

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальностей*

*1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные
машины и оборудование (по направлениям)»,*

1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)»,

*1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей
(по направлениям)», 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское
строительство» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»*

очной и заочной форм обучения



Могилев 2020

УДК 504(075.8)
ББК 20.1я73
О 75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» «25» мая 2020 г.,
протокол № 10

Составители: д-р биол. наук, доц. А. В. Щур;
канд. вет. наук, доц. Т. Н. Агеева;
канд. техн. наук, доц. И. В. Шилова;
канд. геогр. наук, доц. А. Ю. Скриган

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

Методические рекомендации к лабораторным работам содержат основные теоретические положения по теме, методику выполнения лабораторных работ, формулы для расчета, варианты заданий. Предназначены для студентов специальностей 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование (по направлениям)», 1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)», 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Ответственный за выпуск	А. В. Щур
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 165 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Оценка качества атмосферного воздуха и риска здоровью населения на основе санитарно-гигиенического нормирования.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Управление уровнем загрязнения воды в реке.....	10
3 Лабораторная работа № 3. Определение кислотности растворов (рН) потенциометрическим методом	14
4 Лабораторная работа № 4. Оценка воздействия загрязнения окружающей среды и добровольных факторов риска на здоровье населения....	19
5 Лабораторная работа № 5. Учебная экологическая имитационная игра «ОЗЕРО».....	25
6 Лабораторная работа № 6. Определение максимальной приземной концентрации примеси и зоны ее рассеивания.....	28
7 Лабораторная работа № 7. Измерение концентрации нитратов в воде и продуктах питания.....	33
8 Лабораторная работа № 8. Расчет концентраций загрязняющих веществ в сбросе сточных вод машиностроительного предприятия	40
Список литературы.....	48

1 Лабораторная работа № 1. Оценка качества атмосферного воздуха и риска здоровью населения на основе санитарно-гигиенического нормирования

Цель работы: изучить методологические основы санитарно-гигиенического нормирования, выполнить оценку качества воздуха населенных мест и риска здоровью населения на основе санитарно-гигиенического нормирования на примере городов Беларуси.

1.1 Теоретическая часть

Регулирование качества окружающей среды осуществляется на основе нормативного методологического подхода путем разработки и утверждения санитарно-гигиенических нормативов. Санитарно-гигиеническое нормирование осуществляется с целью установления предельно допустимых воздействий на окружающую среду, гарантирующих сохранение здоровья населения и безопасность биосферы в целом. Санитарно-гигиенические нормативы устанавливаются по отношению к концентрациям загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе, воде и почве, уровням физических воздействий (шуму, вибрации и т. д.). В соответствии с действующим законодательством качество атмосферного воздуха определяется предельно допустимыми концентрациями (ПДК) ЗВ в воздухе.

Предельно допустимая концентрация ЗВ в атмосфере – это максимальная концентрация ЗВ в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

В настоящее время используется несколько видов ПДК:

– в зависимости от периода осреднения выделяют:

а) максимальная разовая ($ПДК_{мр}$) – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, определяемая по пробе, отобранной за 20...30-минутный интервал времени;

б) среднесуточная ($ПДК_{сс}$) – это концентрация примеси в атмосфере, отбираемая по среднесуточной пробе, которая представляет собой пробу воздуха, отбираемую в течение 24 ч непрерывно либо с равными интервалами, но не менее 4-х раз в сутки;

в) среднемесячная – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение среднесуточных или максимально разовых концентраций, измеряемых не менее 20 дней в месяц;

г) среднегодовая – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение среднесуточных или максимально разовых концентраций, измеряемых не менее 200 дней в год;

– в зависимости от реципиентов выделяют:

а) предельно допустимая концентрация для воздуха населенных мест ($ПДК_{ав}$);

б) предельно допустимая концентрация для воздуха рабочей зоны ($ПДК_{pz}$).

В случае отсутствия значений ПДК применяются ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ).

Величина ПДК зависит от степени токсичности вещества, которая характеризуется классом опасности:

I класс – чрезвычайно опасные, $ПДК_{pz} < 0,1$ мг/м³;

II класс – высокоопасные вещества, $0,1 < ПДК_{pz} < 1$ мг/м³;

III класс – умеренно опасные вещества, $1 < ПДК_{pz} < 10$ мг/м³;

IV класс – малоопасные вещества, $ПДК_{pz} > 10$ мг/м³.

Класс опасности вещества зависит от характера его воздействия на организм. По этому признаку выделяют резорбтивные (воздействие на внутренние органы), рефлекторные (воздействие на органы чувств и дыхания) и рефлекторно-резорбтивные токсичные вещества.

Резорбтивное действие ЗВ – возможность развития общетоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в атмосферном воздухе, но и от длительности его вдыхания. С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается среднесуточная ПДК.

Рефлекторное действие ЗВ – реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей (ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек). Данные эффекты возникают при кратковременном воздействии ЗВ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой ПДК.

Рефлекторно-резорбтивное действие ЗВ – действие ЗВ, при котором эффекты на организм реализуются за счет влияния на нервные окончания в месте контакта с веществом и в результате всасывания вещества и поступления его в общий кровоток.

Для обеспечения экологической безопасности населенных пунктов должны соблюдаться ПДК для концентраций ЗВ в атмосферном воздухе. При наличии в воздухе нескольких ЗВ рассчитывается **коэффициент комбинированного действия (ККД)**. ККД отражает характер воздействия одновременно присутствующих в атмосферном воздухе ЗВ, который может проявляться по типу суммации неблагоприятных эффектов воздействия каждого из ЗВ.

ККД рассчитывается по формуле

$$ККД = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (1.1)$$

где C_i – концентрация загрязняющего вещества в воздухе;

i – количество загрязняющих веществ.

Соблюдение нормативного качества воздуха и отсутствие риска повышения заболеваемости признается в следующих случаях:

$$ККД < 2 \quad \text{при } 2 \leq i \leq 4;$$

$$ККД < 3 \quad \text{при } 5 \leq i \leq 9;$$

$$KKД < 4 \quad \text{при } 10 \leq i \leq 20,$$

где i – количество загрязняющих веществ.

Санитарно-гигиенические нормативы могут служить основой для оценки рисков здоровью населения.

Для расчета *потенциального риска возникновения рефлекторных эффектов* при загрязнении атмосферного воздуха в зависимости от класса опасности веществ используются формулы:

– I класс

$$P_{rob} = -9,15 + 11,66 \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{м.р.}}; \quad (1.2)$$

– II класс

$$P_{rob} = -5,51 + 7,49 \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{м.р.}}; \quad (1.3)$$

– III класс

$$P_{rob} = -2,35 + 3,73 \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{м.р.}}; \quad (1.4)$$

– IV класс

$$P_{rob} = -1,41 + 2,33 \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{м.р.}}, \quad (1.5)$$

где C – максимальная концентрация воздействующего вещества;

$ПДК_{м.р.}$ – максимально-разовая ПДК;

P_{rob} – величина, связанная с риском по закону нормального вероятностного распределения.

Вероятность развития рефлекторных эффектов при кратковременном воздействии в заданных условиях $Risk$ связана с табличным интегралом $Prob$; значения нормально-вероятностного распределения даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значения нормально-вероятностного распределения

$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$	$Prob$	$Risk$
-3,0	0,001	-1,5	0,067	-0,8	0,212	-0,1	0,460	0,6	0,726	1,3	0,903	2,0	0,977
-2,5	0,006	-1,4	0,081	-0,7	0,242	0,0	0,50	0,7	0,756	1,4	0,919	2,5	0,994
-2,0	0,023	-1,3	0,097	-0,6	0,274	0,1	0,540	0,8	0,788	1,5	0,933	3,0	0,999
-1,9	0,029	-1,2	0,115	-0,5	0,309	0,2	0,579	0,9	0,816	1,6	0,945		
-1,8	0,036	-1,1	0,130	-0,4	0,345	0,3	0,618	1,0	0,814	1,7	0,955		
-1,7	0,045	-1,0	0,157	-0,3	0,382	0,4	0,655	1,1	0,864	1,8	0,964		
-1,6	0,055	-0,9	0,184	-0,2	0,421	0,5	0,692	1,2	0,885	1,9	0,971		

Потенциальный риск хронического воздействия ЗВ или материала на здоровье человека $Risk$ определяется по формуле

$$Risk = 1 - \exp \left[\ln(0,84) \cdot \frac{\left(\frac{C_i}{ПДК_{cc}^i} \right)^b}{k_3} \right], \quad (1.6)$$

где C_i – концентрация вещества в заданный период времени;

$ПДК_{cc}^i$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация;

k_3 – коэффициент запаса (значения меняются в зависимости от класса опасности вещества: I класс – 7,5; II класс – 6,0; III класс – 4,5; IV класс – 3);

b – значения коэффициента меняются в зависимости от класса опасности вещества (I класс – 2,35; II класс – 1,28; III класс – 1,0; IV класс – 0,87).

Степень риска влияния факторов окружающей среды на состояние здоровья населения оценивается в следующих интервалах:

$Risk < 0,02$ – приемлемый риск;

$Risk$ от 0,02 до 0,16 – удовлетворительный риск;

$Risk$ от 0,16 до 0,50 – неудовлетворительный риск;

$Risk$ от 0,50 до 0,84 – опасный риск;

$Risk$ от 0,84 до 1,0 – чрезвычайно опасный риск.

1.2 Практическая часть

Задача 1. Рассчитайте $ККД$ для городов Беларуси по годам наблюдений. Определите, соответствуют ли рассчитанные величины $ККД$ нормативным значениям. Сделайте выводы о наличии или отсутствии загрязнения воздуха по годам наблюдений и о динамике $ККД$. Содержание ЗВ в воздухе городов представлено в таблице 1.2, $ПДК_{с.г.}$ ЗВ в атмосферном воздухе населенных мест – в таблице 1.3. Для отчета: заполнить таблицу 1.4, выполнить расчеты $ККД$ (см. формулу (1.1)), сделать выводы об уровне риска.

Задача 2. Оцените вероятность (риск) возникновения рефлекторных эффектов при загрязнении атмосферного воздуха в городах Беларуси, используя для расчета формулы (1.2)–(1.5) в зависимости от класса опасности веществ. Концентрации ЗВ по годам наблюдений представлены в таблице 1.5, классы опасности веществ и $ПДК_{м.р.}$ – в таблице 1.3. Результаты расчетов оформите в виде таблицы 1.6. Используя таблицу 1.1? определите значения риска в разные годы и сделайте вывод о его динамике.

Задача 3. Оцените риск хронического воздействия на жителей города трех основных ЗВ (пыли, оксида углерода и диоксида азота), загрязняющих атмосферный воздух, используя формулу (1.6). Содержание ЗВ в воздухе представлено в таблице 1.2, $ПДК_{с.г.}$ ЗВ – в таблице 1.3. Для отчета: заполнить таблицу 1.7, выполнить расчет риска и его оценку, сделать выводы.

