпирического коэффициента для доломита, принимаемое равным  $k = 0,62$  — для щелковского доломита или  $k = 1,31$  — для уральского доломита;  $n$  — эмпирический коэффициент,

принимаемый равным  $n = 1,47$ ;  $C_A$  — концентрация кислоты, г-эquiv./л ( $C_A = \alpha A$ , где  $A$  — концентрация кислоты в г/л ( $\text{кг/м}^3$ );  $\alpha = 0,0204$  — для серной,  $\alpha = 0,0277$  — соляной,  $\alpha = 0,0159$  — для азотной и  $\alpha = 0,0167$  — для уксусной кислот;  $v$  — скорость фильтрования, принимаемая равной  $v = 4$  —  $8$  м/ч;  $d$  — размер зерен загрузки, принимаемый равным  $d = 2$  —  $6$  мм.

Высоту  $h$  одного фильтра рекомендуется принимать не более  $1,5$  —  $1,8$  м, поэтому количество фильтров в технологической схеме определяется по формуле

$$n_{\Phi} = \frac{H}{h}. \quad (7)$$

Диаметр фильтра  $D$  рассчитывается по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}. \quad (8)$$

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями выполняемой работы.
2. Записать исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом задания (табл. 2 прил. 8).
3. Выбрать вариант технологии нейтрализации стоков (рис. с. 55) в зависимости от соотношения  $Q_A$  и  $Q_B$ . Нарисовать принятую схему технологии нейтрализации.
4. Пользуясь выражениями (2) — (4), рассчитать процесс нейтрализации при смешивании стоков: определить характер стока после смешивания и остаточную концентрацию кислоты  $A_{\text{ост}}$  или щелочи  $B_{\text{ост}}$ .
5. Пользуясь выражениями (5) или (6), рассчитать процесс нейтрализации раствором соответствующего нейтрализатора: определить общий расход  $b$  (или  $a$ ) реагента, а также расход реагента на  $1 \text{ м}^3$  сточной воды.
6. Пользуясь выражениями (6) — (8), рассчитать процесс нейтрализации сточной воды фильтрованием через нейтрализующие материалы: определить высоту фильтрующей загрузки  $H$ , количество фильтров  $n_{\Phi}$  и диаметр фильтра  $D$ .

7. Все расчеты и оформление работы осуществляются в строгом соответствии с примером расчета и оформления работы, который приводится далее.

### Пример расчета и оформления работы

*Исходные данные:*

$Q_A = 5,6 \text{ м}^3$ ;  $A = 2,6 \text{ г/м}^3$  —  $\text{HNO}_3$  ;

$Q_B = 2,4 \text{ м}^3$ ;  $B = 1,6 \text{ г/м}^3$  — кальцинированная сода.

Выбираем вариант технологии нейтрализации.

Так как  $Q_A > Q_B$ , то принимается первый вариант технологии нейтрализации (см. рис. на с. 55).

*Расчет первого этапа нейтрализации.*

Выполняется при смешивании стоков: смешивается весь объем щелочного стока  $Q_B = 2,4 \text{ м}^3$  с концентрацией щелочи  $B = 1,6 \text{ г/м}^3$  и с таким же количеством кислого стока  $Q'A = 2,4 \text{ м}^3$  с концентрацией кислоты  $A = 2,6 \text{ г/м}^3$ .

Отношение  $\frac{B}{Aq_B} = \frac{2,4}{2,6 \cdot 1,19} = 0,78$ . Значение  $q_B = 1,19$  принято по

табл. 1 прил. 8 для нейтрализации азотной кислоты раствором кальцинированной соды. Так как это отношение меньше единицы, то общий сток будет кислым. Остаточная концентрация кислоты составит

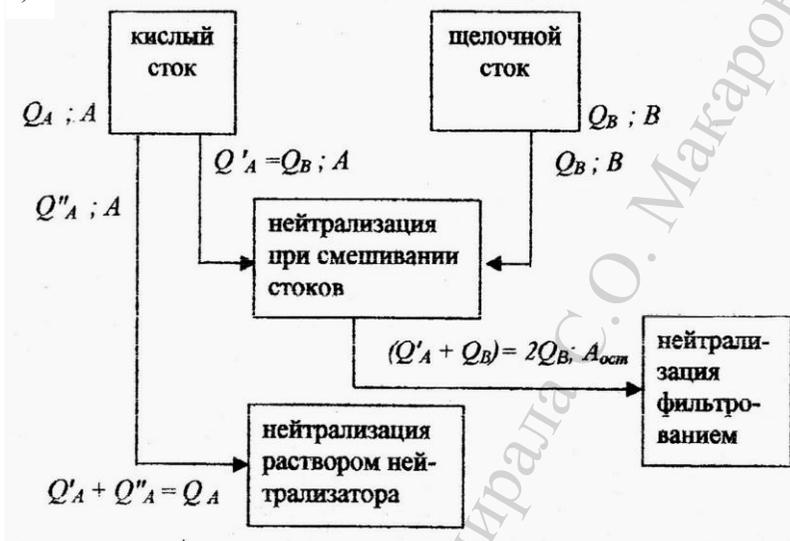
$$A_{\text{ост}} = A - A_n = 2,6 - 2,02 = 0,58 \text{ г/м}^3 ,$$

где  $A_n = q_A B = 0,84 \cdot 2,4 = 2,02 \text{ г/м}^3$ .

*Расчет второго этапа нейтрализации.*

Выполняется при фильтровании кислого стока объемом  $Q'A + Q_B = 2,4 + 2,4 = 4,8 \text{ м}^3$  и концентрацией  $A_{\text{ост}} = 0,58 \text{ г/м}^3$ .

а)



б)



Технология нейтрализации производственных стоков:  
 а — 1-й вариант технологии нейтрализации ( $Q_A > Q_B$ );  
 б — 2-й вариант технологии нейтрализации ( $Q_A < Q_B$ )

Высота фильтрующей загрузки

$$H = kd^n (3 + \lg C) \sqrt{v} = 0,62 \cdot 2^{1,47} (3 + \lg(0,0159 \cdot 0,58)) \sqrt{4} = 3,30 \text{ м.}$$

Принимаем количество фильтров  $n_{\phi} = 2$ , каждый высотой 3,30:  $2 = 1,65 \text{ м.}$

$$\text{Диаметр фильтра } D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,8}{\pi \cdot 4}} = 1,24 \text{ м.}$$

*Расчет третьего этапа нейтрализации.*

Выполняется фильтрованием кислого стока раствором щелочи нейтрализатора.

Объем нейтразуемого стока составляет  $Q''_A = Q_A - Q'_A = 5,6 - 2,4 = 3,2 \text{ м}^3$  с концентрацией кислоты  $A=2,6 \text{ г/м}^3$ .

