

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техносферная безопасность»

ЭКОЛОГИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
очной формы обучения*



Могилев 2025

УДК 504(075.8)
ББК 20.1
Э40

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техносферная безопасность» «26» февраля 2025 г.,
протокол № 7

Составители: канд. вет. наук, доц. Т. Н. Агеева;
канд. биол. наук, доц. Н. Н. Казаченок;
канд. техн. наук, доц. И. В. Шилова

Рецензент ст. преподаватель Т. А. Полякова

Методические рекомендации к лабораторным работам содержат основные теоретические положения по теме, методику выполнения лабораторных работ, формулы для расчета, варианты заданий и предназначены для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» очной формы обучения.

Учебное издание

ЭКОЛОГИЯ

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 26 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, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Управление уровнем загрязнения воды в реке	4
2 Лабораторная работа № 2. Определение индивидуальных рисков здоровью населения.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Определение кислотности растворов.....	13
4 Лабораторная работа № 4. Управление уровнем загрязнения воды в озере	18
5 Лабораторная работа № 5. Определение допустимых сбросов сточных вод	21
6 Лабораторная работа № 6. Определение содержания нитратов в воде и продуктах питания	28
7 Лабораторная работа № 7. Измерение шумового загрязнения.....	34
8 Лабораторная работа № 8. Определение площади зеленых насаждений для воспроизводства кислорода в городе	38
Список литературы.....	47

1 Лабораторная работа № 1. Управление уровнем загрязнения воды в реке

Цель работы: выбор оптимальных параметров функционирования природно-хозяйственной системы, сочетающих получение максимальной прибыли от ведения хозяйственной деятельности бассейне реки с учётом затрат и соблюдение нормативов качества окружающей среды.

1.1 Теоретическая часть

Программа «Малая река» моделирует функционирование природно-хозяйственной системы, в которую входит: участок реки, промышленное предприятие, животноводческий комплекс, сельскохозяйственные угодья, жилой поселок, передвижная станция контроля качества воды. 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.

Прибыль от ведения хозяйственной деятельности складывается из следующих элементов:

- прибыли, полученной от реализации условной продукции предприятия;
- прибыли, полученной от животноводческого комплекса;
- прибыли от урожая сельскохозяйственных угодьев: пшеницы.

Затраты складываются из затрат на осуществление природоохранных мероприятий и затрат на внесение удобрений и ядохимикатов.

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, БПК₅, 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.

Для продолжения работы необходимо нажать пробел. В программе предусмотрено два вида ввода данных:

1) ввод числовых значений осуществляется с помощью клавиш «0, 1, 2, ..., 9». После набора числа необходимо нажать клавишу «ENTER»;

2) выбор с помощью клавиш «стрелка вверх», «стрелка вниз» и «ENTER».

В начале тура задаются параметры функционирования системы: интенсивность работы промышленного предприятия, поголовье скота для выращивания на ферме, методы очистки сточных вод предприятия и фермы, полевая культура для выращивания на прибрежных полях, количество применяемых удобрений и пестицидов, вид вспашки, ширина лесопосадок вдоль реки, искусственная аэрация.

С помощью программы «Малая река» можно каждый год задавать разные природоохранные воздействия (например, поочередно задавать методы очистки сточных вод: первый год – биологическая с доочисткой, второй год – биологическая, третий год – механическая очистка, четвертый – без очистки), оставляя без изменений другие управляющие воздействия, и наблюдать изменения концентрации загрязняющих веществ в реке и экономические характеристики. Это позволит определить оптимальный метод очистки сточных вод предприятия, работающего с максимальной интенсивностью, и фермы с максимальным поголовьем скота. Можно вносить разные дозы удобрений и ядохимикатов и наблюдать за изменением концентрации веществ в воде.

После задания параметров на экране можно наблюдать динамику концентраций кислорода, БПК₅, атразина, цинеба, метафоса в речной воде и изменение уровня воды в реке. Можно посмотреть динамику концентраций веществ после дождя в течение 72 ч, а также изменения концентрации веществ не только в месте нахождения передвижной станции контроля качества воды, но и вдоль реки в выбранном месте.

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

1.2 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 1.1, сделайте вывод.

Таблица 1.1 – 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 1.1, сделайте вывод.

Третий цикл. Подбор оптимальных параметров функционирования системы. Результаты оформите в виде таблицы 1.1, 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?
- 4 Что такое аэрация?

2 Лабораторная работа № 2. Определение индивидуальных рисков здоровью 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.

2.1 Теоретическая часть

Население занимает особое место среди объектов экологического анализа. 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 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:

$$Risk = I \cdot SF, \quad (2.1)$$

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:

$$HI = I/RfD, \quad (2.2)$$

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:

$$Risk_T = \sum_{i=1}^n Risk_i. \quad (2.3)$$

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

$$I = \frac{\rho \cdot CR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (2.4)$$

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

$$EFD = EF \cdot ED, \quad (2.5)$$

где EF – частота воздействия, дн./год;

ED – продолжительности воздействия.

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

$$I = \frac{\rho \cdot IR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (2.6)$$

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

В случае потребления загрязненной воды формула приобретает вид

$$I = \frac{CW \cdot IR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (2.7)$$

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

$$I = \frac{CF \cdot IR \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (2.8)$$

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 2.1 представлена шкала оценки рисков.

Таблица 2.1 – 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	$HI > 0,7$

2.2 Практическая часть

Задача 1. Оцените вероятность возникновения злокачественного новообразования у человека при употреблении воды из колодца, содержащей бензол (таблица 2.2). В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (2.5), (2.7), (2.1).