Таблица 1.2 – Содержание загрязняющих веществ в воздухе городов Беларуси по годам наблюдений

Город	Содержание загрязняющих веществ по годам наблюдений, мг/м ³																							
	Пыль				Твердые частицы (фракции РМ-10)				Диоксид серы				Оксид углерода				Диоксид азота				Оксид азота			
	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014			
Бобруйск	0,01	0,011	0,013	0	0	0	0,0001	0,0002	0,0001	0,931	0,738	0,879	0,038	0,024	0,033	0,011	0,013	0,008	0,016	0,016	0,009			
Брест	0,028	0,027	0,035	0,03	0,027	0,022	0,01	0,015	0,015	0,613	0,797	0,913	0,026	0,033	0,034	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,009			
Витебск	0,103	0,087	0,072	0,02	0,012	0,017	0,0001	0,0001	0,0001	0,757	0,61	0,53	0,032	0,035	0,041	0,012	0,013	0,011	0,012	0,013	0,011			
Гомель	0,053	0,029	0,033	0,022	0,031	0,038	0,016	0,009	0,0001	0,496	0,422	0,502	0,02	0,021	0,026	0,016	0,005	0,029	0,016	0,005	0,029			
Гродно	0,051	0,037	0,031	0,02	0,024	0,021	0,01	0,009	0,015	0,688	0,72	0,509	0,033	0,022	0,028	0,01	0,02	0,018	0,01	0,02	0,018			
Минск	0,035	0,025	0,021	0,034	0,031	0,022	0,011	0,01	0,012	0,989	0,876	0,678	0,046	0,041	0,037	0,016	0,021	0,02	0,016	0,021	0,02			
Могилев	0,042	0,044	0,027	0,024	0,02	0,028	0,021	0,023	0,018	0,943	0,67	0,53	0,052	0,05	0,051	0,034	0,024	0,019	0,034	0,024	0,019			
Мозырь	0,066	0,056	0,053	0	0	0	0,0003	0,0002	0,0003	0,437	0,639	0,565	0,023	0,02	0,021	0	0	0	0	0	0			
Новополоцк	0,015	0,024	0,015	0,018	0,018	0,022	0,02	0,025	0,032	1,501	0,677	0,916	0,041	0,054	0,046	0,008	0,018	0,016	0,008	0,018	0,016			
Орша	0,015	0,016	0,012	0	0	0	0,0001	0,0001	0,0001	1,056	0,798	0,781	0,025	0,025	0,023	0	0	0	0	0	0			
Пинск	0,057	0,052	0,043	0	0	0	0,0001	0,0001	0,0002	0,491	0,481	0,507	0,033	0,032	0,022	0	0	0	0	0	0			
Полоцк	0,025	0,018	0,015	0,02	0,022	0,016	0,027	0,057	0,04	1,439	0,788	1,021	0,052	0,063	0,058	0,011	0,01	0,017	0,011	0,01	0,017			
Светлогорск	0,059	0,035	0,05	0,002	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,0002	0,955	0,675	0,751	0,039	0,034	0,032	0	0	0	0	0	0			
Солигорск	0,02	0,025	0,03	0,011	0,023	0,021	0,001	0,002	0,024	0,666	0,337	0,419	0,02	0,011	0,013	0,011	0,009	0,01	0,011	0,009	0,01			
Речица	0,094	0,088	0,063	0	0	0	0,0004	0,0006	0,0004	0,563	0,477	0,471	0,027	0,032	0,035	0	0	0	0	0	0			
Жлобин	0,085	0,011	0,08	0,026	0,021	0,01	0	0	0	0,311	0,265	0,406	0,011	0,015	0,031	0	0	0	0	0	0			

Таблица 1.3 – ПДК ЗВ в атмосферном воздухе населенных мест

Наименование ЗВ	ПДК, мг/м ³			Класс опасности
	<i>ПДК_{с.з}</i>	<i>ПДК_{с.с}</i>	<i>ПДК_{м.р}</i>	
Пыль	0,1	0,15	0,3	III
Твердые частицы (фракции РМ-10)	0,04	0,05	0,15	II
Диоксид серы	0,05	0,2	0,5	III
Оксид углерода	0,5	3	5	IV
Диоксид азота	0,04	0,1	0,25	II
Оксид азота	0,1	0,24	0,4	III
Аммиак	–	–	0,2	IV
Формальдегид	–	0,012	0,03	II

Таблица 1.4 – Содержание ЗВ и значения ККД по годам наблюдений

Наименование ЗВ	Содержание ЗВ по годам наблюдений, мг/м ³			<i>ПДК_{с.з}</i> , мг/м ³
	2010 г.	2012 г.	2014 г.	
Пыль				
Твердые частицы				
Диоксид серы				
Оксид углерода				
Диоксид азота				
Оксид азота				
<i>ККД</i>				

Таблица 1.5 – Максимальная разовая концентрация ЗВ в воздухе городов Беларуси по годам наблюдений

Город	Максимальная концентрация загрязняющих веществ, мг/м ³							
	Аммиак		Диоксид серы		Диоксид азота		Формальдегид	
	2010 г.	2015 г.	2010 г.	2015 г.	2010 г.	2015 г.	2010 г.	2015 г.
Бобруйск	0,302	0,067	–	–	0,54	0,16	0,042	0,036
Брест	–	–	0,220	0,117	0,27	0,46	0,074	0,066
Витебск	0,368	0,229	–	–	0,84	0,25	0,051	0,038
Гомель	–	–	0,158	0,471	0,33	0,22	0,066	0,043
Гродно	0,486	0,152	–	–	0,85	0,24	0,048	0,052
Минск	–	–	0,924	0,355	0,97	0,82	0,066	0,043
Могилев	–	–	2,618	0,183	2,05	0,49	0,098	0,093
Мозырь	0,288	0,406	–	–	0,27	0,23	0,069	0,052
Новополоцк	–	–	1,726	4,021	0,79	0,48	0,054	0,046
Орша	0,396	0,108	–	–	0,31	0,15	0,046	0,054
Пинск	0,166	0,068	–	–	0,28	0,30	0,052	0,064
Полоцк	–	–	0,861	1,668	0,64	0,51	0,058	0,036
Светлогорск	0,266	0,354	–	–	0,15	0,11	0,036	0,041
Солигорск	–	–	0,328	0,102	0,10	0,25	0,042	0,034
Речица	0,108	0,036	–	–	0,13	0,17	0,030	0,023
Жлобин	0,126	0,218	–	–	0,18	0,23	0,062	0,050

Таблица 1.6 – Оценка риска возникновения рефлекторных эффектов в городе

Год	Максимальная разовая концентрация ЗВ, мг/м ³	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	Оценка риска
Диоксид азота				
2010				
2015				
Формальдегид				
2010				
2015				
Диоксид серы				
2010				
2015				
Аммиак				
2010				
2015				

Таблица 1.7 – Оценка величины потенциального риска хронического воздействия загрязняющих веществ в городе

Наименование ЗВ	Содержание ЗВ, мг/м ³		<i>ПДК_{сс}</i> , мг/м ³	<i>Risk</i>		Оценка риска	
	2010 г.	2014 г.		2010 г.	2014 г.	2010 г.	2014 г.
Пыль							
Оксид углерода							
Диоксид азота							
Суммарный <i>Risk</i>	–	–	–				

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается цель санитарно-гигиенического нормирования?
- 2 Дайте определение ПДК.
- 3 Какие виды ПДК выделяют?
- 4 Какие выделяют классы опасности веществ?
- 5 В чем заключается резорбтивное и рефлекторное действие ЗВ?

2 Лабораторная работа № 2. Управление уровнем загрязнения воды в реке

Цель работы: выбор оптимальных параметров функционирования природно-хозяйственной системы, сочетающих получение прибыли от ведения хозяйственной деятельности и соблюдения нормативов качества окружающей среды.

2.1 Теоретическая часть

Программа «Малая река» моделирует функционирование природно-хозяйственной системы. Цель программы – получение максимальной прибыли от функционирования предприятия, фермы и выращивания сельскохозяйственной продукции. Итоговая прибыль представляет собой разницу между полученными доходами от осуществления хозяйственной деятельности и затратами на природоохранные мероприятия, а также ущерба, величина которого определяется уровнем загрязнения воды в реке. Таким образом, основная задача – получение максимальной прибыли без загрязнения реки.

Описание элементов природно-хозяйственной системы.

Участок реки длиной 8640 м, шириной 10 м, глубиной 3 м, средней скоростью течения 6 м/с.

Промышленное предприятие, расположенное на берегу реки на расстоянии 1800 м от начала участка, загрязняющее воду реки стоками, содержащими органическое загрязняющее вещество (по БПК5 – биологическое потребление кислорода). Количество сточных вод зависит от интенсивности работы предприятия, которая может изменяться от 0 до 150 усл. ед. продукции в сутки. Производство единицы продукции дает 0,1 м³ стоков с концентрацией органического загрязняющего вещества по БПК5 2000 мг/л.

Животноводческий комплекс, расположенный на берегу реки на расстоянии 5400 м от начала участка, на котором можно выращивать свиней (количество от 0 до 2000 голов) или крупный рогатый скот (от 0 до 1000). На животноводческом комплексе в сутки на свинью образуется 4,5 л навозной жижи с БПК5 – 6000 мг/л, на корову 14 л с БПК5 – 8000 мг/л.

Сельскохозяйственные угодья, на которых можно выращивать пшеницу, рожь, ячмень, кукурузу, картофель. Для повышения урожайности есть возможность внесения азотных, калийных, фосфорных, органических удобрений, известкование почвы, применения ядохимикатов: метафоса – для борьбы с вредными насекомыми (инсектицид), цинеба – для борьбы с болезнями растений (фунгицид), атразина – для борьбы с сорняками (гербицид). При использовании ядохимикатов и удобрений необходимо учитывать:

- дождевые и паводковые стоки будут загрязнять воду реки тем сильнее, чем больше внесено удобрений и ядохимикатов;

- накопление веществ, неусвоенных растениями, в почве влияет на величину загрязнения реки;

- существенное влияние на качество воды оказывают донные осадения.

Жилой поселок забирает воду реки для своих нужд. Если вода в реке не достаточно чистая, то затрачиваются средства на ее очистку. В модели установлены ПДК по:

- кислороду – не менее 4 мг/л;
- БПК5 – не более 6 мг/л;
- атразину – не более 0,005 мг/л;
- метафосу – не более 0,02 мг/л;

- цинебу – не более 0,03 мг/л.

Передвижная станция контроля качества воды анализирует содержание кислорода, БПК₅, атразина, метафоса, цинеба в воде в любом выбранном месте.

Управление природно-хозяйственной системой.

Управляющее воздействие осуществляется в течение пяти годовых циклов. Под управляющим воздействием понимается:

- выбор интенсивности работы промышленного предприятия;
- выбор количества голов скота для выращивания на ферме (свиньи или крупный рогатый скот);
- выбор методов очистки сточных вод промышленного предприятия и фермы;
- выбор сельскохозяйственных культур для выращивания в бассейне реки;
- выбор количества применяемых удобрений и ядохимикатов;
- размещение передвижной станции контроля качества воды;
- выбор мероприятий по охране чистоты реки.

Экономический ущерб зависит от качества воды в реке и складывается из потерь, связанных с ухудшением функционирования основных фондов промышленного предприятия; дополнительных затрат на очистку воды для жилого поселка; потерь из-за заболеваемости населения; затрат учреждения здравоохранения в связи с заболеваемостью населения; собственных затрат населения, связанных с поездками на отдых в другие места.

Работа с программой.

Помощь – имеется подменю:

правила – правила работы с программой (на экран выдается информация о моделируемой экологической системе, о цели игры, о возможных управляющих воздействиях на систему, о стоимости природоохранных мероприятий и т. д.);

схема – схема взаимодействия блоков системы (т. е. графическое изображение связей, моделируемых в программе);

природоохранные мероприятия – информация о природоохранных мероприятиях, моделируемых в программе (т. е. информация об эффективности разных методов очистки сточных вод, о влиянии разных видов вспашек на уменьшение дождевого стока, о влиянии лесополосы и искусственной аэрации);

текущая оценка – оценка деятельности обучаемого по турам (дается сообщение о полученной прибыли и экономическом ущербе за прошедшие туры работы с программой).

Управление – имеется подменю:

предприятие – задаются интенсивность работы предприятия (0–150) и способ очистки сточных вод;

ферма – задаются поголовье скота (свиньи или крупный рогатый скот) для выращивания на ферме и метод очистки сточных вод;

урожай – выбираются сельскохозяйственная культура для выращивания на полях и дозы применяемых удобрений и пестицидов;

вспашка – выбирается вид вспашки;

лесополоса – выбирается ширина защитной лесополосы;

аэрация – выбирается место искусственной аэрации;

счет – вычисления концентраций кислорода, БПК-5, атразина, цинеба и метафоса по месяцам в течение года. Перед этим предлагается выбрать расположение передвижной станции контроля качества воды (клавиши «влево», «вправо» и «Enter»).

«Esc» – выход в операционную систему.

После окончания 5 лет игрового времени программа дает оценку деятельности обучаемого.

2.2 Практическая часть

Выбор оптимальных параметров функционирования природно-хозяйственной системы. Необходимо рассмотреть несколько стратегий функционирования системы.

Первый цикл. Зависимость прибыли и уровня загрязнения от вида природоохранных мероприятий (в циклах управляющих воздействий изменяется только вид очистки сточных вод).

Результаты оформите в виде таблицы 2.1, сделайте вывод.

Таблица 2.1 – Результаты функционирования природно-хозяйственной системы

Показатель	Первый год	Второй год	Третий год	Четвертый год	Пятый год	Сумма
Прибыль						
Экономический ущерб						
Оценка действий обучаемого						

Второй цикл. Зависимость прибыли и уровня загрязнения от различных видов сельскохозяйственных культур и доз удобрений.

Результаты оформите в виде таблицы 2.1, сделайте вывод.

Третий цикл. Подбор оптимальных параметров функционирования системы. Результаты оформите в виде таблицы 2.1, сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1 От каких параметров зависит загрязнение воды в реке?

2 Какие виды очистки сточных вод вы знаете? Какие из них являются наиболее эффективными?