Количество реагента-щелочи, которое необходимо для нейтрализации  $3,2 \text{ м}^3$  стока, составляет

$$b = k \frac{100}{m} Q_A q_B A = 1,2 \cdot \frac{100}{80} \cdot 3,2 \cdot 1,19 \cdot 2,6 = 14,8 \text{ кг.}$$

Для нейтрализации  $1 \text{ м}^3$  потребуется 4,64 кг нейтрализатора-щелочи — кальцинированной соды.

## Библиографический список

1. Опекунов А. Ю. Экологическое нормирование / А. Ю. Опекунов. — СПб.: ВНИИОкеанология, 2001.
2. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1993 г., измененная Протоколом 1978 г. к ней. МАРПОЛ 73/78: В 3-х кн. — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1994.
3. Наставление по предотвращению загрязнения с судов. РД 31.04.23-94. — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1994.
4. Правила по предотвращению загрязнения с судов. — СПб.: МРС, 1998.

# Приложение 1

## Таблица 1

Данные для расчета сбросов загрязняющих веществ

Характеристика стока	Вариант задания					
	1	2	3	4	5	6
Хозяйственно-бытовая сточная вода:						
$V$ , л/чел. сут	25	10	10	20	25	10
$N$ , чел.	200	400	350	450	220	1400
$\alpha$	0,8	0,9	0,7	0,6	0,85	0,6
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	350	400	450	300	360	200
$C_{\text{нитраты}}$ , мг/л	0,15	0,18	0,20	0,15	0,15	0,18
$C_{\text{СПАВ}}$ , мг/л	5,0	10,0	15,0	8,0	6,0	4,2
Технологическая сточная вода:						
$L$ , л/ч	1000	800	1200	950	1050	780
$\alpha$	0,8	0,9	0,6	0,8	1,0	0,95
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	500	600	650	520	450	360
$C_{FE}$ , мг/л	50	60	50	55	35	60
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	120	125	75	65	85	62,5
Ливневый сток						
$i$ , мм/сут	5,0	4,5	2,0	6,5	15,0	8,5
$F_{\text{асф.д.}}$ , га	2,1	1,8	0,5	1,2	1,1	0,9
$F_{\text{шеб.д.}}$ , га	0,1	0,2	0,1	0,6	0,1	0,1
$F_{\text{газ.}}$ , га	4,6	5,2	6,8	4,8	4,6	3,2
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	350	450	620	520	250	450
$C_{FE}$ , мг/л	0,4	0,8	1,0	0,6	0,35	0,6
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	2,0	5,0	10,0	8,4	3,0	7,5
$\alpha$	0,8	0,9	0,95	1,0	0,95	1,0
Данные для расчета $ED1$	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. веществ а в хоз.-быт. и техн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке
Данные для расчета $ED2$	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Ливн. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток

Продолжение табл. 1 прил. 1

Характеристика стока	Вариант задания					
	7	8	9	10	11	12
Хозяйственно-бытовая сточная вода:						
$V$ , л/чел. сут	10	20	15	20	10	50
$N$ , чел.	750	150	1200	280	1350	150
$\alpha$	0,5	1,0	0,4	1,0	0,35	0,8
$C_{взв.в.}$ , мг/л	320	360	150	280	250	260
$C_{нитраты}$ , мг/л	0,2	0,15	0,15	0,18	0,2	0,15
$C_{СПАВ}$ , мг/л	8,5	4,0	1,6	12,0	5,0	18,0
Технологическая сточная вода:						
$L$ , л/ч	920	1150	1600	640	1600	1950
$\alpha$	0,75	0,50	0,6	0,85	0,4	0,5
$C_{взв.в.}$ , мг/л	550	320	250	460	380	120
$C_{FE}$ , мг/л	50	45	25	36	75	25
$C_{н/пр}$ , мг/л	38	45,0	20	85	50	45
Ливневый сток						
$i$ , мм/сут	4,0	2,5	6,8	4,5	2,8	4,5
$F_{асф.д.}$ , га	0,85	1,1	1,1	1,2	1,5	2,2
$F_{шеб.д.}$ , га	0,05	0,2	0,15	0,3	0,1	1,6
$F_{газ.}$ , га	2,8	1,8	2,6	4,2	2,8	3,6
$C_{взв.в.}$ , мг/л	420	120	650	350	420	120
$C_{FE}$ , мг/л	1,2	0,8	0,3	0,6	1,2	0,86
$C_{н/пр}$ , мг/л	12,0	18,4	4,6	6,0	12,0	12,4
$\alpha$	0,85	1,0	0,65	0,8	0,9	0,75
Данные для расчета $ED1$	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке
Данные для расчета $ED2$	Хоз.-быт. Сток	Ливн. Сток	Хоз.-быт. Сток	Хоз.-быт. Сток	Хоз.-быт. сток	Ливн. сток

Продолжение табл. 1 прил. 1

Характеристика стока	Вариант задания					
	13	14	15	16	17	18
Хозяйственно-бытовая сточная вода:						
$V$ , л/чел. сут	45	70	75	20	15	10
$N$ , чел.	1200	420	650	450	1220	1400
$\alpha$	0,4	1,0	0,5	0,8	0,45	0,45
$C_{взв.в.}$ , мг/л	150	220	365	200	240	260
$C_{нитраты}$ , мг/л	0,15	0,18	0,20	0,15	0,15	0,18
$C_{СПАВ}$ , мг/л	2,5	6,4	12,0	4,2	2,8	6,2
Технологическая сточная вода:						
$L$ , л/ч	1250	640	1050	550	1540	680
$\alpha$	1,0	0,95	0,6	0,8	0,6	1,0
$C_{взв.в.}$ , мг/л	250	260	345	320	250	280
$C_{FE}$ , мг/л	15,0	23,6	25	6,5	15	46
$C_{н/пр}$ , мг/л	2,0	2,5	5,0	4,5	4,8	5,6
Ливневый сток						
$i$ , мм/сут	6,5	8,5	2,0	6,5	5,0	4,5
$F_{асф.д.}$ , га	1,4	0,8	1,5	1,2	1,6	0,8
$F_{щеб.д.}$ , га	0,1	0,1	0,2	0,4	1,1	0,1
$F_{газ.}$ , га	3,6	2,2	4,8	2,8	2,6	2,2
$C_{взв.в.}$ , мг/л	150	250	320	220	250	380
$C_{FE}$ , мг/л	0,2	0,6	0,8	0,4	0,36	0,56
$C_{н/пр}$ , мг/л	4,6	3,6	8,0	8,4	2,8	12,5
$\alpha$	0,75	0,6	0,95	1,0	0,8	1,0
Данные для расчета $ED1$	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке
Данные для расчета $ED2$	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	ливн. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток

Продолжение табл.1 прил. 1

Характеристика стока	Вариант задания					
	19	20	21	22	23	24
Хозяйственно-бытовая сточная вода:						
$V$ , л/чел. сут	45	20	15	10	25	50
$N$ , чел.	350	250	1200	1280	1300	350
$\alpha$	0,5	1,0	0,4	0,6	0,35	0,5
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	120	160	250	380	150	260
$C_{\text{нитраты}}$ , мг/л	0,2	0,15	0,15	0,18	0,20	0,15
$C_{\text{СПАВ}}$ , мг/л	4,5	2,0	4,6	2,0	2,6	8,0
Технологическая сточная вода:						
$L$ , л/ч	1620	145	600	840	1200	150
$\alpha$	0,65	1,0	0,8	0,45	0,45	0,9
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	230	420	425	460	280	180
$C_{\text{FE}}$ , мг/л	38	54	25	36	75	25
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	2,5	4,8	12	4,8	3,6	4,5
Ливневый сток						
$i$ , мм/сут	6,4	3,8	9,8	6,5	3,8	4,5
$F_{\text{асф.д.}}$ , га	0,75	0,1	1,8	2,2	1,6	2,6
$F_{\text{щеб.д.}}$ , га	0,15	0,02	1,5	0,3	0,1	0,6
$F_{\text{газ.}}$ , га	0,8	0,8	2,6	4,2	1,8	3,6
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	460	280	340	380	320	420
$C_{\text{FE}}$ , мг/л	1,2	0,6	0,2	0,55	1,6	0,6
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	2,0	8,4	5,6	6,0	2,0	2,4
$\alpha$	0,65	0,9	0,35	0,6	0,8	0,75
Данные для расчета $ED1$	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте прод. в техн. и ливн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке
Данные для расчета $ED2$	Хоз.-быт. сток	Ливн. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-Быт. Сток	Ливн. Сток

Характеристика стока	Вариант задания					
	25	26	27	28	29	30
Хозяйственно-бытовая сточная вода:						
$V$ , л/чел. сут	15	20	45	20	15	25
$N$ , чел.	1100	620	680	350	220	400
$\alpha$	0,45	1,0	0,6	0,75	1,0	0,45
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	250	220	265	240	460	360
$C_{\text{нитраты}}$ , мг/л	0,15	0,18	0,20	0,15	0,15	0,18
$C_{\text{СПАВ}}$ , мг/л	4,5	4,4	14,0	4,8	1,8	4,2
Технологическая сточная вода:						
$L$ , л/ч	450	840	480	750	540	280
$\alpha$	1,0	0,9	0,8	0,6	0,8	1,0
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	350	360	445	380	280	480
$C_{\text{FE}}$ , мг/л	40	16	25	65	15	46
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	2,4	1,5	2,4	4,2	4,2	5,2
Ливневый сток						
$i$ , мм/сут						
$F_{\text{асф.д.}}$ , га	7,5	4,5	3,2	2,5	4,0	3,5
$F_{\text{щеб.д.}}$ , га	1,4	0,8	1,5	0,2	1,8	0,6
$F_{\text{газ.}}$ , га	0,18	0,1	0,2	0,4	1,2	0,1
$C_{\text{взв.в}}$ , мг/л	3,8	2,2	4,8	1,8	2,6	2,2
$C_{\text{FE}}$ , мг/л	340	450	320	420	250	380
$C_{\text{н/пр}}$ , мг/л	0,12	0,46	0,8	0,4	0,36	0,56
$\alpha$	5,6	3,8	6,0	2,4	2,8	12,5
	0,75	0,4	0,5	1,0	0,8	0,9
Данные для расчета $ED1$	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Взвеш. вещества в хоз.-быт. и техн. стоке	Железо в техн. и ливн. стоке	Нефте-прод. в техн. и ливн. стоке
Данные для расчета $ED2$	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток	Ливн. сток	Хоз.-быт. сток	Хоз.-быт. сток

Таблица 2 прил. 1

## Значение ПДС загрязняющих веществ

Категории сточных вод и наименование вещества	Значения ПДС, г/с
Хозяйственно-бытовая сточная вода: взвешенные вещества нитраты СПАВ	0,014 $18,6 \cdot 10^{-6}$ $4,6 \cdot 10^{-4}$
Технологическая сточная вода: взвешенные вещества железо нефтепродукты	0,12 0,0135 0,03
Ливневый сток: взвешенные вещества железо нефтепродукты	0,52 $0,64 \cdot 10^{-3}$ $4,8 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3 прил. 1

## Класс опасности веществ

(взвеш. вещества в хоз.-бытовом, техническом и ливневом стоке)

Наименование вещества	Класс опасности
Взвешенные вещества	4
Железо	3
Нитраты	4
СПАВ	3
Нефтепродукты	1

## Приложение 2

Данные для расчета сброса загрязняющих веществ с судов

Сведения о мощности СЭУ, типе судна и др. информация	Варианты задания							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Категория судна по автономности плавания	1	2	3	1	2	3	1	2
Тип судна	T	T	П	T	T	П	ПК	T
Численность команды и пассажиров, чел.	7	8	360	11	5	240	37	6
Мощность СЭУ, л.с.	600	450	2000	2000	850	1500	800	500
Производительность установки для очистки хоз.-быт. сточной воды, м <sup>3</sup> /ч	2,0	–	5,0	3,0	–	4,0	1,0	–
Производительность установки для очистки подсланевой воды, м <sup>3</sup> /ч	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	1,2	0,5	0,2
Условия сброса хоз.-быт. сточной воды	+	–	+	+	–	+	+	–
Условия сброса НПВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ

Сведения о мощности СЭУ, типе судна и др. информация	Варианты задания							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Категория судна по автономности плавания	1	2	3	1	2	3	1	2
Тип судна	Т	ПК	П	Т	Т	П	Т	Т
Численность команды и пассажиров, чел.	6	39	280	4	7	420	3	5
Мощность СЭУ, л.с.	500	1400	1500	500	1250	2500	300	800
Производительность установки для очистки хоз.-быт. сточной воды, м <sup>3</sup> /ч	-	-	5,0	-	1,2	3,5	-	-
Производительность установки для очистки подсланевой воды, м <sup>3</sup> /ч	0,1	0,2	0,25	0,15	0,1	0,5	0,1	0,2
Условия сброса хоз.-быт. сточной воды	-	-	+	-	+	+	-	-
Условия сброса НПВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ

Сведения о мощности СЭУ, типе судна и др. информация	Варианты задания							
	17	18	19	20	21	22	23	24
Категория судна по автономности плавания	1	2	3	1	2	3	1	2
Тип судна	Т	П	ПК	П	Т	ПК	Т	Т
Численность команды и пассажиров, чел.	9	220	54	320	7	62	8	9
Мощность СЭУ, л.с.	780	1450	2000	2000	850	1500	800	920
Производительность установки для очистки хоз.-быт. сточной воды, м <sup>3</sup> /ч	2,5	-	-	3,0	-	-	1,2	0,5
Производительность установки для очистки подсланевой воды, м <sup>3</sup> /ч	0,2	0,5	0,1	0,5	0,2	0,1	0,4	0,5
Условия сброса хоз.-быт. сточной воды	+	-	-	+	-	-	+	+
Условия сброса НПВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ

Сведения о мощности СЭУ, типе судна и др. информация	Варианты задания							
	25	26	26	27	28	29	30	31
Категория судна по автономности плавания	1	2	3	1	2	3	1	2
Тип судна	Т	Т	ПК	П	Т	ПК	П	Т
Численность команды и пассажиров, чел.	11	9	54	380	9	76	460	7
Мощность СЭУ, л.с.	1500	1000	1500	2500	1250	2500	3200	800
Производительность установки для очистки хоз.-быт. сточной воды, м <sup>3</sup> /ч	3,5	4,0	–	5,5	2,0	–	6,0	–
Производительность установки для очистки подсланевой воды, м <sup>3</sup> /ч	0,5	0,2	0,1	1,0	0,1	0,1	0,75	0,2
Условия сброса хозяйственно-бытовой сточной воды	+	+	–	+	+	–	+	–
Условия сброса НПВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ	ВВ	В море	ВВ

Примечания: Т — транспортные суда;

ПК — суда на подводных крыльях;

П — пассажирское судно;

+ — вода, сбрасываемая после очистки;

– — вода, сбрасываемая без очистки;

ВВ — вода, сбрасываемая на внутренних водных путях.

Приложение 3

Таблица 1

Данные для расчета ED1 и ED2

Вариант задания	Режим работы объекта	Данные для расчета ED1	Данные для расчета ED2
1	1	твердые частицы, источники № 1, 8, 6	источник №1
2	2	твердые частицы, источники № 1, 8, 6	источник №1
3	3	твердые частицы, источники № 1, 8, 6	источник № 1
4	4	твердые частицы, источники № 1, 8, 6	источник № 1
5	1	окислы углерода, источники — № 2, 5, 4	источник № 2
6	2	окислы азота, источники № 2, 5, 4	источник №2
7	3	окислы азота, источники № 2, 5, 4	источник № 2
8	4	окислы углерода, источники № 2, 5, 4	источник № 2
9	1	твердые частицы, источники № 3, 7, 9	источник № 3
10	2	твердые частицы, источники № 3, 7, 9	источник № 3
11	3	твердые частицы, источники № 3, 7, 9	источник № 3
12	4	твердые частицы, источники № 3, 7, 9	источник № 3
13	1	твердые частицы, источники № 18, 11, 16	источник № 11
14	2	твердые частицы, источники № № 18, 11, 16	источник № 11
15	3	твердые частицы, источники № № 18, 11, 16	источник № 11
16	4	твердые частицы, источники № 18, 11, 16	источник № 11
17	1	окислы азота, источники № 12, 15, 10	источник № 12
18	2	окислы углерода, источники № 12, 15, 10	источник № 12
19	3	окислы азота, источники № 12, 15, 10	источник № 12
20	4	окислы углерода, источники № 12, 15, 10	источник № 12
21	1	твердые частицы, источники № 13, 14, 17	источник № 13
22	2	твердые частицы, источники № 13, 14, 17	источник № 13
23	3	твердые частицы, источники № 13, 14, 17	источник № 13
24	4	твердые частицы, источники № 13, 14, 17	источник № 13
25	1	твердые частицы, источники № 12, 19, 20	источник № 12
26	2	твердые частицы, источники № 12, 19, 20	источник № 12
27	3	твердые частицы, источники № 12, 19, 20	источник № 12
28	4	твердые частицы, источники № 12, 19, 20	источник № 12
29	1	окислы углерода, источники № 3, 5, 14	источник № 3
30	2	окислы азота, источники № 3, 5, 14	источник № 3
31	3	окислы азота, источники № 3, 5, 14	источник № 3
32	4	окислы углерода, источники № 3, 5, 14	источник № 3

Таблица 2 прил. 3

Данные для расчета выбросов загрязняющих веществ

Номер и наименование источника	Режим работы объекта			
	1	2	3	4
1	2	3	4	5
№ 1. Дымовая труба литейного цеха (сжигание жидкого топлива)	$B = 0,05$ кг/с моторное топливо $\eta = 0,2$ $\eta' = 0$ $\eta'' = 0,1$ $\beta = 0$ $V = 0,25$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,01$ кг/с мазут $\eta = 0,1$ $\eta' = 0$ $\eta'' = 0,2$ $\beta = 0,3$ $V = 0,15$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,02$ кг/с дизельное топливо $\eta = 0,2$ $\eta' = 0,2$ $\eta'' = 0,3$ $\beta = 0,2$ $V = 0,20$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,005$ кг/с моторное топливо $\eta = 0$ $\eta' = 0,1$ $\eta'' = 0,4$ $\beta = 0,1$ $V = 0,10$ м <sup>3</sup> /с
№ 2. Дымовая труба горна кузнницы (газоочистка отсутствует)	$B = 1,5$ г/с $V = 0,05$ м <sup>3</sup> /с кузнцкий уголь	$B = 1,0$ г/с $V = 0,0405$ м <sup>3</sup> /с карагандинский уголь	$B = 0,75$ $V = 0,03505$ м <sup>3</sup> /с Канско-ачинский уголь	$B = 0,5$ $V = 0,03$ м <sup>3</sup> /с кузнцкий уголь
№ 3. Дымовая труба котельной (газоочистка отсутствует; в котельной используется тот же уголь, что и на объекте № 2)	$B = 15$ г/с $V = 0,15$ м <sup>3</sup> /с	$B = 20$ г/с $V = 0,175$ м <sup>3</sup> /с	$B = 25$ г/с $V = 0,20$ м <sup>3</sup> /с	$B = 7,5$ г/с $V = 0,075$ м <sup>3</sup> /с
№ 4. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (сварочные аппараты)	$B = 3$ кг/ч УОНИ 13/45	$B = 1,5$ кг/ч УОНИ 13/55	$B = 2,0$ кг/ч ОЗС-3	$B = 2,0$ кг/ч ОЗС-4
№ 5. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (газорезка)	Сталь углеродистая $t = 5$ мм	Сталь углеродистая $t = 10$ мм	Сталь углеродистая $t = 5$ мм	Сталь углеродистая $t = 5$ мм