SF бензола = $0,029$ мг/(кг·дн.)⁻¹, $EF = 70$ дн./год; $IR = 2$ л/дн.

Таблица 2.2 – 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 по-

треблении ($EF = 365$ дн./год). Содержание загрязняющих веществ представлено в таблице 2.3. В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (2.5), (2.7), (2.2).

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

Таблица 2.3 – Содержание загрязняющих веществ в воде

Вариант	CW фенола, мг/л	CW нитробензола, мг/л	CW цианида, мг/л	Вариант	CW фенола, мг/л	CW нитробензола, мг/л	CW 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 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 2.4. В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (2.5), (2.6), (2.1), (2.3).

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

Таблица 2.4 – Содержание ядовитых веществ в сигаретах

Вариант	$\rho(Cd)$, мг/пачка	$\rho(Ni)$, мг/пачка	$\rho(Pb)$, мг/пачка	ED , 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

Окончание таблицы 2.4

Вариант	ρ (Cd), мг/пачка	ρ (Ni), мг/пачка	ρ (Pb), мг/пачка	ED, лет
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
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

Задача 4. Оцените канцерогенные и неканцерогенные риски при употреблении в пищу картофеля, содержащего свинец (Pb) и ДДТ (таблица 2.5). В расчетах использовать формулы в следующей последовательности: (2.8), (2.1), (2.3), (2.2). Найти сумму *HI*.

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

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

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

Контрольные вопросы

1 В чем заключается специфика населения как объекта экологического анализа и оценки?

2 Что означает канцерогенное и неканцерогенное воздействие?

Таблица 2.5 – 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

3 Лабораторная работа № 3. Определение кислотности растворов

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. $pH = -\log[H^+]$.

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

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 pH воды

Группа	Величина pH
Сильнокислые воды	< 3
Кислые воды	$3 \dots 5$
Слабокислые воды	$5 \dots 6,5$
Нейтральные воды	$6,5 \dots 7,5$
Слабощелочные воды	$7,5 \dots 8,5$
Щелочные воды	$8,5 \dots 9,5$
Сильнощелочные воды	$> 9,5$

pH воды – один из важнейших рабочих показателей качества воды, во многом определяющих характер химических и биологических процессов, происходящих в воде. В зависимости от величины pH может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и т. д. Контроль уровня pH 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 pH находится в пределах, при которых он непосредственно не влияет на потребительские качества воды. Так, в речных водах pH обычно находится в пределах $6,5 \dots 8,5$, в атмосферных осадках – $4,6 \dots 6,1$, в болотах – $5,5 \dots 6,0$, в морских водах – $7,9 \dots 8,3$.

Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень pH 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 pH 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.

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 ис-

точника их поступления в атмосферу; влажные (дождь, снег и пр.).

Таблица 3.2 – Установленные или рекомендуемые ПДК pH

Анализируемая среда	Значение pH
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
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

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.

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 рН);
- щелочные (7...8 рН);
- сильнощелочные (8...9 рН).

Величина рН 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 рН почвы находится в пределах от 6,5 до 7,0.

3.2 Практическая часть

Для измерения рН растворов используются лабораторные иономеры 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.

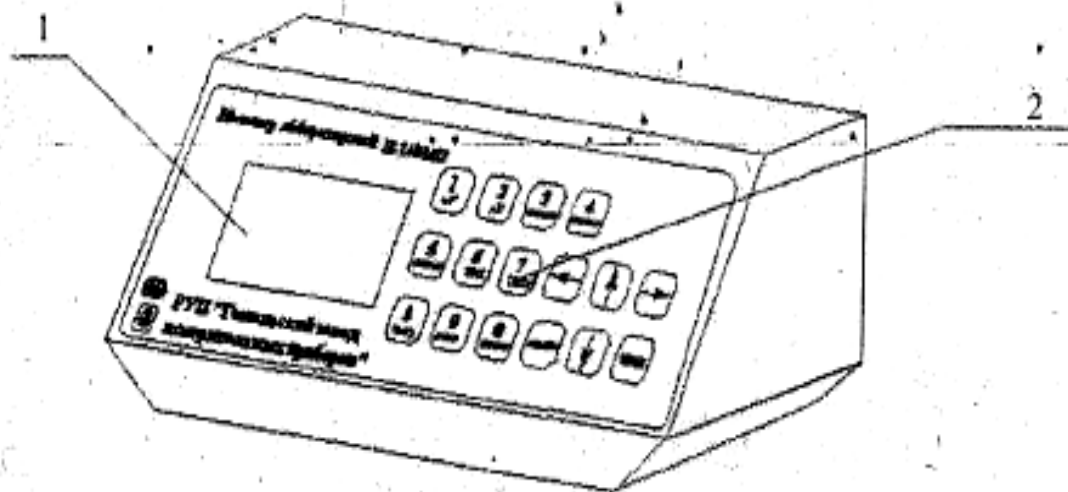
Принцип работы прибора. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения рХ (рН) и Еh контролируемого раствора.

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 (KCl) из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор KCl, 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.



1 – цифровой дисплей; 2 – органы управления

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

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).