3 Какие виды вспашки применяются? Какое влияние вид вспашки оказывает на уровень загрязнения воды в реке?

3 Лабораторная работа № 3. Определение кислотности растворов (рН) потенциометрическим методом

Цель работы:

- изучить влияние увеличения кислотности на компоненты окружающей среды;
- провести измерения кислотности воды и растворов.

3.1 Теоретическая часть

Для удобства отображения уровня кислотности воды был введен специальный показатель, названный рН и представляющий собой логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е. $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$.

Величина рН определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода ($\text{pH} > 7$) по сравнению с ионами OH^- , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H^+ ($\text{pH} < 7$) – кислую. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравнивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и $\text{pH} = 7$.

Шкала рН имеет пределы от 0 до 14. Средняя точка на шкале – семь. При величине рН, равной семи, среда не является ни кислой, ни щелочной. Все цифры меньше семи показывают, что среда кислая, а все цифры больше семи свидетельствуют о щелочности среды.

В зависимости от уровня рН воды можно условно разделить на несколько групп (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Группы в зависимости от уровня рН воды

Группа	Величина рН
Сильнокислые воды	< 3
Кислые воды	3...5
Слабокислые воды	5...6,5
Нейтральные воды	6,5...7,5
Слабощелочные воды	7,5...8,5
Щелочные воды	8,5...9,5
Сильнощелочные воды	> 9,5

рН воды – один из важнейших рабочих показателей качества воды, во многом определяющих характер химических и биологических процессов, происходящих в воде. В зависимости от величины рН может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и т. д. Контроль уровня рН особенно важен на всех стадиях водоочистки, т. к. его «уход» в ту или иную сторону может не только существенно сказаться на запахе, привкусе и внешнем виде воды, но и

повлиять на эффективность водоочистных мероприятий.

Обычно уровень рН находится в пределах, при которых он непосредственно не влияет на потребительские качества воды. Так, в речных водах рН обычно находится в пределах 6,5...8,5, в атмосферных осадках – 4,6...6,1, в болотах – 5,5...6,0, в морских водах – 7,9...8,3.

Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень рН в диапазоне от 6 до 9.

Контроль качества воды предусматривает контроль уровня кислотности воды. Нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) для уровня кислотности в разных странах представлены в таблице 3.2.

Кислотный дождь – все виды метеорологических осадков (дождь, снег, град, туман, дождь со снегом), при которых наблюдается понижение рН дождевых осадков из-за загрязнений воздуха кислотными оксидами (обычно – оксидами серы, оксидами азота). Проблема кислотных осадков и асидификации окружающей среды является одной из глобальных экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды.

Асидификация – это процесс повышения кислотной реакции компонентов окружающей среды (атмосферы, гидросферы и литосферы), а также усиления воздействия повышенной кислотности на различные природные явления.

Таблица 3.2 – Установленные или рекомендуемые ПДК рН

Анализируемая среда	Значение рН
Вода питьевая	6,5...8,5 (РБ) 6,5...9,2 (международный стандарт) 7,0...8,5 (европейский стандарт)
Вода водопроводная	6,0...8,5 (США)
Водоемы	6,5...8,5 (РБ) 6,0...9,0 (США)
Сточные воды	6,5...9,0 (США) 6,0...9,0 (Великобритания)
Вода для с.-х. использования	4,5...9,0 (США)
Вода для технологических целей разных производств	6,5...7,0
Вода для пищевых производств	6,5...8,5
Вода для:	
котлов электростанций	8,0...9,6
металлургических производств	6,8...7,0
вискозы	7,8...8,3
дубления кож	6,0...8,0
прачечных	6,0...6,8
химических производств	6,2...8,7
цементных	7,0
нефтехимических	6,0...9,0
кондитерских	7,0
Молоко	6,68...6,7

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную ($\text{pH} \approx 7$) или слабокислую ($\text{pH} = 5,6$) реакцию. Это происходит вследствие того, что природные вещества атмосферы, такие как углекислый газ, вступают в реакцию с дождевой водой. В реальной жизни показатель кислотности дождевой воды в одной местности может отличаться от показателя кислотности дождевой воды в другой местности.

Кислотными осадками считают такие осадки, pH которых равен 5 и менее. Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие вблизи источника их поступления в атмосферу; влажные (дождь, снег и пр.).

Основными компонентами кислотных осадков являются аэрозоли аммиака, оксиды серы и азота, которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания топлива – угля, нефти, мазута в ТЭС, котельных, металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр.

Северная Америка и Европа выбрасывают в атмосферу около 70 % общемирового объема кислотообразующих веществ. Основными областями распространения кислотных осадков являются промышленные районы Северной Америки, Западной Европы, Японии, Кореи, Китая и России.

В поступлении на территорию Беларуси серы и окисленного азота основная доля принадлежит странам-соседям – Польше, Германии, Украине. Средняя кислотность осадков в Беларуси колеблется от 5,1 до 6,2.

При оценке реального воздействия кислотных осадков на компоненты ландшафта необходимо учитывать химический состав почв и их способность противостоять внешним воздействиям (буферная способность почв). В зонах достаточного и избыточного увлажнения, к которым относится и территория Беларуси, воздействие кислотных осадков на почвы, леса и водные объекты сказывается наиболее неблагоприятным образом.

Важный фактор, который следует принимать во внимание при оценке почвы, это величина pH . Так **почвы** могут быть:

- сильнокислые (3...4 pH);
- кислые (4...5 pH);
- слабокислые (5...6 pH);
- нейтральные (6...7 pH);
- щелочные (7...8 pH);
- сильнощелочные (8...9 pH).

Величина pH может быть показателем определенной неупорядоченности в химическом балансе почвы, кислотно-щелочном равновесии, оказывающем влияние на способность растений поглощать удобрения и другие питательные вещества из почвы. По многочисленным наблюдениям, растения развиваются лучше всего, когда pH почвы находится в пределах от 6,5 до 7,0.

3.2 Практическая часть

Для измерения рН растворов используются лабораторные ионометры И-160.1МП, настроенные, согласно Руководства по эксплуатации, для измерения рН. Прибор состоит из преобразователя и штатива. В качестве измерительного электрода используется комбинированный электрод ЭСКЛ-08М.1. Для измерения температуры используют термокомпенсатор автоматический ТКА-7.3.

Прибор предназначен для применения на объектах эксплуатации, в лабораториях предприятий и научно-исследовательских учреждений различных отраслей народного хозяйства, в том числе в области охраны окружающей среды. Анализируемая среда – водные растворы неорганических и органических соединений, технологические растворы, не образующие пленок и осадков на поверхности электрода, природные и сточные воды и др.

Принцип работы прибора. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения рХ (рН) и Eh контролируемого раствора.

Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от активности ионов и температуры раствора.

Электролитический контакт комбинированного электрода с контролируемым раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия (КСl) из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор КСl, непрерывно просачиваясь через электролитический ключ, предотвращает проникновение из анализируемого раствора в систему комбинированного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода. ЭДС электродной системы преобразуется и считывается на цифровом табло прибора.

В режиме рХ измеренное значение температуры раствора может использоваться для компенсации погрешности измерений, обусловленной зависимостью ЭДС электродной системы от температуры (далее – термокомпенсация). Для измерения температуры используется термодатчик, который помещается в анализируемый раствор. Преобразователь измеряет величину сопротивления и рассчитывает температуру раствора.

Конструкция прибора. Общий вид преобразователя и элементы его конструкции показаны на рисунке 3.1. Органы оперативной настройки и выбора режима измерения, а также цифровой дисплей вынесены на переднюю панель.

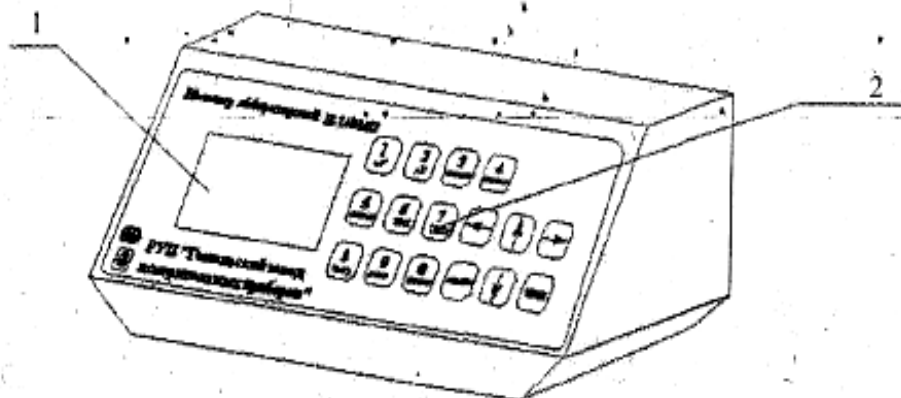
На задней панели преобразователя расположены: выключатель сетевого питания 1, шнур для подключения сети 7, разъем для подключения измерительного электрода ИЗМ 4, гнездо для подключения вспомогательного электрода ВСП 3, разъемы для подключения термокомпенсатора ТКА 5, разъемы ВЫХОД и USB 6, 2 для подключения исполнительных устройств и персонального компьютера (рисунок 3.2).

Проведение измерений.

1 Подготовка прибора к работе проводится в соответствии с инструкцией.

Перед погружением в анализируемую среду при перемещении из раствора более высокой концентрации в менее концентрированный раствор (с более вы-

соким значением рХ) электродная система должна промываться дистиллированной водой и (желательно) анализируемым раствором.



1 – цифровой дисплей; 2 – органы управления

Рисунок 3.1 – Иономер И-160.1МП (преобразователь измерений)

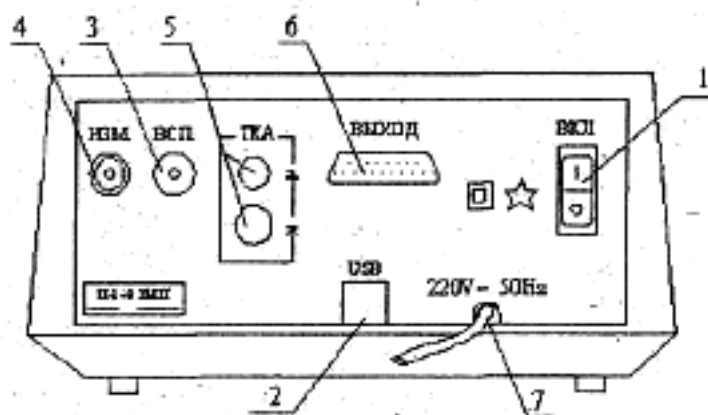


Рисунок 3.2 – Задняя панель преобразователя

При измерениях необходимо учитывать, что время установления потенциала измерительного электрода и инерционность термокомпенсатора ТКА-7.3 обычно не превышают 3 мин с момента погружения в анализируемую среду.

2 Провести измерения проб воды и приготовленных растворов (2-процентный раствор натрия гидрокарбоната и 3-процентный раствор уксусной кислоты).

Порядок проведения измерений:

- комбинированный измерительный электрод закрепить в штативе и подключить к гнезду ИЗМ;
- автоматический термокомпенсатор закрепить в штативе и подключить к входу ТКА;
- иономер включить в сеть и прогреть в течение 15 мин;
- промыть электрод дистиллированной водой и удалить остатки воды фильтровальной бумагой;

- промыть электрод измеряемым раствором;
- погрузить электрод и термокомпенсатор в измеряемый раствор;
- нажать клавишу СЕТЬ. На дисплее отражается значение рН раствора;
- измерения провести 3 раза. Окончательное значение измеренной величины – среднее арифметическое из полученных значений;
- сравнить полученные значения с ПДК из таблицы 3.2 и сделать вывод о качестве воды и других продуктов;
- в промежутках между измерениями электрод хранить в дистиллированной воде.

3 Результаты измерений рН оформите в виде таблицы 3.3, сделайте вывод.

Таблица 3.3 – Результаты измерения

Наименование образца	Показатель	Измеренное значение	Допустимое значение

Контрольные вопросы

- 1 Что представляет собой шкала рН?
- 2 Понятие асидификации окружающей среды.
- 3 Последствия кислотных осадков.
- 4 Принцип работы иономера.

4 Лабораторная работа № 4. Оценка воздействия загрязнения окружающей среды и добровольных факторов риска на здоровье населения

Цель работы: изучить методы оценки специальных показателей риска здоровью населения в результате загрязнения окружающей среды или добровольных факторов риска, выполнить оценку риска возникновения заболеваний вследствие воздействия факторов риска.