Продолжение табл. 2 прил. 3

1	2	3	4	5
№ 6. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (покраска)	$B = 1,5$ кг/ч распыление пневматическое	$B = 1,0$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 1,2$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 1,5$ кг/ч распыление пневматическое
№ 7. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (покраска)	$B = 1,5$ кг/ч распыление пневматическое	$B = 1,0$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 0,75$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 1,0$ кг/ч распыление безвоздушное
№ 8. Вентиляционная вытяжка с циклоном из деревоцепа (степень очистки 0,8)	СФ-3	ЦПА-40	Ц-6	СФ-3
№ 9. Слип (сварочные работы)	$B = 1,5$ кг/ч	$B = 3,0$ кг/ч	$B = 4,5$ кг/ч	$B = 2,5$ кг/ч
№ 10. Караван судов (покраска)	$B = 1,5$ кг/ч	$B = 3,0$ кг/ч	$B = 2,5$ кг/ч	$B = 1,0$ кг/ч
№ 11. Дымовая труба литейного цеха (сжигание жидкого топлива)	$B = 0,02$ кг/с мазут $\eta' = 0,3$ $\eta'' = 0$ $\beta = 0$ $V = 0,25$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,04$ кг/с дизельноотопливо $\eta' = 0,1$ $\eta'' = 0,4$ $\beta = 0$ $V = 0,35$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,065$ кг/с мазут $\eta' = 0$ $\eta'' = 0,3$ $\beta = 0$ $V = 0,5$ м <sup>3</sup> /с	$B = 0,008$ кг/с моторное топливо $\eta' = 0,2$ $\eta'' = 0,2$ $\beta = 0$ $V = 0,15$ м <sup>3</sup> /с
№ 12. Дымовая труба горна кузнницы (газоочистка отсутствует)	$B = 1,0$ г/с $V = 0,04$ м <sup>3</sup> /с карагадинский уголь	$B = 1,5$ г/с $V = 0,05$ м <sup>3</sup> /с канско-ачинский уголь	$B = 0,5$ г/с $V = 0,03$ м <sup>3</sup> /с кузнецкий уголь	$B = 1,5$ г/с $V = 0,05$ м <sup>3</sup> /с канско-ачинский уголь

Продолжение табл. 2 прил. 3

1	2	3	4	5
№ 13. Дымовая труба котельной (газоочистка отсутствует, используется то же угло, что и на объекте № 12)	$B = 12,5 \text{ г/с}$ $V = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$	$B = 15 \text{ г/с}$ $V = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$	$B = 25 \text{ г/с}$ $V = 0,20 \text{ м}^3/\text{с}$	$B = 20 \text{ г/с}$ $V = 0,17 \text{ м}^3/\text{с}$
№ 14. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (сварочные аппараты)	$B = 1,50 \text{ кг/ч}$ УОНИ 13/45	$B = 0,75 \text{ кг/ч}$ ОЗС-4	$B = 1,25 \text{ кг/ч}$ УОНИ 13/55	$B = 1,5 \text{ кг/ч}$ ОЗС-3
№ 15. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (газорезка)	сталь углеродистая $t = 10 \text{ мм}$	сталь углеродистая $t = 5 \text{ мм}$	сталь углеродистая $t = 10 \text{ мм}$	сталь углеродистая $t = 5 \text{ мм}$
№ 16. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (покраска)	$B = 0,75 \text{ кг/ч}$ распыление пневматическое	$B = 1,75 \text{ кг/ч}$ распыление безвоздушное	$B = 1,5 \text{ кг/ч}$ распыление пневматическое	$B = 0,5 \text{ кг/ч}$ распыление безвоздушное
№ 17. Вентиляционная вытяжка из КСЦ (покраска)	$B = 1,5 \text{ кг/ч}$ распыление безвоздушное	$B = 1,5 \text{ кг/ч}$ распыление пневматическое	$B = 1,0 \text{ кг/ч}$ распыление безвоздушное	$B = 1,25 \text{ кг/ч}$ распыление пневматическое
№ 18. Вентиляционная вытяжка с циклоном из деревообраб. цеха (степень очистки 0,8)	ЦПА-40	СФ-6	Ц-6	СФ-3

## Окончание табл. 2 прил. 3

1	2	3	4	5
№ 19. Караван судов (покраска)	$B = 2,0$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 2,5$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 3,0$ кг/ч распыление безвоздушное	$B = 2,5$ кг/ч распыление безвоздушное
№ 20. Слип (сварочные работы)	$B = 1,5$ кг/ч ОЗС-4	$B = 2,5$ кг/ч УОНИ 13/45	$B = 2,0$ кг/ч УОНИ 13/55	$B = 3,0$ кг/ч ОЗС-3

Таблица 3 прил. 3

Значение ПДВ для расчета коэффициентов  $ED1$  и  $ED2$   
и класс опасности веществ

Вещество и класс его опасности	Значение ПДВ, г/с
Твердые частицы — 3	0,085
Окислы серы — 3	0,18
Окислы углерода — 4	$0,28 \cdot 10^{-3}$
Окислы азота — 2	0,024
окислы марганца — 2	$0,45 \cdot 10^{-3}$

## Приложение 4

Данные для расчета выброса загрязняющих веществ

Наименование показателя	Вариант задания							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход топлива в СЭУ, т/ч	0,2	0,4	1,0	1,2	0,6	0,8	0,4	0,8
Количество вентиляционного воздуха, м <sup>3</sup> /ч: жилые помещения машинное отделение	10	12	20	22	18	20	12	18
	10	20	40	48	25	30	20	36
Наименование показателя	Вариант задания							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Расход топлива в СЭУ, т / ч	0,3	0,5	1,2	0,8	0,4	1,0	0,6	0,4
Количество вентиляционного воздуха, м <sup>3</sup> /ч: жилые помещения машинное отделение	18	10	22	12	18	10	20	20
	20	25	48	25	25	20	36	40
Наименование показателя	Вариант задания							
	17	18	19	20	21	22	23	24
Расход топлива в СЭУ, т / ч	0,4	0,6	0,2	0,8	0,3	1,2	0,8	0,6
Количество вентиляционного воздуха, м <sup>3</sup> /ч: жилые помещения машинное отделение	16	7,8	12	12	8,2	12	24	18
	24	18	8,6	25	18	20	28	36
Наименование показателя	Вариант задания							
	25	26	27	28	29	30	31	32
Расход топлива в СЭУ, т / ч	0,8	1,6	1,2	0,8	0,4	1,4	1,8	1,6
Количество вентиляционного воздуха, м <sup>3</sup> /ч: жилые помещения машинное отделение	26	2,8	16	18	18	24	12	18
	14	28	18	22	12	26	18	26

## Приложение 5

### Варианты заданий

**Задание № 1.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	0,5	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5	7,0	8,0	8,5
$C$ , мг/л	3,5	2,0	1,70	1,75	1,72	1,75	1,56	1,6	1,55	1,65	1,5	1,56

Найти аналитический вид зависимости  $C = C(t)$  и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 2.** Эффективность коагуляции определяется концентрацией загрязняющих веществ в объеме очищаемой воды, что напрямую зависит от дозы коагулянта. Полученные значения концентрации веществ  $C$ , мг/л, при дозах коагулянта  $D_K$ .

$D_K$	1,0	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,5	7,2	8,0	9,5	10,8	11,1	12,3
$C$ , мг/л	12,5	11,0	9,0	6,8	6,0	5,5	4,5	4,0	2,0	2,5	1,5	1,0	1,5

Найти аналитический вид зависимости  $C = C(D_K)$  и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 3.** При исследовании эффективности процесса флотации были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, в течение времени процесса  $t$ , ч.