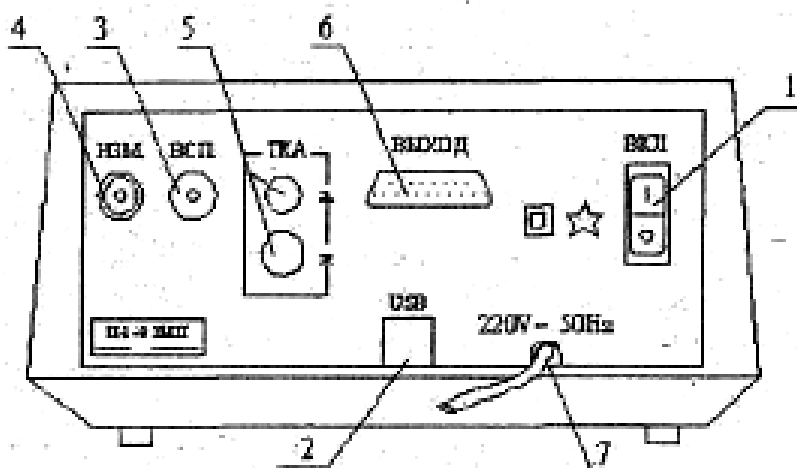


Рисунок 3.2 – Задняя панель преобразователя

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 электродная система должна промываться дистиллированной водой.

2 Провести измерения проб воды и приготовленных растворов (2-процент-

ный раствор натрия гидрокарбоната и 3-процентный раствор уксусной кислоты).

Порядок проведения измерений:

- комбинированный измерительный электрод закрепить в штативе и подключить к гнезду ИЗМ;
- 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 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 Последствия кислотных осадков.
- 3 Принцип работы иономера.

4 Лабораторная работа № 4. Управление уровнем загрязнения воды в озере

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

4.1 Теоретическая часть

4.1.1 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 объему используемой воды и концентрациям органики и неорганики в сточных водах;
- имеющуюся в его распоряжении денежную сумму для расхода на перекачку воды и аэрацию.

4.1.2 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».

После запуска программы на экране появится заставка озера и строка МЕНЮ вверху экрана. Для того чтобы войти в меню необходимо нажать клавишу «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 течение июня, пока игрок выводит озеро из запущенного состояния, штрафные баллы не начисляются. В течение 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. 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.

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»).

4.2 Практическая часть

1 Подобрать оптимальные параметры функционирования системы.

2 В отчете представить таблицу, отражающую динамику изменения параметров системы за 1-й месяц работы (таблица 4.1).

3 Представить графики состояния озера с 1 июня по 1 июля (рисунок 4.1) с указанием уровней ПДК.

4 Сделать выводы по результатам работы за два месяца.

Таблица 4.1 – Динамика изменения параметров системы

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



Рисунок 4.1 – Динамика изменения параметров системы в промышленной зоне

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?

5 Лабораторная работа № 5. Определение допустимых сбросов сточных вод

Цель работы: изучить методику и процедуру проведения и представления результатов расчета и обоснования сбросов сточных вод промышленного предприятия; выполнить расчеты и обосновать нормативы сброса сточных вод.

5.1 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.

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

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.

Сброс сточных вод в водные объекты является одним из видов воздействия на водные объекты и относится к специальному водопользованию. Предприятия, осуществляющие сбросы сточных вод в водные объекты, обязаны оформлять разрешение на специальное водопользование, в котором устанавливаются допустимые концентрации и допустимые сбросы (временные допустимые концентрации и временные допустимые сбросы) для утвержденного перечня загрязняющих веществ (ЗВ).

ЗВ, указанные в разрешении на специальное водопользование, делятся на нормируемые и контролируемые. Перечень нормируемых ЗВ в составе городских сточных вод устанавливается с учетом списка ЗВ, образующихся в результате деятельности всех водопользователей, отводящих сточные воды в системы городской канализации на основе ТКП 17.06-08–2012.ЗВ, концентрация которых на входе и выходе из очистных сооружений не превышает ПДК для рыбохозяйственного водопользования, включаются в список **контролируемых ЗВ**.

Допустимая концентрация – максимальная концентрация ЗВ в составе сточных вод, отводимых в водный объект, соблюдение которой обеспечивает установленные нормативы качества воды водного объекта в контрольном створе.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) ЗВ в воде – максимальная концентрация ЗВ в воде, превышение которой приводит к непригодности воды для определенного вида водопользования.

Фоновая концентрация ЗВ – показатели качества воды и концентраций ЗВ выше по течению от объекта воздействия.

Нормативы допустимых сбросов ЗВ – максимально допустимая масса ЗВ в составе сточных вод, отводимых в водный объект, при установленном режиме водоотведения, при сбросе которой обеспечиваются нормативы качества воды водного объекта в контрольном створе.

Временные нормативы допустимых сбросов ЗВ – максимально допустимая масса ЗВ в составе сточных вод, отводимых в водный объект, при установленном режиме водоотведения на ограниченный промежуток времени, в течение которого выполняются мероприятия по достижению нормативов допустимых сбросов.

Контрольный створ – условное поперечное сечение водного объекта, в котором производят комплекс работ с целью получения данных о показателях качества воды и концентраций ЗВ.

Расчет и обоснование допустимых сбросов ЗВ в составе сточных вод производится в несколько этапов:

- 1) определение допустимых концентраций ЗВ;
- 2) обоснование списка нормируемых и контролируемых веществ;
- 3) определение временных нормативов качества воды;

4) составление плана водоохранных мероприятий.

Определение допустимых концентраций ЗВ в сточных водах, отводимых в водный объект

По таблице 5.1 устанавливаются допустимые концентрации для ХПК, БПК₅, взвешенным веществам, аммоний-иону, азоту общему, фосфору общему в зависимости от массы органических веществ, содержащихся в сточных водах и поступающих на очистные сооружения, определяемой по эквиваленту населения. Эквивалент населения определяется по формуле

$$N_{ЭКВ} = \frac{C_{пост}^{БПК5} \cdot Q_{сут}}{a}, \quad (5.1)$$

где a – количество ЗВ, вносимых одним человеком в сточные воды, $a = 60$ г / (чел.·сут);

$C_{пост}^{БПК5}$ – концентрация ЗВ в сточных водах, поступающая на очистные сооружения, оцениваемая по показателю БПК₅, мг/дм³;

$Q_{сут}$ – суточный расход сточных вод, м³/сут.