4.1 Теоретическая часть

Население занимает особое место среди объектов экологических анализа и оценки. Во-первых, состояние здоровья населения и продолжительность жизни человека рассматриваются как важнейшие критерии уровня развития общества. Во-вторых, рост заболеваемости и смертности населения ведет к росту экономических потерь государства и общему снижению уровня жизни. В-третьих, население и показатели его здоровья сами являются индикаторами качества окружающей среды.

Рост заболеваемости и смертности населения может быть обусловлен внешними причинами, связанными с ухудшением качества окружающей среды,

и добровольными факторами риска, связанными с употреблением алкоголя, табакокурения, наркотических, психотропных и других средств.

Для оценки рисков проявления заболеваний, сокращения продолжительности жизни и повышения смертности вследствие загрязнения окружающей среды и добровольных факторов риска в экологии используются различные показатели индивидуальных рисков и методы их расчета.

Канцерогенные и неканцерогенные воздействия оцениваются с помощью различных методов.

В случае канцерогенных воздействий риск выражается вероятностью заболевания злокачественными опухолями в течение среднепродолжительного периода жизни (70 лет) вследствие воздействия канцерогенов:

$$Risk = I \cdot SF, \quad (4.1)$$

где I – хроническая дневная доза, усредненная к 70-летнему периоду, мг/(кг·дн.);

SF – коэффициент пропорциональности, мг/(кг·дн.)⁻¹.

Для неканцерогенных воздействий мерой для выражения заболеваемости является так называемый индекс риска:

$$HI = I / RfD, \quad (4.2)$$

где I – усредненная доза воздействия, мг/(кг·дн.);

RfD – пороговая доза, мг/(кг·дн.)⁻¹.

Индекс риска является порядковой (ранжированной) характеристикой ожидаемой заболеваемости, его нельзя интерпретировать как статистическую или вероятностную характеристику. Однако, чем ближе рассчитанный индекс риска к 1,0, тем выше вероятность заболеваемости.

При комплексном воздействии загрязняющих веществ, а также при различных путях этого воздействия суммарные оценки риска рассчитываются как аддитивная сумма частных рисков:

$$Risk_T = \sum_{i=1}^n Risk_i. \quad (4.3)$$

Усредненная доза воздействия химического вещества, попадающего в организм, определяется выражением

$$I = \frac{\rho \cdot CR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (4.4)$$

где I – доза, мг/(кг·дн.);

ρ – концентрация химического вещества в среде;

CR – объем носителя химического вещества, контактирующего с организмом человека в течение дня;

EFD – продолжительность периода контакта, лет;

BW – вес тела, кг;

AT – продолжительность усредненного периода, дн.

Продолжительность периода контакта EFD обычно рассчитывается в соответствии с выражением

$$EFD = EF \cdot ED, \quad (4.5)$$

где EF – частота воздействия, дн. / год;

ED – продолжительности воздействия.

Для оценок дозы вещества, попавшего в организм человека при дыхании, используют выражение

$$I = \frac{\rho \cdot IR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (4.6)$$

где IR – объем вдыхаемого воздуха в течение часа, м³/ч.

В случае потребления загрязненной воды формула приобретает вид:

$$I = \frac{CW \cdot IR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (4.7)$$

где CW – концентрация загрязняющего вещества в воде, мг/л;

IR – количество воды, выпиваемой в течение дня, л/дн.

Для оценки количества загрязняющего вещества, попавшего в организм человека вместе с пищей, используется формула

$$I = \frac{CF \cdot IR \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (4.8)$$

где CF – концентрация ЗВ в пище, мг/кг;

IR – усредненное количество пищи, съедаемое за один раз, кг/раз;

FI – характеристика ассимиляции пищи;

EF – частота приема пищи, раз в год;

ED – продолжительность воздействия, лет.

При массовых контактах людей с загрязненной средой в практических расчетах используют усредненные характеристики: $BW = 70$ кг; $ED = 70$ лет; $AT = 25550$ дн.

В таблице 4.1 представлена шкала оценки рисков.

Таблица 4.1 – Оценка степени риска

Канцерогенный риск $Risk$	Степень риска	Неканцерогенный риск HI
$Risk < 1 \cdot 10^{-6}$	Незначительный	$HI < 0,3$
$1 \cdot 10^{-6} < Risk < 1 \cdot 10^{-5}$	Допустимый	$0,3 < HI < 0,7$
$Risk > 1 \cdot 10^{-5}$	Недопустимый	$HI > 0,7$

4.2 Практическая часть

Задача 1. Оцените вероятность возникновения злокачественного новообразования у человека при употреблении воды из колодца, содержащей бензол (таблица 4.2). В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (4.5), (4.7), (4.1).

$$SF \text{ бензола} = 0,029 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad EF = 70 \text{ дн./год}; \quad IR = 2 \text{ л/дн.}$$

Таблица 4.2 – Содержание бензола в пробах воды

Вариант	CW бензола	Вариант	CW бензола	Вариант	CW бензола
1	0,00108	11	0,0063	21	0,0085
2	0,00115	12	0,0051	22	0,0091
3	0,0071	13	0,00076	23	0,00104
4	0,00225	14	0,00054	24	0,0039
5	0,0033	15	0,00037	25	0,000925
6	0,0026	16	0,00046	26	0,000975
7	0,0094	17	0,0028	27	0,0081
8	0,0078	18	0,0017	28	0,0096
9	0,0068	19	0,000825	29	0,0042
10	0,0059	20	0,000875	30	0,0067

Задача 2. Оцените риск неканцерогенного воздействия на человека воды из колодца, содержащей фенол, нитробензол и цианид при ежедневном ее потреблении ($EF = 365$ дн./год). Содержание загрязняющих веществ представлено в таблице 4.3. В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (4.5), (4.7), (4.2).

$$RfD_{\text{фенол}} = 0,6 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad RfD_{\text{нитробензол}} = 0,0005 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \\ RfD_{\text{цианид}} = 0,002 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad IR = 2 \text{ л/дн.}$$

Задача 3. Оцените риск возникновения рака легких у курильщика, выкуривающего пачку сигарет каждый день ($EF = 365$ дн./год). Содержание ядовитых веществ в сигаретах дано в таблице 4.4. В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (4.5), (4.6), (4.1), (4.3).

$$SF (Cd) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad SF (Ni) = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \\ SF (Pb) = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad IR = 450 \text{ л.}$$

Таблица 4.3 – Содержание загрязняющих веществ в воде

Вариант	<i>С</i> <i>W</i> фенола, мг/л	<i>С</i> <i>W</i> нитро-бензола, мг/л	<i>С</i> <i>W</i> цианида, мг/л	Вариант	<i>С</i> <i>W</i> фенола, мг/л	<i>С</i> <i>W</i> нитро-бензола, мг/л	<i>С</i> <i>W</i> цианида, мг/л
1	3,3	0,0033	0,0103	16	4,5	0,0073	0,0808
2	3,5	0,0035	0,0105	17	3,5	0,00071	0,0238
3	3,7	0,0037	0,0107	18	3,3	0,00074	0,0302
4	3,9	0,0031	0,0104	19	3,8	0,00067	0,0235
5	4,1	0,0029	0,0101	20	4,5	0,00072	0,0242
6	4,3	0,0034	0,0099	21	3,5	0,0098	0,001
7	4,5	0,0028	0,0097	22	3,3	0,0102	0,003
8	4,7	0,0026	0,0109	23	3,8	0,0095	0,00194
9	3,5	0,0035	0,082	24	4,5	0,0105	0,0035
10	3,3	0,0038	0,085	25	3,1	0,0055	0,0852
11	3,8	0,0033	0,096	26	3,7	0,0078	0,075
12	4,5	0,0036	0,088	27	4,8	0,00062	0,0252
13	3,5	0,0071	0,0806	28	2,7	0,0088	0,0017
14	3,3	0,0075	0,08	29	2,3	0,0112	0,0033
15	3,8	0,0068	0,0812	30	4,9	0,0045	0,00954

Задача 4. Оцените канцерогенные и неканцерогенные риски при употреблении в пищу картофеля, содержащего свинец (Pb) и ДДТ (таблица 4.5). В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (4.8), (4.1), (4.3), (4.2). Найти сумму *HI*.

$$SF_{Pb} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad SF_{ДДТ} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1};$$

$$RfD_{Pb} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1}; \quad RfD_{ДДТ} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{дн.})^{-1};$$

$$FI = 0,8; \quad IR = 0,35 \text{ кг}/\text{раз}.$$

Таблица 4.4 – Содержание ядовитых веществ в сигаретах

Вариант	ρ (Cd), мг/пачка	ρ (Ni), мг/пачка	ρ (Pb), мг/пачка	<i>ED</i> , лет
1	0,035	0,1	0,3	37
2	0,03	0,11	0,28	40
3	0,04	0,09	0,31	35
4	0,037	0,105	0,29	40
5	0,032	0,12	0,33	32
6	0,034	0,14	0,32	20
7	0,038	0,13	0,35	20
8	0,042	0,08	0,39	15
9	0,045	0,21	0,3	20
10	0,037	0,31	0,28	20
11	0,024	0,19	0,31	9
12	0,031	0,175	0,29	10

Окончание таблицы 4.4

Вариант	ρ (Cd), мг/пачка	ρ (Ni), мг/пачка	ρ (Pb), мг/пачка	ED, лет
13	0,052	0,18	0,33	8
14	0,064	0,34	0,32	10
15	0,058	0,23	0,34	10
16	0,022	0,18	0,29	5
17	0,015	0,31	0,3	7
18	0,041	0,18	0,38	5
19	0,054	0,29	0,31	6
20	0,067	0,17	0,29	5
21	0,038	0,42	0,33	15
22	0,044	0,19	0,32	40
23	0,0138	0,33	0,35	25
24	0,0482	0,48	0,41	40
25	0,075	0,5	0,3	27
26	0,063	0,21	0,28	40
27	0,054	0,24	0,21	20
28	0,047	0,38	0,29	20
29	0,022	0,17	0,43	15
30	0,064	0,32	0,22	25

Таблица 4.5 – Содержание химических веществ в картофеле

Вариант	CF (Pb), мг/кг	CF (ДДТ), мг/кг	EF, дн./год	Вариант	CF (Pb), мг/кг	CF (ДДТ), мг/кг	EF, дн./год
1	0,000765	0,00002	240	16	0,0077	0,065	200
2	0,00072	0,000025	300	17	0,0099	0,067	240
3	0,00079	0,000015	365	18	0,00576	0,061	300
4	0,00075	0,000023	120	19	0,00444	0,001	365
5	0,00068	0,000034	200	20	0,0039	0,019	120
6	0,00124	0,000042	240	21	0,00124	0,0089	200
7	0,00431	0,000073	300	22	0,00199	0,00449	240
8	0,00287	0,000085	365	23	0,00282	0,0064	300
9	0,00787	0,002	120	24	0,01122	0,064	365
10	0,00765	0,022	120	25	0,02464	0,0192	100
11	0,00668	0,024	200	26	0,0088	0,0255	100
12	0,00775	0,028	240	27	0,0056	0,0383	100
13	0,00717	0,026	300	28	0,0048	0,0222	320
14	0,009	0,006	365	29	0,00937	0,02	320
15	0,0078	0,068	120	30	0,00765	0,048	120

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается специфика населения как объекта экологического анализа и оценки?
- 2 Что означает канцерогенное и неканцерогенное воздействие?

5 Лабораторная работа № 5. Учебная экологическая имитационная игра «ОЗЕРО»

Цель работы: вывести водоём из запущенного состояния и затем поддерживать качество воды в водоёме на уровне ПДК.

5.1 Теоретическая часть

5.1.1 Общие требования.

Управляемая экологическая система «ОЗЕРО» включает в себя следующее.

1 Водоём средних размеров в черте города, разбитый на три зоны – промышленную, среднюю и культурную.

2 Прибрежные предприятия, использующие воду озера для своих технологических процессов, загрязняя её органикой и неорганикой.

3 Гидрометслужбу, обеспечивающую краткосрочный прогноз.

4 Две стационарные станции ежедневного взятия проб воды в промышленной и средней зонах и одну передвижную – для взятия проб воды по необходимости в культурной зоне.

5 Службу управления качеством воды: подкачку чистой воды в промышленную зону **P**, откачку воды из культурной зоны **S**, искусственную аэрацию вод средней **A1** и культурной **A2** зон.

6 Финансирующий орган.

Управление экосистемой: циклическое.

В начале каждого цикла обучаемый оценивает:

- состояние озера – качество воды в каждой зоне озера, уровень воды;
- прогноз погоды на текущую декаду;
- прогноз деятельности прибрежных предприятий по объёму используемой воды и концентрациям органики и неорганики в сточных водах;
- имеющуюся в его распоряжении денежную сумму для расхода на перекачку воды и аэрацию.