$t$ , ч	1,0	1,5	2,0	3,5	4,9	5,5	6,0	7,2	8,0	9,5	10,0	11,5	12,0	130
$C$ , мг/л	7,5	6,5	7,0	4,0	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	3,0	2,5	3,0	2,4	2,5

Найти аналитический вид зависимости  $C = C(t)$  и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 4.** Зависимость показаний прибора  $U_{пр}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлены ниже. Определить вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{пр}$	1,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	5,5	6,5	7,5	8,0	9,0	10,5	11,0	12,5
$C$ , мг/л	3,5	4,0	4,0	5,5	5,0	6,5	7,5	7,5	7,0	8,5	9,9	9,0	10,0	11,5

**Задание № 5.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  с увеличением в  $n$  раз степени очистки меняется в соответствии с указанной в таблице зависимостью.

$n, ч$	0,2	0,8	1,5	1,9	2,4	2,9	3,0	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9
$P$	0,5	1,2	2,0	2,0	3,5	3,1	5,0	7,0	6,1	9,6	8,0	13,0

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 6.** Произведены измерения концентрации загрязненных веществ в воде водоема  $C$ , мг/л, в зависимости от места сброса  $L$ , м.

$L, м.$	1,6	2,5	3,6	4,8	5,6	6,4	7,5	8,5	9,8	10,6	11,5	12,4	13,5
$C, мг/л$	7,0	5,0	4,1	3,5	3,0	2,8	2,5	2,0	1,9	2,0	1,4	1,1	1,3

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболическая).

**Задание № 7.** При исследовании работы адсорбционного фильтра его адсорбционная способность  $A$ , мг/л, за время работы  $t$ , ч, уменьшалась в соответствии с нижеприведенными данными.

$t, ч$	0,4	0,7	1,0	1,5	2,2	2,8	3,6	4,3	5,0	5,9	6,2	7,0	8,0	8,7
$A, мг/л$	3,1	2,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	0,8	0,7	0,6	0,1	0,3	0,1	0,1

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 8.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  возрастает с увеличением в  $n$  раз степени очистки в соответствии с указанной в таблице зависимостью.

$n$	0,5	1,0	2,0	2,4	3,5	4,2	5,0	5,9	6,1	7,0	7,8	8,9
$P$	0,2	0,5	1,0	1,4	1,5	2,5	2,8	4,0	6,0	6,2	10,5	12,0

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 9.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,5	7,2	8,0	9,5	10,8	11,1	12,3	13,5
$C$ , мг/л	11,0	9,0	6,8	6,0	5,5	4,5	4,0	2,0	2,5	1,5	1,0	1,5	1,4

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 10.** Зависимость показаний прибора  $U_{\text{пр}}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлена в таблице. Определить аналитический вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{\text{пр}}$	0,4	1,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0	7,0	7,5	8,5	9,5	10,1	11,0	12,5
$C$ , мг/л	3,0	3,5	4,5	5,0	5,0	6,5	5,8	7,5	7,5	8,5	8,0	9,5	10,0	10,5

**Задание № 11.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  возрастает с увеличением в  $n$  раз степени очистки в соответствии с указанной в таблице зависимостью.

$n$	0,4	0,8	1,4	1,9	2,1	2,5	2,9	3,4	3,6	3,9	4,1	4,5
$P$	0,2	0,3	0,9	2,0	3,5	4,0	4,7	7,1	9,2	5,5	9,0	10,2

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 12.** Произведены измерения концентрации загрязненных веществ в воде водоема  $C$ , мг/л, в зависимости от удаления места сброса  $L$ , м.

$L$ , м	0,2	1,5	2,5	3,0	3,9	4,4	5,9	6,6	7,9	8,6	9,9	10,3	11,0
$C$ , мг/л	10,7	8,0	6,4	5,1	5,0	4,0	2,7	2,0	1,8	1,6	1,1	0,7	0,6

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 13.** При исследовании работы адсорбционного фильтра его адсорбционная способность  $A$ , мг/л, за время работы  $t$ , ч, уменьшалась в соответствии с нижеприведенными данными.

$t$ , ч	0,5	0,8	1,1	1,6	2,4	2,9	3,7	4,4	5,1	5,9	6,3	7,1	8,1	8,8
$A$ , мг/л	3,1	2,5	2,3	1,8	1,4	1,3	1,2	0,8	0,7	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 14.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	1,5	2,0	2,8	4,0	4,5	5,5	6,5	7,5	8,8	9,5	10,5	11,5	13,0
$C$ , мг/л	14,0	11,0	8,1	7,0	6,1	5,2	4,3	4,2	4,0	3,8	3,9	3,5	3,4

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 15.** Зависимость показаний прибора  $U_{\text{пр}}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлены ниже. Определить аналитический вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{\text{пр}}$	0,5	1,0	2,0	2,5	3,5	4,5	5,0	6,5	7,5	8,2	9,5	10,5	12,0	12,5
$C$ , мг/л	5,5	6,0	6,0	7,5	7,0	8,5	8,5	9,5	9,0	10,5	11,0	11,5	11,0	13,0

**Задание № 16.** При исследовании эффективности процесса флотации были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, в течение времени процесса  $t$ , ч. Данные экспериментальных измерений указаны ниже.

$t$ , ч	1,0	1,5	2,0	3,5	4,9	5,5	6,0	7,2	8,0	9,0	10,0	11,5	12,0
$C$ , мг/л	11,0	9,5	7,0	5,5	4,6	4,5	3,5	4,0	3,8	3,0	2,5	3,0	2,4

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 17.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	0,5	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5	7,0	8,0	8,5	9,5
$C$ , мг/л	2,5	2,0	1,7	1,75	1,72	1,73	1,56	1,6	1,55	1,65	1,5	1,56	1,45

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 18.** Зависимость показаний прибора  $U_{\text{пр}}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлены ниже. Определить аналитический вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{\text{пр}}$	1,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	5,5	6,5	7,5	8,0	9,0	10,5	11,0	12,5
$C$ , мг/л	3,5	4,0	4,0	5,5	5,0	6,5	7,5	7,5	7,0	8,5	9,0	9,0	10,0	11,5

**Задание № 19.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  возрастает с увеличением в  $n$  раз степени очистки в соответствии с указанной ниже зависимостью.

$n$	0,2	0,8	1,5	1,9	2,4	2,9	3,0	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9
$P$	0,5	1,2	2,0	2,0	3,5	3,1	5,0	7,0	6,1	9,6	8,0	13,0

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 20.** Произведены измерения концентрации загрязненных веществ в воде водоема  $C$ , мг/л, в зависимости от удаления места сброса  $L$ , м.

$L$ , м	0,5	1,6	2,5	3,6	4,8	5,6	6,4	7,5	8,5	9,8	10,6	11,5	12,4
$C$ , мг/л	10,0	9,0	6,5	5,1	4,9	4,0	3,8	3,1	2,6	2,4	2,0	1,4	1,1

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — показательный).