Таблица 5.1 – Допустимые концентрации ЗВ в очищенных сточных водах

Эквивалент населения $N_{ЭКВ}$	ХПК, мг/дм ³	БПК ₅ , мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Аммоний-ион, мг/дм ³	Азот общий, мг/дм ³	Фосфор общий, мг/дм ³
До 500	125	35	40	н/н*	н/н	н/н
501...2000	120	30	35	20	н/н	н/н
2001...10000	100	25	30	15	н/н	н/н
10001...100000	80	20	25	н/н	20	4,5
Более 100000	70	15	20	н/н	15	2,0
Примечание – * – н/н – показатель не нормируется						

Допустимые концентрации для остальных ЗВ рассчитываются с учетом ассимилирующей способности водных объектов по формуле

$$C_{дон} = \left[(n-1) \cdot (ПДК - C_{\phi}) \right] + ПДК, \quad (5.2)$$

где n – кратность разбавления отводимых сточных вод;

$ПДК$ – предельно допустимая концентрация ЗВ в воде, мг/дм³;

C_{ϕ} – фоновая концентрация ЗВ в водоеме, служащем приемником сточных вод, мг/дм³.

Кратность разбавления сточных вод рассчитывается по формуле

$$n = \frac{q + k_{CM} \cdot Q}{q}, \quad (5.3)$$

где q – расход отводимых сточных вод, м³/с;

k_{CM} – коэффициент смешения сточных вод с массой водотока;

Q – расход воды в водотоке, служащем приемником сточных вод, м³/с.

Обоснование допустимых концентраций и сбросов в составе сточных вод

Осуществляется исходя из следующих условий:

– для веществ, нормируемых по таблице 5.1, допустимые концентрации устанавливаются по соответствующим значениям из таблицы;

– для *остальных* веществ:

а) если фактическая концентрация ЗВ в очищенных сточных водах меньше фоновой в водном объекте, вещество исключается из списка нормируемых веществ и становится контролируемым показателем;

б) если фактическая концентрация ЗВ в очищенных сточных водах больше фоновой, ПДК и расчетного значения допустимой концентрации, то устанавливается временная допустимая концентрация в размере фактических концентраций;

в) если фактическая концентрация ЗВ в составе сточных вод больше фоновой, но меньше расчетной концентрации и не превышает ПДК рыбохозяйственного водопользования, то в качестве допустимой концентрации устанавливается фоновая концентрации ЗВ в водном объекте;

г) если фактическая концентрация больше фоновой и ПДК, но меньше расчетной, то допустимая концентрация устанавливается по значению расчетной концентрации.

Определение временных нормативов качества воды

По результатам предыдущего этапа из списка ЗВ, сбрасываемых в водный объект, выделяются те, для которых устанавливаются временные допустимые концентрации.

Составление плана водоохранных мероприятий

Для веществ, для которых устанавливаются временные допустимые концентрации, составляется план мероприятий по достижению нормативов допустимых сбросов. Водоохранные мероприятия делятся на организационные и технологические. Организационные мероприятия могут включать разработку и распространение информационных материалов, дополнительные мероприятия мониторинга и контроля, назначение ответственных лиц и т. д. Технологические мероприятия могут заключаться в модернизации, строительстве и (или) реконструкции очистных сооружений, установлении режима сброса производственных сточных вод в систему коммунальной канализации, снижении

массы ЗВ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения. Набор мероприятий и последовательность их реализации определяются исходя из фактических условий функционирования предприятия. Результатом организационных мероприятий является усиление контроля, технологических – достижение допустимых сбросов, определенных по таблице 5.1 или формуле (5.2).

5.2 Практическая часть

Задача. Для коммунальных очистных сооружений МГУП «Водоканал» определите эквивалент населения и нормативы допустимых концентраций ЗВ в составе сточных вод на выходе с очистных сооружений биологической очистки. На очистные сооружения поступают хозяйственно-бытовые сточные воды от жилого фонда и объектов социальной сферы. Выпуск сточных вод осуществляется в р. Серебрянку на расстоянии 7 км от устья. Исходные данные для расчета приведены в таблицах 5.4 и 5.5. Сточные воды относятся к категории смешанных. Результаты расчетов и обоснование допустимых концентраций представьте в форме таблицы 5.2, в которой выделите вещества, которые являются контролируруемыми, и те, для которых устанавливаются временные нормативы.

Для веществ, для которых устанавливаются временные нормативы, разрабатываются водоохранные мероприятия по форме таблицы 5.3.

Студентом самостоятельно разрабатываются мероприятия и устанавливаются сроки исполнения, ответственный исполнитель (указывается должность и ФИО), указываются предполагаемые результаты выполнения мероприятий и достигаемые концентрации.