5.1.2 Подключение компьютера и запуск программы.

Произвести подключение путем нажатия соответствующих кнопок функциональных блоков в следующей последовательности: системный, дисплей.

Для **запуска программы** выделите курсором файл «Lake.exe» и нажмите клавишу «Enter» (ВВОД).

После запуска программы на экране появится заставка озера и строчка МЕНЮ вверху экрана. Для того чтобы войти в меню необходимо нажать кла-

вишу «Esc». Для выбора одного из режимов, указанных в меню необходимо использовать клавиши курсора:

стрелка вправо [—>], стрелка влево [<—].

Для фиксации выбранного режима необходимо нажать клавишу «Enter».

Режимы, входящие в состав Меню.

ПОМОЩЬ – выдача на экран инструкции по работе с программой

ОЗЕРО. (При чтении инструкции двигать текст на экране можно при помощи клавиши Page Up и Page Down.)

УПРАВЛЕНИЕ – задание параметров (при задании параметров использовать клавиши стрелка вправо, стрелка влево, стрелка вверх, стрелка вниз).

СОСТОЯНИЕ – показывает состояние экосистемы на определенную дату.

РАБОТА – запуск системы на выбранный цикл.

ПРОГНОЗ – показывает прогноз погоды на выбранную декаду, прогноз деятельности предприятий на текущую декаду.

Для выхода из программы нужно использовать клавишу [F10].

Краткое руководство по работе с программой. Обучаемый в игре выполняет роль диспетчера по управлению экологической системой. Его задача состоит в том, чтобы в течение первого месяца управления вывести озеро из запущенного состояния до уровня предельно допустимых концентраций (ПДК) по кислороду, органике и неорганике, а в течение второго месяца поддерживать в озере качество воды на уровне ПДК.

После этого задачей обучаемого оказывается выбор:

- продолжительности очередного цикла (от 3 до 10 сут);
- мощности подкачки чистой и откачки загрязненной воды;
- интенсивности искусственной аэрации.

После ввода этих данных в ЭВМ моделируется естественное поведение экологической системы в течение длительности выбранного цикла.

Весь процесс в целом имеет следующие особенности. Если уровень воды в озере выходит за пределы допустимых норм, то на одни сутки станции перекачки воды переводятся автоматически на режим подъема уровня или его снижения. Если выделенная на управление денежная сумма оказывается израсходованной раньше двухмесячного срока, то обучаемый в оставшиеся дни не может воздействовать на систему (экосистема развивается с отключенными станциями перекачки воды и ее аэрации). Начиная со второго месяца управления экосистемой обучаемому начисляются штрафные баллы: по одному за каждый день, когда не было обеспечено качество воды. Обучаемый отстраняется от должности диспетчера после получения 16-го штрафного балла.

Обычный игровой цикл состоит из последовательности обращений к режимам в таком порядке: Состояние – Прогноз – Управление – Работа.

В течении июня, пока игрок выводит озеро из запущенного состояния, штрафные баллы не начисляются. В течении июля обучаемому начисляются штрафные баллы – по одному за каждый день, когда не было обеспечено качество воды в любой зоне.

Для управления экосистемой озера на 2 месяца выделяется 300 р. Эти деньги расходуются на перекачку воды и на искусственную аэрацию. Отсут-

ствие учета денежных расходов будет со стороны обучаемого большой ошибкой. Как только выделенная сумма будет израсходована, так в оставшиеся дни экологическая система будет развиваться без возможности управления со стороны обучаемого, что очень быстро приведет к ухудшению качества воды.

Таким образом, для успешного управления качеством воды в озере необходимо освоить закономерности, лежащие в основе водного баланса превращения и деструкции веществ, насыщения воды кислородом, влияния метеоусловий на экологические процессы: необходимо научиться оптимальному планированию нескольких взаимосвязанных параметров управления в условиях ограничения суммарной стоимости расходов.

Итоговая оценка выставляется обучаемому только за количество набранных штрафных баллов. Итоговыми могут быть следующие оценки:

- «отлично» – нет штрафных баллов;
- «хорошо» – штрафных баллов не более 10;
- «удовлетворительно» – штрафных баллов от 11 до 15.

Если обучаемый получает 16-й штрафной балл, то он отстраняется от должности диспетчера (оценка «неудовлетворительно»).

5.2 Практическая часть

1 Подобрать оптимальные параметры функционирования системы.

2 В отчете представить таблицу отражающую динамику изменения параметров системы за 1-й месяц работы (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Динамика изменения параметров системы

Дата	Промышленная зона			Средняя зона		
	Неорганика	Органика	O ₂	Неорганика	Органика	O ₂
1.06.	500	100	0,5	450	100	1,0
...						
1.07.						

3 Представить графики состояния озера с 1 июня по 1 июля (рисунок 5.1) с указанием уровней ПДК.



Рисунок 5.1 – Динамика изменения параметров системы в промышленной зоне

4 Сделать выводы по результатам работы за два месяца.

Контрольные вопросы

- 1 На что расходуется кислород в воде и как пополняется?
- 2 В связи с какими факторами повышается насыщение воды кислородом?
- 3 От чего зависит скорость разложения органики?
- 4 За счет чего возрастает концентрация неорганики в воде?

6 Лабораторная работа № 6. Определение максимальной приземной концентрации примеси и зоны ее рассеивания

Цель работы: изучить методику расчета максимальной приземной концентрации загрязняющих веществ (ЗВ); выполнить расчет максимальной концентрации примеси, расстояния и опасной скорости ветра от одиночного источника загрязнений с круглым сечением.

6.1 Теоретическая часть

Загрязнением атмосферы считается изменение ее состава в результате поступления газообразных, жидких и твердых примесей. За относительно чистый можно принимать такой воздух, в котором количество вредных примесей не превышает ПДК и который не оказывает существенного отрицательного влияния на растительные и животные организмы.

В настоящее время одна из основных мер предотвращения загрязнения атмосферы – строительство газоочистных сооружений и устройств. При этом каждое такое очистное сооружение характеризуется определенной степенью очистки газозвушной смеси (ГВС) от вредных веществ. Определение степени очистки ГВС (т. е. допустимой интенсивности выброса загрязняющего вещества при условии сохранения качества воздуха за пределами санитарно-защитной зоны) является важной производственной задачей.

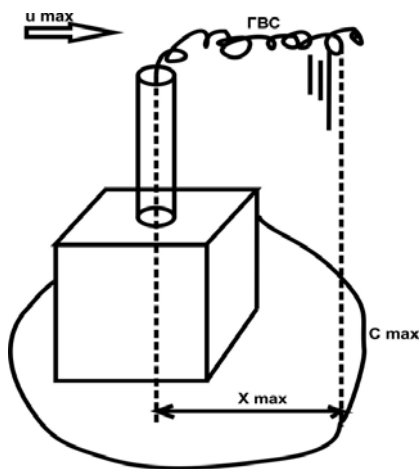


Рисунок 6.1 – Формирование поля загрязнения вокруг стационарного источника

Для решения этой задачи каждым предприятием осуществляется расчёт предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу. При расчёте ПДВ определяется максимальная приземная концентрация загрязняющего вещества C_{\max} и расстояние от трубы завода X_{\max} , на которой она будет наблюдаться (рисунок 6.1). Затем рассчитанные величины C_{\max} сравниваются с ПДК. Если $C_{\max} > \text{ПДК}$, тогда в технологические характеристики выброса вносятся коррективы и выполняются мероприятия по снижению значения C_{\max} .

Расчет ПДВ базируется на следующих положениях:

- на рассеивание ЗВ в атмосфере влияют метеорологические параметры: скорость и направление ветра, температурная стратификация атмосферы, температура атмосферного воздуха;

- максимальная приземная концентрация от данного источника загрязнения, возникающая при неблагоприятных метеорологических условиях (при опасной скорости и направлении ветра, высокой температуре атмосферы) не должна превышать ПДК за границей санитарно-защитной зоны;

- приземная концентрация загрязняющих веществ зависит от параметров источника выброса и состава ГВС.

Разработанные ПДВ, нормативы выбросов утверждаются на срок от 1 до 7 лет в зависимости от категории воздействия объекта на окружающую среду.

Мероприятия по снижению значений C_{\max} зависят от многих факторов и могут быть самыми разнообразными. Приведём некоторые из них:

- уменьшение массовых выбросов вещества M , г/с, путём установки новых или наладки существующих пылегазоулавливающих установок;

- увеличение высоты H , м, источников загрязнения атмосферы;

- увеличение скорости выхода ГВС ω_0 , м/с, из устья источника загрязнения атмосферы до проектной величины;

- гидрообеспыливание для открытых складов и узлов пересыпки (песок, щебень, гравий и др.);

- корректировка размеров санитарно-защитных зон в соответствии с результатами расчётов рассеивания;

- перенос источников загрязнения атмосферы вглубь территории предприятия;

- уменьшение одновременности работы оборудования, распределение разовых технологических операций по определённому графику.

При исчерпании всех возможных мероприятий необходима смена технологического процесса или ликвидация источника загрязнения атмосферы.

Расчёт максимальной концентрации вредного вещества C_{\max} при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем производится по формуле

$$C_{\max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot (V_1 \cdot \Delta T)^{\frac{1}{3}}}, \quad (6.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы. Для Беларуси и центральной части Европейской территории России $A = 140$;

M – масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, мг/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ в атмосферном воздухе. Для газообразных ЗВ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) $F = 1$;

m , n – коэффициенты, учитывающие условия выхода ГВС из источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местно-

сти. Для равнинной либо слабопересечённой местности с перепадом высот не более 50 м на 1 км $\eta = 1$;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT – разность между температурой газовой смеси T_1 и температурой окружающего воздуха T_2 , °С;

V_1 – расход ГВС, м³/с.

Расход ГВС определяется по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \quad (6.2)$$

где D – диаметр источника выброса, м;

ω_0 – средняя скорость выхода ГВС из устья источника выброса, м/с.

Разность между температурой ГВС и температурой окружающего воздуха определяется по формуле

$$\Delta T = T_1 - T_2. \quad (6.3)$$

Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f , v_m по формулам:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (6.4)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \left(\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H} \right)^{\frac{1}{3}}; \quad (6.5)$$

$$m = (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})^{-1} \text{ при } f < 100; \quad (6.6)$$

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2; \quad (6.7)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (6.8)$$

$$n = 4,4 \cdot v_m \text{ при } v_m < 0,5. \quad (6.9)$$

Расстояние X_{\max} , м, от источника выбросов, на котором приземная концентрация ЗВ достигает максимального значения C_{\max} , мг/м³, определяется по формуле

$$X_{\max} = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (6.10)$$

где d – безразмерный коэффициент, который находится по формулам:

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (6.11)$$

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (6.12)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_m \geq 2. \quad (6.13)$$

В формулу расчёта C_{\max} в скрытой форме входит скорость ветра. Ветер оказывает двоякое влияние на рассеивание примесей: чем больше скорость ветра, тем интенсивнее перемешивание атмосферы и тем интенсивнее распространяется ЗВ в окружающей среде; в то же время с увеличением скорости ветра уменьшается высота факела выброса над устьем трубы.

Значение опасной скорости ветра u_{\max} , м/с, при которой достигается максимальная приземная концентрация ЗВ C_{\max} , находят следующим образом:

$$u_{\max} = 0,5 \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (6.14)$$

$$u_{\max} = v_m \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (6.15)$$

$$u_{\max} = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \quad \text{при } v_m \geq 2. \quad (6.16)$$

Опасность загрязнения атмосферы оценивается показателем j , который рассчитывается по формуле

$$j = \frac{C_{\max}}{\text{ПДК}} \leq 1. \quad (6.17)$$

Если $j \geq 1$ по какому-либо из трех веществ, то для этого вещества необходимо рассчитать интенсивность выброса ГВС M , мг/с, при которой не будет существовать опасности загрязнения атмосферы, по формуле

$$M = \frac{\text{ПДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot t \cdot n \cdot \eta}. \quad (6.18)$$

6.2 Практическая часть

Задача. Определите максимальную приземную концентрацию ЗВ C_{\max} , мг/м³, для трех веществ (по отдельности) при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем. Сравните с ПДК. При необходимости рассчитайте интенсивность выброса, при которой не будет существовать опасности загрязнения атмосферы по формуле (6.18). Определите расстояние X_{\max} , м, на котором C_{\max} достигается, и опасную скорость вет-

ра u_{\max} , м/с, при которой C_{\max} возникает. Исходные данные для расчета находятся в таблице 6.1. По итогам расчета сделайте выводы об уровне загрязнения.