**Задание № 21.** При исследовании работы адсорбционного фильтра его адсорбционная способность  $A$ , мг/л, за время работы  $t$ , ч, уменьшалась в соответствии с нижеприведенными данными.

$t$ , ч	0,4	0,7	1,0	1,5	2,2	2,8	3,6	4,3	5,0	5,9	6,2	7,0	8,0	8,7
$A$ , мг/л	3,1	2,5	2,3	1,8	1,4	1,3	1,2	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 22.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  возрастает с увеличением в  $n$  раз степени очистки в соответствии с указанной ниже зависимостью.

$n$	0,5	1,2	2,0	2,4	3,5	4,2	5,0	5,9	6,1	7,0	7,8	8,9
$P$	0,2	0,5	1,2	1,4	1,5	2,5	2,8	4,0	6,0	6,2	10,5	12,0

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 23.** Зависимость показаний прибора  $U_{\text{пр}}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлены ниже. Определить аналитический вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{\text{пр}}$	0,4	1,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0	7,0	7,5	8,5	9,5	10,1	11,0	12,5
$C$ , мг/л	3,0	3,5	4,5	5,0	5,0	6,5	5,8	7,5	7,5	8,5	8,0	9,5	10,0	10,5

**Задание № 24.** Стоимость очистки в условных денежных единицах  $P$  возрастает с увеличением в  $n$  раз степени очистки в соответствии с указанной ниже зависимостью:

$P$	0,4	0,8	1,4	1,9	2,1	2,5	2,9	3,4	3,6	3,9	4,1	4,5
$n$	0,2	0,3	0,9	2,0	3,5	4,0	4,7	7,1	9,2	5,5	9,0	10,2

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 25.** Произведены измерения концентрации загрязненных веществ в воде водоема  $C$ , мг/л, в зависимости от удаления места сброса  $L$ , м.

$L$ , м	0,2	1,5	2,5	3,0	3,9	4,4	5,9	6,6	7,9	8,6	9,9	10,3	11,0
$C$ , мг/л	8,7	8,0	6,4	5,1	5,0	4,0	2,7	2,0	1,8	1,6	1,1	0,7	0,6

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — показательный).

**Задание № 26.** При исследовании работы адсорбционного фильтра его адсорбционная способность  $A$ , мг/л, за время работы  $t$ , ч, уменьшалась в соответствии с нижеприведенными данными.

$t$ , ч	0,5	0,8	1,1	1,6	2,4	2,9	3,7	4,4	5,1	5,9	6,3	7,1	8,1	8,8
$A$ , мг/л	4,1	3,5	3,3	2,8	2,4	2,3	2,2	1,8	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — степенной).

**Задание № 27.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	1,5	2,0	2,8	4,0	4,5	5,5	6,5	7,5	8,8	9,5	10,5	11,5	13,0
$C$ , мг/л	14,0	11,0	8,1	7,0	6,1	5,2	4,3	4,2	4,0	3,8	3,9	3,5	3,4

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 28.** Зависимость показаний прибора  $U_{\text{пр}}$  для определения концентрации  $C$ , мг/л, загрязняющих веществ в потоке жидкости от величины концентрации представлены ниже. Определить аналитический вид этой зависимости (предполагаемый вид зависимости — линейный) и построить ее график.

$U_{\text{пр}}$	0,5	1,0	2,0	2,5	3,5	4,5	5,0	6,5	7,5	8,2	9,5	10,5	12,0	12,5
$C$ , мг/л	5,5	6,0	6,0	7,5	7,0	8,5	8,5	9,5	9,0	10,5	11,0	11,5	11,0	13,0

**Задание № 29.** При исследовании работы отстойного устройства были получены следующие значения концентрации взвешенных веществ  $C$ , мг/л, за время работы устройства  $t$ , ч.

$t$ , ч	1,0	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,5	7,2	8,0	9,5	10,8	11,1	12,3
$C$ , мг/л	12,5	11,0	9,0	6,8	6,0	5,5	4,5	4,0	2,0	2,5	1,5	1,0	1,5

Найти аналитический вид данной зависимости и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

**Задание № 30.** Эффективность коагуляции определяется концентрацией загрязняющих веществ в объеме очищаемой воды, что напрямую зависит от дозы коагулянта. Полученные значения концентрации веществ  $C$ , мг/л, при дозах коагулянта  $D_K$ .

$D_K$	1,0	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,5	7,2	8,0	9,5	10,8	11,1	12,3
$C$ , мг/л	12,5	11,0	9,0	6,8	6,0	5,5	4,5	4,0	2,0	2,5	1,5	1,0	1,5

Найти аналитический вид зависимости  $C = C(D_K)$  и построить ее график (предполагаемый вид зависимости — гиперболический).

## Приложение 6

Данные для расчета процесса очистки окислением

Вариант задания	$a$ , ммоль/л	$b$ , ммоль/л	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч
1	0,1	0,20	0,25
2	0,1	0,15	0,50
3	0,1	0,10	0,75
4	0,1	0,05	1,0
5	0,2	0,20	1,25
6	0,2	0,15	1,50
7	0,2	0,10	1,75
8	0,2	0,05	2,0
9	0,3	0,20	2,25
10	0,3	0,15	2,50
11	0,3	0,10	2,75
12	0,3	0,05	3,0
13	0,4	0,2	3,25
14	0,4	0,15	3,50
15	0,4	0,10	3,75
16	0,4	0,05	4,0
17	0,5	0,20	4,25
18	0,5	0,15	4,50
19	0,5	0,10	4,75
20	0,1	0,25	2,0
21	0,2	0,40	1,50
22	0,2	0,10	0,50
23	0,4	0,25	0,25
24	0,5	0,15	1,80
25	0,2	0,40	3,50
26	0,4	0,25	0,50
27	0,3	0,10	0,75
28	0,4	0,05	1,25
29	0,3	0,30	2,50
30	0,4	0,45	4,0
31	0,5	0,40	3,6
32	0,5	0,05	5,0