Таблица 5.2 – Обоснование допустимых концентраций и сбросов в составе сточных вод

Наименование ЗВ	$C_{факт},$ мг/дм ³	$C_{ф},$ мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	$C_{доп}$ (по таблице 5.1), мг/дм ³	$C_{доп}$ (по формуле (5.2)), мг/дм ³	Предлагаемое значение $C_{доп},$ мг/дм ³
ХПК			30			
БПК ₅			6,0			
Взвешенные вещества			$C_{ф} + 0,25$			
Минерализация (по сухому остатку)			1000			
Хлорид-ион			300			
Сульфат-ион			100			
Аммоний-ион			0,39			
Нефтепродукты			0,05			
СПАВ (анион)			0,1			
Формальдегид			0,01			
Фосфор общий			0,2			

Таблица 5.3 – План мероприятий по достижению нормативов допустимых сбросов

Наименование мероприятия	Срок выполнения	Ответственный исполнитель	Достижимый результат мероприятия	Планируемые нормативы допустимых концентраций
<i>Организационные мероприятия</i>				
<i>Технологические мероприятия</i>				

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение фоновой и предельно допустимой концентрации.
- 2 В каком случае устанавливаются нормируемые и контролируемые показатели сброса сточных вод?
- 3 В чем заключаются организационные и технологические водоохранные мероприятия?
- 4 В соответствии с какими документами осуществляется определение допустимых концентраций в сточных водах?

Таблица 5.4 – Характеристика сточных вод

Вариант	ХПК		БПК ₅			Взвешенные вещества		Минерализация		Хлорид-ион		Сульфат-ион		Аммоний-ион		Нефте-продукты		СПАВ (анион)		Формаль-дегид		Фосфор общий
	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	$C_{пост}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	C_f	$C_{факт}$	
1	7,3	23,08	1,7	6,26	121,1	6,6	11,33	420	593	15,2	43,65	33	31,71	0,18	1,29	0,04	0,22	0,03	0,238	0,005	0,007	2,50
2	8,4	21,87	1,9	6,84	124,3	6,8	11,28	425	586	14,8	44,87	32,8	30,84	0,09	1,42	0,03	0,28	0,01	0,244	0,004	0,005	2,48
3	7,8	24,01	1,6	6,03	125,8	6,4	10,89	484	544	16,2	43,54	33,9	32,02	0,12	1,58	0,04	0,24	0,05	0,311	0,008	0,009	2,57
4	6,5	18,17	1,4	5,83	123,6	6,2	12,01	411	498	17,1	41,38	33,4	31,88	0,25	1,34	0,05	0,26	0,04	0,289	0,005	0,010	2,64
5	4,3	14,95	1,9	4,99	122,7	7,1	11,64	398	466	15,4	39,99	33,2	31,12	0,24	1,64	0,04	0,31	0,03	0,256	0,001	0,003	2,88
6	6,8	17,66	1,7	5,72	115,8	5,9	11,51	416	591	15,6	45,63	32,9	32,56	0,19	1,33	0,03	0,41	0,01	0,302	0,001	0,002	2,34
7	7,1	18,54	1,5	7,12	119,6	6,1	10,77	408	573	16,8	42,24	33,7	32,42	0,17	1,18	0,02	0,31	0,02	0,244	0,004	0,008	2,27
8	8,2	20,36	1,4	6,48	121,8	6,5	12,26	399	544	16,4	43,98	34,1	30,98	0,08	1,16	0,04	0,25	0,03	0,283	0,003	0,006	2,12
9	9,3	22,22	1,9	6,19	120,6	6,3	12,11	388	476	14,6	44,12	33,4	30,54	0,32	1,28	0,03	0,26	0,05	0,256	0,006	0,012	2,18
10	6,8	22,68	1,8	6,25	121,7	6,7	11,68	420	465	15,9	43,21	33,6	30,36	0,15	1,98	0,05	0,29	0,04	0,278	0,002	0,004	2,68
11	8,4	21,01	1,7	6,44	121,6	5,8	11,02	350	444	15,1	42,68	32,7	31,25	0,18	1,57	0,04	0,18	0,01	0,198	0,001	0,003	2,77
12	7,5	20,09	1,6	6,34	122,2	7,2	11,47	388	589	14,9	42,96	32,4	31,86	0,19	1,65	0,03	0,26	0,02	0,224	0,006	0,007	2,44
13	7,3	19,99	1,5	5,98	121,3	6,9	10,88	412	599	16,1	42,36	34,4	31,78	0,21	1,34	0,05	0,23	0,03	0,264	0,005	0,009	2,31
14	6,9	15,84	1,8	7,01	120,8	6,6	10,98	425	581	16,2	41,76	34,1	31,44	0,23	1,28	0,03	0,25	0,05	0,268	0,001	0,002	2,77
15	5,8	16,73	1,9	5,95	121,4	6,3	11,09	386	564	15,8	40,54	33,5	30,22	0,20	1,85	0,04	0,19	0,03	0,186	0,004	0,008	2,23

Таблица 5.5 – Характеристика водотока-приемника сточных вод

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Расход воды в водотоке Q , м ³ /с	0,50	0,54	0,48	0,61	0,44	0,52	0,56	0,62	0,49	0,51	0,6	0,48	0,46	0,66	0,64
Суточный расход сточных вод $Q_{сут}$, м ³ /сут	1600	2000	1850	1650	1300	1600	2200	1500	1600	1800	2200	1400	1850	2000	1500
Расход отводимых сточных вод q , м ³ /с	0,018	0,022	0,021	0,019	0,014	0,016	0,025	0,07	0,018	0,02	0,024	0,015	0,021	0,022	0,017
Коэффициент смешения сточных вод с массовой водотока $k_{см}$	0,313	0,344	0,309	0,299	0,324	0,336	0,315	0,328	0,289	0,311	0,294	0,321	0,318	0,316	0,315

6 Лабораторная работа № 6. Определение содержания 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.

6.1 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, особен-

но 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 применение 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 обла-

дают различной способностью накапливать нитраты. В стебле укропа концентрация нитратов гораздо выше, чем в мелких веточках; в верхних листьях капустного кочана – в 2 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 6.1).