Примечание – $ПДК_{(SO_2)} = 0,5 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{(зола)} = 0,5 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{(NO_x)} = 0,085 \text{ мг/м}^3$.

Таблица 6.1 – Параметры выброса газовойоздушной смеси

Вариант	H , м	D , М	ω_0 , м/с	T_1 , °С	T_2 , °С	$M(SO_2)$, мг/с	$M(\text{зола})$, мг/с	$M(NO_x)$, мг/с
1	30	1,4	8	125	25	12	15,5	15,2
2	25	1,0	12	100	27	10	14,5	3,8
3	28	1,5	15	80	29	30	70,6	12,1
4	18	0,7	16	90	31	25	15,0	1,0
5	15	0,8	21	130	25	16	14,0	4,6
6	23	0,9	16	230	27	21	34,0	3,2
7	28	1,0	12	160	29	6	62,0	5,8
8	32	1,5	9	125	32	15	18,9	7,8
9	20	1,2	10	135	29	42	14,1	10,2
10	24	1,5	14	215	25	19	27,2	11,4
11	25	1,7	9	210	30	18	34,5	2,0
12	30	2,0	6	180	29	5	56,7	2,2
13	23	1,3	11	150	26	16	59,4	12,8
14	19	1,0	14	165	28	7	62,1	14,4
15	18	0,7	19	115	27	21	65,3	16,6
16	35	2,0	9	210	33	32	50,0	7,4
17	40	2,6	5	195	25	28	24,0	21,0
18	38	2,5	8	145	28	14	32,0	16,6
19	24	1,8	13	210	28	12	12,8	21,8
20	19	0,8	18	160	29	10	5,6	15,4
21	21	1,1	10	190	27	13	19,5	3,8
22	35	1,9	7	140	25	22	32	6,8
23	20	0,9	16	160	31	27	41,8	7,4
24	33	1,6	9	170	26	18	52,7	12,5
25	24	0,8	15	155	29	10	61,4	14,1
26	36	1,7	11	185	33	9	45,6	3,4
27	27	1,3	16	135	25	31	17,9	4,9
28	31	1,2	13	175	28	16	21,4	7,2
29	22	0,8	17	140	31	25	46	9,8
30	37	1,8	8	165	30	19	37	5,7

Контрольные вопросы

- 1 Что такое загрязнение атмосферы?
- 2 В чем состоит цель расчета ПДВ каждым предприятием?
- 3 На какой срок разрабатываются нормативы ПДВ и от чего это зависит?
- 4 Перечислите мероприятия по снижению максимальной приземной концентрации ЗВ до значений ПДК.

7 Лабораторная работа № 7. Измерение концентрации нитратов в воде и продуктах питания

Цель работы:

- получить представление о медицинских последствиях, связанных с загрязнением организма нитратами;
- ознакомиться с методами снижения содержания нитратов в пищевых продуктах растительного происхождения;
- ознакомиться с методами определения нитратов в воде и в продуктах питания и провести соответствующие измерения.

7.1 Теоретическая часть

Нитраты – соли и эфиры азотной кислоты, например, NaNO_3 , KNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Они являются нормальными продуктами обмена азотистых веществ любого живого организма – растительного и животного, поэтому «безнитратных» продуктов в природе не бывает. Даже в организме человека в сутки образуется и используется в обменных процессах 100 мг и более нитратов. Из нитратов, ежедневно попадающих в организм взрослого человека, 70 % поступает с овощами, 20 % – с водой, 6 % – с мясом и консервированными продуктами. Нитраты не относятся к ядовитым веществам, но представляют опасность тем, что из них образуются нитриты – соли азотистой кислоты. Именно нитриты могут оказывать токсическое действие на человека, как прямое, так и опосредованное, через образование других вредных веществ, например нитрозаминов. Нитриты опасней нитратов в 30 раз. В организме человека нитраты и нитриты быстро всасываются в желудочно-кишечном тракте. Нитраты выводятся с мочой и частично превращаются в нитриты, а нитриты, особенно при поступлении в больших количествах, реагируют с гемоглобином крови, образуя его соединение – метгемоглобин. Это вещество не может выполнять функции переносчика кислорода, как гемоглобин, что приводит к гипоксии (кислородному голоданию) тканей. В результате – ухудшение самочувствия, снижение работоспособности, общая слабость. У человека в крови в норме метгемоглобин может составлять до 2 % от общего количества гемоглобина. Прекрасным антидотом (противоядием) от метгемоглобинемии является обычная аскорбиновая кислота (витамин С). Если содержание метгемоглобина достигнет 10 %, то

наблюдается бессимптомный цианоз (синюшность), при 20...50 % появляются выраженные признаки гипоксии – одышка, тахикардия, потеря сознания, при метгемоглобинемии свыше 50 % наступает смерть.

Однако негативная роль нитратов явно преувеличена. Достаточно вспомнить, как широко используется в клинической практике нитроглицерин и другие лекарственные формы нитратов без всяких опасений нитритной интоксикации. Причина в том, что у взрослых людей под воздействием восстанавливающих ферментных систем метгемоглобин быстро превращается в оксигемоглобин (насыщенный кислородом гемоглобин). Иное дело – грудные дети, особенно до 3-месячного возраста, у которых нужные ферментные системы еще не сформированы. Поэтому в мире регистрировались отдельные случаи острых отравлений (метгемоглобинемии) младенцев питательными смесями, приготовленными на воде с высоким содержанием нитратов, а также при кормлении малышей пюре из шпината, который сильно накапливает нитраты.

Нитраты содержатся в почве, природных водах, растительном и животном материале, а также в атмосферном воздухе (в невысоких концентрациях) при его загрязнении. Разложение органических остатков (растений, животных, микроорганизмов и др.) с образованием соединений азота, которые, в свою очередь, потребляются новыми растениями, микроорганизмами и т. д., – это сущность круговорота азота в природе. В результате деятельности нитрофицирующих бактерий из нитратов образуются нитриты, но их естественная концентрация в воде и растениях обычно очень мала.

Помимо природного, имеется и другой источник попадания нитратов и нитритов в почву и грунтовые воды – антропогенный, т. е. связанный с деятельностью человека. Это городские отбросы, промышленные отходы, выхлопные газы и, конечно же, азотные удобрения. В промышленной сфере наибольшее поступление в окружающую среду связанного азота дают производства по переработке топлива, предприятия пищевой промышленности, нефтеперерабатывающие заводы.

Содержание нитратов в поверхностных и подземных водах варьирует в широких пределах в зависимости от геохимических условий, применения азотных удобрений, методов очистки сточных вод. В воде системы городского водоснабжения содержание нитратов обычно невысокое. Значительно большие концентрации нитратов обнаруживаются в грунтовых водах и колодезной воде в сельской местности, особенно в районах интенсивного земледелия и вблизи животноводческих комплексов. Нитраты, поступающие в организм человека с водой, имеют особое значение, т. к. они в 1,25 раза токсичнее, чем нитраты в продуктах питания. Нитраты легко усваиваются в организме человека, где они могут образовывать такие соединения, как нитриты, окислы азота, аммиак.

Об удобрениях следует сказать особо. В современном сельскохозяйственном производстве без них обойтись нельзя. Азот – это главный питательный элемент для растений, и для бедных азотом почв просто необходимо дополнительное внесение азотных удобрений. С давних пор в этом качестве использовались органические удобрения (навоз, птичий помет). Сейчас в больших количествах применяют минеральные удобрения (мочевину и др.). Избыточное

применению азотсодержащих удобрений, особенно органических, приводит к накоплению нитратов в сельскохозяйственной продукции.

Способность к накоплению нитратов у разных растений существенно отличается. «Чемпионом» является шпинат. Много нитратов накапливают свекла, баклажаны, репа, укроп, немного меньше – капуста, салат, петрушка, морковь. Картофель, томаты, огурцы, горох умеренно аккумулируют эти соединения, а фрукты, ягоды и злаки – слабо. Из фруктов относительно «нитратными» рекомендовали себя бананы и клубника.

Не только разные растения, но и отдельные части одного растения обладают различной способностью накапливать нитраты. В стебле укропа концентрация нитратов гораздо выше, чем в мелких веточках; в верхних листьях капустного кочана – в два раза больше, чем во внутренних. Капустная кочерыжка, сердцевина моркови, кончики свеклы, редиски, поверхностные слои картофеля и огурцов – места наибольшего содержания нитратов. В молочных продуктах и рыбе нитратов совсем мало, в свежем мясе – только следы.

Содержание нитратов в овощной продукции контролируется службой Государственного санитарно-эпидемиологического надзора, которая руководствуется нормативами, утвержденными Минздравом (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – ПДК нитратов в растительных продуктах

Растительный продукт	Содержание нитратов, мг/кг
Картофель	150
Капуста белокочанная, кабачки	400
Морковь	200
Огурцы	150
Помидоры	100
Свекла	140
Лук репчатый (перо)	80 (400)
Арбузы, яблоки, груши, виноград	60
Листовые овощи (салат, петрушка, укроп, щавель)	1500
Перец сладкий	200
Редис	1500
Баклажаны	300
Вода	45

Для ранних овощей и фруктов, выращенных в защищенном грунте, нормативы увеличены вдвое.

Нитриты образуются из нитратов не только в почве и воде, но и в продуктах растениеводства в процессе их хранения и переработки – на поверхности поврежденных овощей, при их измельчении, при варке пищи в алюминиевой посуде. Например, при хранении свежего шпината в холодильнике в нем медленно уменьшается количество нитратов, но возрастает количество нитритов, достигая 3600 мг/кг сухой массы. Такой же процесс идет при хранении открытых банок консервированного пюре из шпината, особенно при комнатной тем-

пературе. Вот почему овощные соки и пюре следует готовить непосредственно перед употреблением.

Нитриты традиционно используют как консервант и стабилизатор розово-красного цвета в колбасных изделиях, копченостях, мясных консервах, поэтому содержание в них нитритов самое высокое, в отличие от свежих овощей и фруктов, в которых этих соединений практически нет (таблица 7.2). Небольшое количество нитритов обнаруживается в сыре, т. к. их добавляют в молоко для подавления газообразующей микрофлоры (во избежание вспучивания сыра).

Таблица 7.2 – Содержание нитритов в некоторых пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание нитритов, мг/кг
Овощи	0,2
Фрукты	0,0
Молоко	0,4
Сыры	1,2
Мука пшеничная (ржаная)	1,2 (0,8)
Рыба речная (морская)	2,1 (0,7)
Мясные консервы	10,0
Колбасы, копчености	16,5

Таким образом, опасность нитратов для здоровья определяется не только их концентрацией в воде и пище, но и условиями, способствующими их переходу в нитриты. Поступление же нитритов оценить вообще очень сложно ввиду многообразия условий их образования.

Серьезную угрозу для здоровья людей представляет группа нитрозосоединений, которые могут содержаться в некоторых продуктах и образовываться из нитритов уже в организме человека. Среди этих веществ выделяют два класса соединений с различными свойствами – нитрозамины и нитрозамины. Около 80 % исследованных нитрозаминов и все нитрозамиды оказались канцерогенами и мутагенами, а в опытах на животных доказано еще тератогенное и эмбриотоксическое действие нитрозамидов. Причем нитрозамиды приводят чаще всего к раку печени, пищевода, дыхательной системы, почек, а нитрозамиды – периферической и центральной нервной системы, органов пищеварительного тракта. Кроме того, эти вещества разрушают витамины А, В, нарушают функцию щитовидной железы.

Нитрозамиды могут содержаться в сырой и копченой рыбе, копченых колбасах и других продуктах животного происхождения, соевом масле, вине, пиве и даже в питьевой воде. В определенных условиях они способны образовываться в продуктах, а также прямо в желудке человека из неканцерогенных предшественников – нитратов и нитритов. Нитриты в кислой среде желудка соединяются с вторичными и третичными аминами (продуктами неполного расщепления белков), в результате чего образуется группа нитрозамидов. Нитритов, как указывалось ранее, мы получаем с пищей не так уж много, но в условиях пониженной кислотности желудочного сока под воздействием нитрифицирующих

бактерий из нитратов образуются нитриты. Вот по такой цепочке из вполне безобидных нитратов образуются сильнейшие канцерогены.

Активным ингибитором процессов нитрозообразования является все та же аскорбиновая кислота. Источником вторичных аминов, кроме белковых продуктов (мясо, рыба, творог и др.), являются овощи, фруктовые соки. В среднем за один прием пищи человек получает до 100 мг вторичных аминов.