## Приложение 7

Данные о зависимости концентрации окислителя  $C$   
от времени реакции  $t$

Вариант задания	Время $t$ , с						
	50	100	200	400	600	800	1000
1	7,0	6,5	5,2	3,4	2,2	1,5	0,8
2	0,58	0,57	0,50	0,42	0,36	0,30	0,26
3	9,5	9,0	8,0	5,9	4,7	4,0	3,3
4	6,3	6,2	5,5	4,7	4,1	3,5	3,1
5	9,0	8,5	7,5	5,4	4,2	3,5	2,8
6	1,50	1,42	1,34	1,02	0,82	0,56	0,22
7	0,70	0,65	0,52	0,34	0,22	0,15	0,08
8	2,58	2,57	2,50	2,42	2,36	2,30	2,26
9	0,92	0,85	0,75	0,54	0,42	0,35	0,28
10	1,90	1,75	1,70	1,45	1,25	1,15	0,95
11	9,2	8,7	7,7	5,6	4,4	3,7	3,0
12	1,85	1,81	1,78	1,4	1,17	0,92	0,72
13	1,11	1,06	0,94	0,74	0,62	0,55	0,48
14	1,92	1,73	1,72	1,41	1,28	1,12	0,98
15	0,63	0,62	0,55	0,47	0,41	0,35	0,31
16	7,0	6,5	5,2	3,4	2,2	1,5	0,8
17	0,35	0,30	0,20	0,09	0,04	0,02	0,01
18	11,2	10,6	9,4	7,4	6,3	5,6	4,8
19	1,30	1,05	0,85	0,60	0,45	0,35	0,25
20	6,2	5,6	4,4	2,4	1,3	0,5	0,1
21	0,63	0,62	0,55	0,47	0,41	0,35	0,31
22	1,36	1,11	0,91	0,66	0,50	0,41	0,32
23	0,12	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
24	1,92	1,73	1,72	1,41	1,28	1,12	0,98
25	0,93	0,84	0,76	0,53	0,43	0,36	0,27
26	1,24	1,01	0,78	0,54	0,38	0,28	0,16
27	2,50	2,48	2,45	2,36	2,29	2,18	2,10
28	7,1	6,4	5,3	3,3	2,2	1,6	0,7
29	2,92	2,73	2,72	2,41	2,28	2,12	2,98
30	63,5	62,5	55,5	47,6	41,4	35,5	31,8
31	1,96	1,79	1,76	1,45	1,33	1,17	0,98
32	0,92	0,85	0,75	0,54	0,42	0,35	0,28

## Приложение 8

Таблица 1

Удельный расход щелочи  $q_B$ , кг/кг, для полной нейтрализации кислоты

Кислота	Щелочь			
	Известь негашеная	Известь гашеная	Сода кальцинированная	Сода каустическая
Серная	1,79	1,32	0,93	1,22
Соляная	1,30	0,99	0,69	0,91
Азотная	2,20	1,70	1,19	1,57
Уксусная	2,15	1,62	1,14	1,50

Таблица 2 прил. 8

## Данные для расчета процесса нейтрализации

Номер параметра	Вариант задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$Q_A, \text{ м}^3$	1,2	5,5	2,5	4,2	2,4	2,6	1,6	2,1	4,5	2,4
2	Кислота, содержащаяся в стоке	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Соляная
3	$A, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	1,8	2,6	2,4	3,8	2,1	1,8	8,1	6,8	2,2	3,2
4	$Q_B, \text{ м}^3$	6,8	2,6	1,6	4,6	1,2	5,5	4,8	8,2	1,8	0,4
5	Щелочь, содержащаяся в стоке	НИ	Кл	Ка	ГИ	ГИ	НИ	Кл	Ка	Кл	ИГ
6	$B, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	1,7	2,6	1,8	5,8	2,1	2,8	4,2	8,6	1,6	2,1
Номер параметра	Варианты задания	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	$Q_A, \text{ м}^3$	0,8	3,2	1,6	8,4	4,1	2,4	1,4	5,2	2,4	4,1
2	Кислота, содержащаяся в стоке	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Соляная
3	$A, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	3,8	3,6	2,1	3,2	2,3	2,9	6,9	2,6	2,2	3,6
4	$Q_B, \text{ м}^3$	1,2	3,6	0,8	5,4	3,6	3,8	7,8	2,2	1,8	5,4
5	Щелочь, содержащаяся в стоке	Ка	НИ	ГИ	НИ	Кл	Ка	НИ	Кл	Ка	ГИ
6	$B, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	2,4	3,2	1,9	4,6	1,8	2,5	1,2	2,6	1,6	3,2

Окончание табл. 2 прил. 8

Номер параметра	Вариант задания	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	$Q_A, \text{ м}^3$	2,3	4,2	2,8	4,0	2,6	2,1	2,6	4,1	3,5	5,4
2	Кислота, содержащаяся в стоке	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Азотная	Соляная	Уксусная	Серная	Соляная
3	$A, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	1,8	4,6	2,6	3,8	2,4	2,8	6,2	6,8	4,2	4,2
4	$Q_B, \text{ м}^3$	5,8	2,4	1,4	4,8	1,1	5,3	5,8	8,2	0,8	2,4
5	Щелочь, содержащаяся в стоке	НИ	Кл	Ка	ГИ	ГИ	НИ	Кл	Ка	Кл	ИГ
6	$B, \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л)}$	1,6	2,6	1,6	3,8	2,1	1,8	4,2	5,6	1,6	2,1

## Содержание

<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>Раздел 1. Экология водных объектов</b> .....	<b>4</b>
Лабораторная работа № 1. Исследование отрицательного влияния предприятия на природные водные объекты .....	4
Лабораторная работа № 2. Исследование загрязнения водоемов при эксплуатации судовой энергетической установки .....	10
<b>Раздел 2. Экология атмосферного воздуха</b> .....	<b>15</b>
Лабораторная работа № 3. Исследование загрязнения атмосферы источниками выбросов предприятия .....	15
Лабораторная работа № 4. Исследование загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации судовой энергетической установки .....	23
<b>Раздел 3. Экологический контроль за состоянием природной среды и инженерных объектов</b> .....	<b>28</b>
Лабораторная работа № 5. Обработка результатов экологического контроля .....	28
Лабораторная работа № 6. Анализ экспериментальных результатов экологического контроля природной среды и инженерных объектов .....	35
<b>Раздел 4. Технология и техника очистки воды</b> .....	<b>41</b>
Лабораторная работа № 7. Исследование процесса очистки воды при окислении загрязняющих веществ .....	41
Лабораторная работа № 8. Определение порядка химической реакции окисления загрязняющих веществ в процессах очистки сточной воды (графический метод) .....	47
Лабораторная работа № 9. Исследование процесса нейтрализации технологической сточной воды .....	51
<b>Библиографический список</b> .....	<b>57</b>
Приложение 1 .....	58
Приложение 2 .....	64
Приложение 3 .....	68
Приложение 4 .....	73
Приложение 5 .....	74
Приложение 6 .....	82
Приложение 7 .....	83
Приложение 8 .....	84

Учебное издание

Латухов Сергей Васильевич, д-р техн. наук, проф.,  
Бояринов Александр Михайлович, канд. техн. наук, доц.  
Решняк Валерий Иванович, д-р техн. наук, проф.,  
Поляков Александр Владимирович, доц.,  
Даргис Евгений Александрович, преп.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Учебно-методическое пособие



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2

Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23

E-mail: izdat@gumrf.ru

*Публикуется в авторской редакции*

---

Ответственный за выпуск	Беглецова М. В.
Корректурa и компьютерная верстка	Сатикова Т. Ф.

Подписано в печать 26 .12.2018

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 5,5. Тираж 50 экз. Заказ № 593/2018