Таблица 6.1 – ПДК нитратов в растительных продуктах

Растительный продукт	Содержание нитратов, мг/кг
Картофель	150
Капуста белокочанная, кабачки	400
Морковь	200
Огурцы	150
Помидоры	100
Свекла	450
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 температуре. 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 6.2). Небольшое количество нитритов обнаруживается в сыре, т. к. их добавляют в молоко для подавления газообразующей микрофлоры (во избежание вспучивания сыра).

Таблица 6.2 – Содержание нитритов в некоторых пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание нитритов, мг/кг
Овощи	0,2
Фрукты	0,0
Сыры	1,2
Мука пшеничная (ржаная)	1,2 (0,8)
Рыба речная (морская)	2,1 (0,7)
Мясные консервы	10,0
Колбасы, копчёности	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 – нитрозамиды 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 нитрозамины – 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 нитрозаминов. 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 нитрообразования 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 даль-

ше – 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.

6.2 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 используют 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 Еh контролируемого раствора.

Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от активности ионов NO₃⁻ и температуры раствора.

Электролитический контакт вспомогательного электрода с контролируемым раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия (KCl) из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор KCl, непрерывно просачива-

ясь 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 S_x с точностью $\pm 5\%$ от значения pX , 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 – pX) 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 pX . 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 pX_i называются координатами изопотенциальной точки.

Конструкция прибора. Общий вид преобразователя и элементы его конструкции показаны на рисунках 3.1 и 3.2 (лабораторная работа № 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 pX) 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-NO3-07CP 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;
- 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 6.3, 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 6.3 – 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.

7 Лабораторная работа № 7. Измерение шумового загрязнения

Цель работы: обобщить сведения о шуме, его влиянии на состояние окружающей среды и здоровье человека, провести исследование шумового загрязнения близлежащих к университету городских кварталах, сделать выводы и предложить пути снижения уровней шума.

7.1 Теоретическая часть

Шум – совокупность звуков, различных по частоте и интенсивности, вредно влияющих на организм человека. С физической стороны шум характеризуется частотой колебаний, звуковым давлением, интенсивностью или силой звука. Ухо человека способно воспринимать как слышимые звуковые колебания воздуха с частотой f от 16 до 20 000 Гц.

Колебания с частотой ниже 16 Гц называются *инфразвуковыми*, а выше 20 000 Гц – *ультразвуковыми*. Инфразвук и ультразвук не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое действие на организм человека.

Шум классифицируется по различным признакам:

- по спектру шум бывает: широкополосный – шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы; тональный – шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие;
- по частотной характеристике шумы подразделяются на низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные;
- по временным характеристикам выделяют шумы постоянные и непостоянные;
- по природе возникновения шумы бывают механические, аэродинамические, гидравлические и электромагнитные.

Шумовое загрязнение в городах почти всегда имеет локальный характер и преимущественно вызывается средствами транспорта – городского, железнодорожного и авиационного – 80 % от общего шума. На главных магистралях крупных городов уровни шумов превышают 90 дБ.

Транспорт порождает шумы различного происхождения – механические, аэродинамические, электромагнитные. Механические шумы порождаются трением в сочленениях деталей, движением автомобилей, соударением деталей, ударными процессами. Аэродинамические шумы являются главной составляющей шума двигателей внутреннего сгорания, вентиляторов, компрессоров и т. д. Электромагнитные шумы возникают в электрических машинах и оборудовании.

Уровень интенсивности звука измеряется в *белах*. Ухо человека реагирует на величину, в 10 раз меньшую, чем *бел* (Б), поэтому распространение получила единица *децибел* (дБ), равная 0,1 Б.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты. Минимальное звуковое давление и минимальная интенсивность звуков, воспринимаемых слуховым аппаратом человека, определяют порог слышимости.

Логарифмическая шкала в децибелах (0...140) позволяет определить чисто физическую характеристику шума независимо от частоты. Наибольшая чувствительность слухового аппарата человека характерна для средних и высоких частот (800...1000 Гц), наименьшая – для низких (20...100 Гц). Для того чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, введено понятие *корректированного уровня звукового давления*.

Суть коррекции – введение зависящих от частот звука поправок к уровню соответствующей величины. Эти поправки стандартизованы в международном масштабе. Наиболее употребительна коррекция «А». Корректированный уровень звукового давления называется *уровнем звука* и измеряется в *децибелах по шкале А*.

При исследовании шумов весь диапазон частот разбивают на полосы частот и определяют мощность процесса, приходящегося на каждую полосу. Чаще всего используют октавные ($f_2/f_1 = 2$) и 1/3-октавные ($f_2/f_1 = \sqrt[3]{2}$) полосы частот, где f_2 и f_1 – верхняя и нижняя граничные частоты соответственно. При этом в качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота f :

$$f = \sqrt{f_1 f_2}.$$

Например, октавную полосу 22,4...45 Гц выражает среднегеометрическая частота 31,5 Гц; 45...90 Гц – 63 Гц; 90...180 Гц – 125 Гц и т. д. В результате сформирован стандартный ряд из девяти октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Раздражающее воздействие звука (шума) на человека зависит от его интенсивности, спектрального состава и продолжительности воздействия. Шумы со сплошными спектрами менее раздражительны, чем шумы узкого интервала частот. Наибольшее раздражение вызывает шум в диапазоне частот 3000...5000 Гц. Работа в условиях повышенного шума на первых порах вызывает быструю утомляемость, раздражимость, обостряет слух на высоких частотах. Затем человек как бы привыкает к шуму, чувствительность к высоким частотам резко падает, начинается ухудшение слуха, которое постепенно развивается в тугоухость и глухоту. При воздействии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонки, контузия, а при ещё более высоких (более 160 дБ) и смерть.