Нитрозосоединения могут образовываться из нитритов и при длительном хранении, а также в процессе приготовления пищи: жарении, варке, копчении, солении. Это вполне понятно: при приготовлении мясных блюд происходит распад некоторой части белков с образованием аминокислот и аминов, а дальше – цепочка: нитриты + амины = нитрозамины. Особенно активно процесс нитрозирования идет при копчении.

Повышенному образованию нитрозаминов в организме человека при соответствующей диете (овощные консервы, копчености и т. п.) способствует курение, а также употребление ряда лекарств – анальгина, тетрациклина, теофедрина, анаприлина и некоторых других.

Каждый человек должен, по возможности, ограничивать количество поступающих в организм нитрозаминов, нитратов и нитритов. Прежде всего следует выбирать овощи и фрукты с содержанием нитратов в пределах допустимых норм. В тех случаях, когда нет полной уверенности в качестве продуктов, можно использовать приемы, позволяющие уменьшить содержание в них нитратов, – отваривание, квашение, засолку, консервирование. Так, в консервированных огурцах уже на вторые сутки содержание нитратов снижается до 21,6 % от исходного уровня, а через неделю их нет вовсе.

Очень важно хорошо промывать свежие молодые овощи и правильно их обрабатывать: снимать верхние листья и удалять кочерыжку капусты, срезать кончики редиса, свеклы и других корнеплодов.

Нельзя увлекаться копченостями, мясными консервами, шпротами, да и частое употребление вареных колбас вряд ли принесет большую пользу здоровью. Гораздо полезней блюда из свежего мяса или рыбы. Нужно обязательно использовать в питании продукты, богатые витаминами-антиоксидантами – А, С, Е, которые предотвращают образование нитрозаминов.

При кипячении воды нитраты из нее не удаляются.

На промышленном уровне внедряются новые технологии при производстве копченостей и консервов, применяются безнитритные добавки к колбасам, позволяющие сохранить их товарный вид, не ухудшая качества.

Таким образом, контроль химического состава природных вод и продуктов питания приобретает первостепенное значение.

7.2 Практическая часть

Для измерения нитратов в воде и продуктах питания используются лабораторные иономеры И-160.1МП, настроенные, согласно Руководства по эксплуатации, на измерение концентрации нитратов в миллиграммах на килограмм. Прибор состоит из преобразователя и штатива. Для проведения измерений ис-

пользуют измерительный электрод 3М-NO3-07СР, электрод сравнения ЭВЛ-1МЗ.1 и термокомпенсатор автоматический ТКА-7.3.

Принцип работы прибора. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения рХ (рН) и Eh контролируемого раствора.

Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от активности ионов NO_3^- и температуры раствора.

Электролитический контакт вспомогательного электрода с контролируемым раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия (КСl) из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор КSl, непрерывно просачиваясь через электролитический ключ, предотвращает проникновение из анализируемого раствора в систему вспомогательного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода. ЭДС электродной системы преобразуется и считывается на цифровом табло прибора.

В преобразователе предусмотрено преобразование измеряемой величины из единиц активности ионов в единицы концентрации. Преобразователь обеспечивает индикацию показаний в режиме Сх с точностью $\pm 5\%$ от значения рХ, выводимого на дисплей. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения. Измеряя ЭДС E (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – mV) электродной системы, можно определить активность ионов NO_3^- (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – рХ) и их массовую концентрацию (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – pg/kg, mg/kg, g/kg). Для измерения E используется электродная система, которая состоит из измерительного электрода и электрода сравнения. Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает E в общем случае линейно, зависящую от рХ. Электрод сравнения обеспечивает стабильный электрический контакт электродной системы с общим проводом измерительного входа нитратомера.

Точка, в которой ЭДС электрода не зависит от температуры, называется *изопотенциальной*. Величины E_i и рХ_i называются координатами изопотенциальной точки.

Конструкция прибора. Общий вид преобразователя и элементы его конструкции показаны на рисунках 3.1 и 3.2 (см. лабораторную работу № 3).

Проведение измерений.

1 Подготовка прибора к работе проводится в соответствии с инструкцией.

Перед погружением в анализируемую среду при перемещении из раствора более высокой концентрации в менее концентрированный раствор (с более высоким значением рХ) электродная система должна промываться дистиллированной водой.

При измерениях необходимо учитывать, что время установления потенциала измерительного электрода и инерционность термокомпенсатора ТКА-7.3 обычно не превышают 3 мин с момента погружения в анализируемую среду.

Порядок проведения измерений:

– измерительный электрод 3М-NO3-07СР закрепить в штативе и подключить к гнезду ИЗМ;

– электрод сравнения ЭВЛ-1МЗ закрепить в штативе, вынуть резиновую пробку в боковой стенке электрода и электрод подключить к гнезду подключения вспомогательного электрода ВСП 3;

– автоматический термокомпенсатор закрепить в штативе и подключить к входу ТКА;

– иономер включить в сеть и прогреть в течение 15 мин;

– промыть электрод дистиллированной водой и удалить остатки воды фильтровальной бумагой;

– погрузить электроды и термокомпенсатор в измеряемый раствор;

– нажать клавишу СЕТЬ. На дисплее отражается концентрация раствора;

– измерения провести 3 раза. Окончательное значение измеренной величины – среднее арифметическое из полученных значений.

Подготовка проб продуктов питания к работе.

1 На 20 г свежеразмолотых плодов или овощей наливают 100 мл 1-процентного раствора алюмокалиевых квасцов. Анализ проводят в стаканчиках на 150 мл, взбалтывают 3...5 мин.

2 В стакан с анализируемой средой помещают электроды прибора.

3 Результаты измерений оформите в виде таблицы 7.3, сделайте вывод.

4 В промежутках между измерениями измерительный электрод хранить в растворе для вымачивания, т. е. в растворе KNO_3 с концентрацией 0,1 моль/кг H_2O . Вспомогательный электрод можно хранить в сухом виде с закрытой пробкой либо в насыщенном растворе KCl .

Таблица 7.3 – Результаты измерения

Наименование продукта	Измеренное содержание нитратов, мг/кг	Допустимое содержание нитратов, мг/кг	Заключение

Контрольные вопросы

1 Воздействие нитратов и нитритов на организм человека.

2 Воздействие нитрозаминов и нитрозамидов на организм человека.

3 Методы снижения содержания нитратов.

4 Назначение и принцип работы иономера.

8 Лабораторная работа № 8. Расчет концентраций загрязняющих веществ в сбросе сточных вод машиностроительного предприятия

Цель работы:

- изучить методику расчетов концентраций загрязняющих веществ в сточных водах промышленного предприятия;
- выполнить расчет концентраций ЗВ в сбросе сточных вод.

8.1 Теоретическая часть

Сточные воды – это воды, отводимые после использования их в бытовой или производственной деятельности человека. Загрязняющими воду веществами называются вещества, нарушающие нормы качества воды.

Загрязнения сточных вод разделяют на группы: нерастворимые, коллоидные, растворимые, минеральные (песок, минеральные соли, кислоты, щелочи) и органические (растительные и животные), бактериальные и биологические.

Машиностроительные предприятия сбрасывают три типа загрязненных вод: *бытовые, поверхностные и производственные*.

Бытовые воды образуются при работе душевых, туалетов, столовых. Эти воды очищаются на станциях очистки городов, районов.

Поверхностные сточные воды – это воды, стекающие с территорий предприятий при дождях, таянии снега, поливке территории. Основными загрязнениями этих вод являются механические загрязнения (песок, опилки, стружка, сажа), нефтепродукты (бензин, керосин, масла).

Основными источниками загрязнения сточных вод на машиностроительном предприятии являются:

- металлургическое оборудование, требующее водяного охлаждения;
- устройства газоочистки, оборудование гидравлического литья;
- кузнечно-прессовое оборудование с водяным охлаждением;
- промывка термического оборудования, закалочных ванн;
- промывка травильных и закалочных ванн.

Каждое производство дает специфическое загрязнение сточных вод. Металлургические цеха используют воду для охлаждения оборудования и загрязняют ее взвешенными веществами и маслами. Сточные воды кузнечно-прессовых цехов содержат крупные частицы окалины, пыль, масла. Основу загрязнения сточных вод механических цехов составляют механические и абразивные частицы, пыль, масла. Гальваническое производство загрязняет сточные воды щелочами, кислотами, солями тяжелых металлов, окалиной и пылью.

Качество воды в водоемах нормируется в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнений». Согласно нормативной документации водоемы подразделяют на:

- водоемы питьевого и культурно-бытового назначения (I категория);
- водоемы рыбохозяйственного назначения (II категория).

Показатели свойств воды в водоемах I категории должны соответствовать нормам в отборе, расположенном на расстоянии 1 км выше по течению от пункта водоиспользования. В водоемах II категории свойства воды должны соответствовать норме – не далее 500 м от места выпуска загрязнений.

В основу нормирования вредных и ядовитых веществ в водоемах положен принцип *лимитирующих показателей вредностей (ЛПВ)*, т. е. наиболее вероятного неблагоприятного воздействия каждого вещества. Качество воды в водоемах I категории оценивается с помощью санитарно-токсикологических, общесанитарных и органолептических ЛПВ. Для водоемов II категории рыбохозяйственного назначения дополнительно используются токсикологические и рыбохозяйственные ЛПВ.

Нормируемые значения устанавливаются для таких показателей свойств воды, как количество количества механических взвешенных веществ и плавающих примесей, значение рН, концентрация минеральных примесей, содержание растворенного кислорода, биохимическая потребность в кислороде, ПДК ядовитых и вредных веществ, содержание болезнетворных бактерий, прозрачность и окраска воды, запах и привкус, температура воды.

Во всех водоемах показатели санитарного состояния должны соответствовать соотношению

$$\sum_{i=1}^{i-1} C_m^i / ПДК_i \leq 1, \quad (8.1)$$

где C_m^i – концентрация вещества i -го ЛПВ в створе водоема;

$ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Для водоемов I категории проверяется выполнение трех неравенств, а для II категории – пяти неравенств.

Условия спуска сточных вод определены «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Запрещается сброс сточных вод, которые могут быть использованы в системах оборотного или повторного водоснабжения, в бессточных производствах воды; вод, содержащих ценные отходы, реагенты в количествах, превышающих ПДК; вод, содержащих вещества, для которых не установлена ПДК.

Требования к сбросу сточных вод распространяются на все существующие выпуски производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод любых объектов независимо от ведомственной принадлежности. В требованиях к спуску сточных вод в водные объекты учитываются степени возможного смешения и разбавления сточных вод водой объекта на пути от места выпуска сточных вод до расчетного створа ближайшего пункта водопользования. Место выпуска должно располагаться ниже по течению реки от границ населенного пункта и всех мест его водопользования.

Методика расчета допустимой концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. Расчет допустимого состава сточных вод проводится с учетом, во-первых, характеристик загрязнений, во-вторых, характеристик водоема, в который сбрасываются сточные воды.

Допустимая концентрация взвешенных веществ C_o^{636} определяется по формуле

$$C_o^{636} < C_6^{636} + n \cdot ПДК^{636}, \quad (8.2)$$

где C_6^{636} – концентрация взвешенных веществ в водоеме до сброса сточных вод;
 $ПДК^{636}$ – предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в водоеме;
 n – кратность разбавления, т. е. доля расхода воды водоема в разбавлении сточных вод.

В основу расчета допустимой концентрации загрязнений в сбросе сточных вод положен процесс уменьшения концентраций загрязнений за счет перемешивания сточных вод с водной средой водоема. Характеристикой интенсивности процесса разбавления служит кратность разбавления. Расчет кратности разбавления n ведется по формуле

$$n = (C_o - C_6) / (C - C_6), \quad (8.3)$$

где C_o – концентрация загрязнений в сточных водах;

C_6, C – концентрация загрязнений в водоеме до и после сброса.

В случае сброса в водоем с направленным течением кратность разбавления рассчитывается по формуле

$$n = (m Q_6 + Q_v) / Q_v, \quad (8.4)$$

где m – коэффициент смешения, характеризующий часть воды водоема, которая участвует в разбавлении;

Q_6 – расход воды в водоеме;

Q_v – объемный расход сточных вод, сбрасываемых в водоем.

Расчет допустимой концентрации вредных растворимых веществ в сточных водах проводится по формуле

$$C_o^i \leq n (C_m^i - C_6^i) + C_6^i, \quad (8.5)$$

где C_m^i – максимально допустимая концентрация i -го вещества с учетом максимальных концентраций и ПДК всех веществ этой группы лимитирующих показателей (ЛПВ);

C_6^i – концентрация i -го вещества в водоеме до сброса сточных вод.