Методы и средства снижения шума от транспорта:

- снижение собственных шумов транспортных средств;
- применение в зданиях, выходящих на наиболее оживленные магистрали, шумопоглощающих материалов; специальных архитектурных решений (введение архитектурных элементов зданий, рассеивающих звук); постройка новых зданий на значительном удалении от магистрали;
- строительство шумозащитных экранов;
- высадка деревьев вдоль дороги, вертикальное озеленение домов;
- тройное остекление окон (с одновременным применением принудительной вентиляции); применение специальных шумозащитных стеклопакетов;
- специальные проектные решения строительства дорог, их пересечения; применение специальных дорожных покрытий, обладающих шумопоглощающими свойствами.

Еще способом уменьшения шума автомобильного транспорта является снижение интенсивности движения в результате смещения транспортного потока. Существенного снижения шума можно добиться путем создания объездных путей, специально рассчитанных на значительную интенсивность движения и ослабления напряженности транспортной сети, пронизывающей жилые кварталы. На снижение шума автомобильного транспорта также направлено ограничение числа тяжелых грузовых автомобилей в транспортном потоке. Эти меры обычно принимают форму запретов на въезд грузовых автомобилей в определенный район или на въезд в город всех автомобилей выше определенной грузоподъемности, а также ограничений въезда в определенные моменты времени, обычно в ночные часы, субботные и воскресные дни.

Уровни шума нормируются. Допустимые уровни шума на рабочих местах представлены в таблице 7.1, в жилой зоне – в таблице 7.2.

Таблица 7.1 – Допустимые уровни звукового давления, уровни звука на рабочих местах, в производственных помещениях и на территории предприятий

Рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	5000	
Помещения конструкторских бюро, учебные кабинеты и др.	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управления, рабочие комнаты (с ПК)	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Помещения лабораторий для проведения экспериментов	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях	99	92	86	83	80	78	76	74	80

Таблица 7.2 – Допустимые уровни шума для жилой зоны

Назначение района застройки, территорий	Допустимые уровни звука, дБА	
	с 7 до 23 ч	с 23 до 7 ч
Жилые здания		
Жилые комнаты квартир	40	30
Жилые комнаты в общежитиях и гостиницах	45	35
Территории жилой застройки в 2 м от здания	55	45
Места отдыха		
Площадки отдыха в микрорайоне, сады, парки	45	—
Спортивные сооружения в микрорайонах и парках		
Спортивные площадки	55	—
Спортивные залы	50	—
Стадионы	60	—
Учебные заведения, НИИ, административные здания		
Конференц-залы, аудитории	40	—

7.2 Практическая часть

Провести измерения уровня шума в следующих точках:

- по ул. Ленинской, на кромке дороге и на расстоянии 5, 10, 15 и 20 м по прямой на открытом участке, с забором или кустарником;
- в аудиториях университета, выходящих на ул. Ленинскую на первом, втором, четвертом и пятом этажах при открытом и закрытом окне и на разном расстоянии от него.

Сравнить полученные результаты с допустимыми значениями из таблиц 7.1 и 7.2.

Сделать вывод об изменении уровня шума от различных факторов.

Контрольные вопросы

- 1 Характеристики шума и его действие на организм человека.
- 2 Нормирование шума и единицы измерения.
- 3 Какой уровень звука допускается в жилых помещениях, в учебных помещениях и на улице?
- 4 Какие существуют основные средства и методы снижения шума?

8 Лабораторная работа № 8. Определение площади зеленых насаждений для воспроизводства кислорода в городе

Цель работы: изучить методику и рассчитать потребность в площади древесно-кустарниковой растительности для выработки кислорода на дыхание человека и работы автотранспорта в городах.

8.1 Теоретическая часть

Зеленые насаждения являются органической частью планировочной структуры современного города, выполняя санитарно-гигиенические и декоративно-планировочные функции.

К санитарно-гигиеническим функциям относятся:

1) *снижение запыленности воздуха.* Зеленые насаждения очищают городской воздух от пыли. Этот процесс происходит следующим образом. Загрязненный воздушный поток, встречающий на своем пути зеленый массив, замедляет скорость, в результате чего под влиянием силы тяжести 60%...70 % пыли, содержащейся в воздухе, оседает на деревья и кустарники. Распространению или движению пыли препятствуют не только деревья и кустарники, но и газоны, которые задерживают поступательное движение пыли, перегоняемой ветром из разных мест. Среди зеленых насаждений запыленность воздуха в 2–3 раза меньше, чем на открытых городских территориях. Древесные насаждения уменьшают запыленность воздуха даже при отсутствии лиственного покрова.

Пылезадерживающие свойства различных пород деревьев и кустарников неодинаковы и зависят от морфологических особенностей листьев. Лучше всего задерживают пыль шершавые листья и листья, поверхность которых покрыта ворсинками, как у сирени. Если принять количество пыли, задерживаемой 1 см² поверхности листа тополя за единицу, то количество пыли, удерживаемой таким же по площади листом клена остролистного, составит 2, сирени 3, вяза 6. На листовой поверхности одного взрослого дерева осаждается за летний период пыли: вяз шероховатый – до 23 кг, тополь канадский – до 34 кг, вяз перистоветвистый – до 18 кг, сирень – до 0,6 кг, ясень – до 27 кг, ива – до 38 кг, клен – до 33 кг, акация белая – до 0,2 кг;

2) *снижение загазованности воздуха*. Зеленые насаждения значительно уменьшают вредную концентрацию находящихся в воздухе газов. Например, концентрация окислов азота, выбрасываемых промышленными предприятиями, снижается на расстоянии 1 км от места выбросов до $0,7 \text{ мг/м}^3$, а при наличии зеленых насаждений – до $0,13 \text{ мг/м}^3$. Вредные газы поглощаются растениями, а твердые частицы аэрозолей оседают на листьях, стволах и ветках растений.