C_m^i определяется по формуле

$$C_m^i = ПДК_i \left(1 - \sum_{i=1}^{i-1} C_m^i / ПДК_i \right). \quad (8.6)$$

Машиностроительное предприятие, расположенное вблизи рек, при решении вопроса сброса сточных вод должно обосновать возможность сброса. Для этой цели используется расчет по методу Фролова-Родзиллера, основанный на

решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии. В расчете приняты допущения: речной поток безграничный, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод сосредоточенный.

Этапы проведения расчетов по методу Фролова-Родзиллера.

- 1 Определение кратности разбавления по формуле (8.4).
- 2 Определение коэффициента смещения по формуле

$$m = (1 - e^{-k\sqrt[3]{L}}) / (1 + (Q_e / Q_v) e^{-k\sqrt[3]{L}}), \quad (8.7)$$

где k – коэффициент гидравлических условий смешения, $k = \psi \varphi \sqrt[3]{D_T / Q_v}$;

ψ – коэффициент учета расположения места выпуска сточных вод (для берегового выпуска $\psi = 1$, для выпуска в сечение русла $\psi = 1,5$);

$$D_T = (g H \omega) / (M C_{Ш}), \quad (8.8)$$

где g – ускорение свободного падения;

H – средняя глубина русла;

ω – средняя по сечению русла скорость течения реки на удалении L от места выпуска сточных вод;

M – функция коэффициента Шези для воды, $M = 22,3 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$;

$C_{Ш}$ – коэффициент Шези, $C_{Ш} = 40 \dots 44 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$.

$$\varphi = L / L_H, \quad (8.9)$$

где L – длина русла от сечения выпуска до расчетного створа;

L_H – расстояние между этими параллельными сечениями в нормальном направлении.

3 Определение концентрации загрязнений при полном перемешивании сточных вод в произвольный момент времени:

$$C = t (C_o Q_v + \sum(C_e Q_e)) / V, \quad (8.10)$$

где $t = V / (Q_v + \sum(Q_e - Q_n))$;

V – объем водоема;

Q_n – потери расхода воды в водоеме без уноса загрязнений (от испарения).

4 Определение допустимой концентрации загрязнений сточных вод производится по формуле (8.5).

5 Определение максимально допустимой концентрации в очищенных сточных водах производится в соответствии с формулой (8.6).

Пример расчета допустимого состава сточных вод

Для машиностроительного предприятия, расположенного вблизи реки, требуется оценить возможность сброса производственных сточных вод в реку

(водоем I категории).

Решение

1 Определение коэффициента смешения m (см. формулу (8.7)):

$$m = (1 - e^{-k\sqrt[3]{L}}) / (1 + (Q_{\epsilon} / Q_v) e^{-k\sqrt[3]{L}}) = \\ = (1 - 2,718^{-0,329\sqrt[3]{500}}) / (1 + (5 \cdot 10^4 / 5 \cdot 10^2) \cdot 2,718^{-0,329\sqrt[3]{500}}) = 0,11.$$

2 Определение коэффициента φ (см. формулу (8.9)):

$$\varphi = L / L_H = 500 / 250 = 2.$$

3 Определение коэффициента гидравлического смешения k :

$$k = \psi \varphi \sqrt[3]{D_T / Q_v} = 1,5 \cdot 2 \sqrt[3]{0,659 / 500} = 0,3291.$$

4 Определение коэффициента турбулентной диффузии по формуле (8.8):

$$D_T = g H \omega / M C_{ш} = 9,81 \cdot 15 \cdot 4 / 22,3 \cdot 40 = 0,659.$$

5 Определение кратности разбавления (см. формулу (8.4)):

$$n = (m Q_{\epsilon} + Q_v) / Q_v = (0,11 \cdot 5 \cdot 10^4 + 500) / 500 = 12.$$

6 Определение периода полного обмена воды в водоеме (см. формулу (8.10)):

$$t = V / (Q_v + \sum Q_{\epsilon} - Q_n) = 5 \cdot 10^6 / (500 + (5 \cdot 10^4 - 500)) = 100 \text{ ч.}$$

7 Определение концентрации примесей в водоеме при полном перемешивании сточных вод в момент времени t :

– по фенолу (C_o^1).

Максимальная допустимая концентрация в очищенных сточных водах:

$$C_{m1}^1 = ПДК_1(1 - \sum C_m^i / ПДК_i) = ПДК_1(1 - C_{\epsilon 2} / ПДК_2) = \\ = 0,001 \cdot (1 - 0,05 / 0,1) = 0,0005 \text{ мг/л.}$$

Допустимая концентрация фенола в очищенных сточных водах при сбросе:

$$C_o^1 \leq n (C_{m1}^1 - C_{\epsilon 1}) + C_{\epsilon 1} = 12 \cdot (0,0005 - 0) + 0 = 0,006 \text{ мг/л.}$$

Концентрация фенола при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме:

$$C_1 = t (C_o^1 Q_v + \sum_{i=1}^{i-1} C_{\epsilon 1} Q_{\epsilon}) / V = 100 (0,006 \cdot 500 + 0) / (5 \cdot 10^6) =$$

$$= 0,00006 \text{ мг/л};$$

– по хрому (C_o^4).

Максимально допустимая концентрация хрома в очищенных сточных водах:

$$\begin{aligned} C_{m4}^4 &= ПДК_4 (1 - \sum C_m^i / ПДК_i) = ПДК_4 (1 - C_{\delta 7} / ПДК_7 - C_{\delta 4} / ПДК_4) = \\ &= 0,1 \cdot (1 - 0,01/10 - 0,005/0,1) = 0,0949 \text{ мг/л}. \end{aligned}$$

Допустимая концентрация хрома в очищенных сточных водах при сбросе:

$$C_o^4 \leq n (C_{m4}^4 - C_{\delta 4}) + C_{\delta 4} = 12 \cdot (0,0949 - 0,005) + 0,005 = 1,0838 \text{ мг/л}.$$

Определение концентрации хрома при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме:

$$\begin{aligned} C_4 &= t (C_o^4 Q_v + \sum C_{\delta 4} Q_{\delta}) / V = \\ &= 100 \cdot (1,0838 \cdot 500 + 0,005 \cdot 5 \cdot 10^4) / (5 \cdot 10^6) = 0,015838 \text{ мг/л}; \end{aligned}$$

– по кадмию (C_o^5).

Максимальная концентрация кадмия в очищенных сточных водах:

$$\begin{aligned} C_{m5}^5 &= ПДК_5 (1 - \sum_{i=1}^{i-1} C_{m i} / ПДК_i) = 0,01 (1 - C_{\delta 2} / ПДК_2) = \\ &= 0,01 \cdot (1 - 0,05/0,1) = 0,005 \text{ мг/л}. \end{aligned}$$

Допустимая концентрация кадмия в очищенных сточных водах при сбросе:

$$C_o^5 \leq n (C_{m5}^5 - C_{\delta 5}) + C_{\delta 5} = 12 (0,005 - 0) + 0 = 0,06 \text{ мг/л}.$$

Определение концентрации кадмия при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме:

$$C_5 = t (C_o^5 Q_v + \sum C_{\delta 5} Q_{\delta}) / V = 100 \cdot (0,06 \cdot 500) / (5 \cdot 10^6) = 0,0006 \text{ мг/л};$$

– взвешенные вещества (C_o^8).

Определение допустимой концентрации взвешенных веществ в сточных водах при сбросе:

$$C_o^8 \leq C_{\delta 8} + n ПДК^{63\delta} = 5 + 12 \cdot 10 = 125 \text{ мг/л}.$$

8 Оценка возможности сброса сточных вод в водоем оформляется в виде таблицы 8.1.

Таблица 8.1 – Оценка возможности сброса сточных вод

Ингредиент	Фактическая концентрация загрязнений сточных вод, мг/л	Максимально допустимая концентрация очищенных загрязнений сточных вод, мг/л	Допустимая концентрация загрязнений в очищенных сточных водах, мг/л	Концентрация загрязнений при полном перемещении сточных вод, мг/л	ПДК загрязнений в воде водоема, мг/л	Оценка допустимости сброса сточных вод
Фенол	0,01	0,0005	0,006	0,00006	0,001	Допустимы
Хром	0,15	0,00949	1,0838	0,015838	0,1	Допустимы
Кадмий	0,2	0,005	0,06	0,0006	0,01	Допустимы
Взвешенные вещества	50	–	125	–	4...10	Допустимы

Примечание – Для оценки возможности сброса необходимо от концентрации загрязнения при полном перемешивании сточных вод отнять ПДК. Если значение получается со знаком «минус» – это «допустимо». Если значение получается со знаком «плюс» – это «превышение»

8.2 Практическая часть

Задача. Оцените возможность сброса производственных сточных вод в реку (водоем I категории) для машиностроительного предприятия. Содержание ЗВ в водоеме до выброса сточных вод приведено в таблице 8.2.

Сточные воды содержат взвешенные и растворимые вещества согласно выданному заданию (таблица 8.3).

Исходные данные приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.2 – Загрязняющие вещества в водоеме

Наименование ингредиента	Лимитирующий показатель вредности	Загрязнение C_{vi} , мг/л
Бензин (C_{62})	Органолептический	0,05
Бензол (C_{67})	Санитарно-токсический	0,01
C_{2}^{6+} (C_{64})	Санитарно-токсический	0,005
Взвешенные вещества (C_{68})		5

Таблица 8.3 – Загрязнения сточных вод машиностроительного предприятия

Наименование ингредиента C_{oi}	ПДК, мг/л	Лимитирующий показатель вредности	Концентрация загрязняющих веществ $C_{факт}$, мг/л, по вариантам																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Фенолы (C_{01})	0,001	Органолептический	0,01	–	–	0,015	0,02	0,019	–	0,01	0,01	–	0,017	–	0,013	–	–		
Бензин (C_{02})	0,1	Органолептический	–	0,4	2	2,5	0,5	–	0,7	1,5	–	–	0,85	–	0,65	1,0	0,3	0,18	
HCu^{2+} (C_{03})	1	Санитарно-токсический	–	–	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Cr^{6+} (C_{04})	0,1	Санитарно-токсический	0,15	–	–	0,25	–	0,2	–	–	–	–	0,14	0,17	–	0,21	–	0,18	
Cd^{2+} (C_{05})	0,01	Органолептический	0,2	–	0,3	–	–	–	0,1	–	–	–	0,15	–	0,3	–	0,25	0,17	
Цианиды (C_{06})	0,1	Санитарно-токсический	–	0,2	–	–	–	0,3	0,15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Бензол (C_{07})	4...10	Санитарно-токсический	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3	–	1,4
Взвешенные вещества (C_{08})	4...10		50	75	100	55	70	65	90	85	80	60	68	56	64	110	110	95	95

Таблица 8.4 – Исходные данные

Параметры расчетов	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Коэффициент места расположения выпуска сточных вод ψ	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Длина русла реки от сечения выпуска до расчетного створа L , м	500	550	600	700	650	750	680	800	780	675	570	590	730	830	450
Расстояние между сечением выпуска и створа в нормальном направлении $L_{н}$, м	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Средняя глубина русла реки H , м	15	10	11	12	13	14	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	10,8	16
Средняя по сечению русла скорость течения реки ω , м/с	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Коэффициент Шези $C_{Ш}$, м ^{0,5} /с	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44	40...44
Объем водоемов V , 10 ⁶ · м ³	5	3	3,5	4	4,5	5,5	3,2	4,2	5,2	6	7	7,2	6,5	7,5	6,2
Объем расхода воды водоема Q_6 , м ³ /ч	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Объем расхода сточных вод $Q_в$, м ³ /ч	500	300	450	510	520	530	440	460	470	480	490	540	550	560	500
Потери воды Q_n , м ³ /ч	500	300	450	510	520	530	440	460	470	480	490	540	550	560	500

Контрольные вопросы

- 1 Что называют сточными водами? На какие группы делятся загрязнения сточных вод?
- 2 Перечислите типы сточных вод машиностроительного предприятия и источники их образования.
- 3 На какие категории подразделяются водные объекты?
- 4 Что лежит в основе нормирования качества вод водных объектов? Какие показатели нормируются?
- 5 Перечислите основные требования к спуску сточных вод.

Список литературы

- 1 **ТКП 17.06-08-2012 (02120)**. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. – Минск: Минприроды, 2012. – 73 с.
- 2 Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 42 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 20.05.2020.
- 3 Инструкция о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 43 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 26.05.2020.
- 4 Основы экологии: курс лекций / А. В. Щур [и др.] – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – 142 с.: ил.
- 5 **Челноков, А. А.** Общая и прикладная экология: учебное пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 654 с.: ил.