Газозащитная роль зеленых насаждений во многом определяется степенью их газоустойчивости. К слабоповреждаемым породам относятся вяз (шершавый и гладкий), ель колючая, ива древовидная, клен ясенелистый, осина, тополь (берлинский, бальзамический, канадский и черный), яблоня сибирская, акация желтая, боярышник сибирский, вишня дикая, калина обыкновенная, смородина черная, сирень обыкновенная; к среднеповреждаемым – береза бородавчатая, ель Энгельмана, лиственница сибирская, рябина обыкновенная, ива корзиночная, клен татарский и т. д. Растения с повышенной интенсивностью фотосинтеза имеют меньшую устойчивость к газам. Хорошими поглотителями свинца по обочинам дорог считаются белая акация, сирень, береза бородавчатая, барбарис.

Особенностью зеленых насаждений является также то, что они в результате фотосинтеза поглощают из воздуха углекислый газ и выделяют кислород. В среднем 1 га хорошего леса поглощает ежегодно до 6,5 т углерода и выделяет при этом около 5 т кислорода. На участках со средним древостоем поглощается соответственно углерода 4,1 т и выделяется 3,2 т кислорода. Разные породы древесно-кустарниковых растений обладают неодинаковой интенсивностью фотосинтеза и поэтому выделяют различное количество кислорода. Дерево с большей лиственной массой выделяет больше кислорода;

3) *фитонцидное действие*. Большинство растений выделяет летучие и нелетучие вещества – *фитонциды*, обладающие способностью убивать вредные для человека болезнетворные бактерии или тормозить их развитие. Например, фитонциды дубовой листвы уничтожают возбудителя дизентерии, фитонциды почек тополя, антоновских яблок, эвкалипта губительно действуют на вирус гриппа, фитонциды капусты задерживают рост палочки Коха, фитонциды чеснока и черемши убивают и те и другие.

К числу ярко выраженных фитонцидных деревьев и кустарников относятся береза, дуб, тополь, черемуха. Известно более 500 видов деревьев, имеющих фитонцидные свойства. Особенно много фитонцидов образуют хвойные породы; 1 га можжевельника выделяет в сутки 30 кг летучих веществ. Большое количество фитонцидов (20...25 кг) выделяют сосна и ель. Благодаря способности растений выделять фитонциды воздух парков содержит в 200 раз меньше бактерий, чем воздух улиц. В определенных дозах фитонциды благотворно влияют на нервную систему человека, усиливают двигательную активность, способствуют улучшению обмена веществ;

4) *ветрозащита*. В практике градостроительного проектирования нередко возникает необходимость защиты городской застройки от неблагоприятных ветров. В этом случае поперек основного ветрового потока устраивают защитные полосы зеленых насаждений. Защитная роль полос зеленых насаждений определяется их плотностью и расположением, а также типом застройки. Вет-

розащитными свойствами обладают зеленые насаждения даже сравнительно небольшой высоты и плотности посадки. Ветрозащитное влияние неширокой зеленой полосы, состоящей из восьми рядов деревьев высотой 15...17 м, отмечается на расстоянии 300...600 м. В этой зоне скорость ветра составляет 25 %...30 % первоначальной. Наиболее эффективны ажурные защитные полосы, пропускающие сквозь себя до 40 % ветра всего потока;

5) *регуляция температуры и влажности воздуха*. Зеленые насаждения, защищая почву и поверхности стен зданий от прямого солнечного облучения, предохраняют их от сильного перегрева и тем самым от повышения температуры воздуха. Температура воздуха внутри зеленого массива в среднем на 2 °С...3 °С ниже, чем внутри городского квартала. Наиболее эффективно снижают температуру растения с крупными листьями, которые значительную часть энергии отражают не поглощая и таким образом способствуют снижению количества солнечной энергии. На степень смягчения температурного режима на озелененных участках по сравнению с открытыми пространствами влияют размеры озелененной территории, а также плотность посадок деревьев и кустарников. Небольшие площади зеленых насаждений и редкая древесная посадка незначительно снижают температуру воздуха.

Нагреваясь, поверхность листьев деревьев и кустарников испаряет в воздух большое количество влаги. Так, один хорошо развитый бук испаряет в день около 0,6 т воды. Если принять относительную влажность на улице равной 100 %, то в жилом квартале с озеленением влажность будет составлять 116 %, на бульваре – 205 %, в парке – 204 %. Повышение влажности на 15 % воспринимается организмом как понижение температуры на 3,5 °С. Даже неширокие древесно-кустарниковые полосы (10,5 м) уже на расстоянии 600 м увеличивают влажность воздуха на 8 % по сравнению с открытой площадью. Влажностный режим среди зеленых насаждений в жаркую погоду является смягченным и не имеет таких резких колебаний, как на открытых участках;

6) *шумозащита*. Зеленые насаждения, располагаемые между источниками шума (транспортные магистрали, электропоезда и т. д.) и жилыми домами, участками для отдыха и спортивными площадками, снижают уровень шума на 5 %...10 %. Кроны лиственных деревьев поглощают 26 % падающей на них звуковой энергии. Хорошо развитые кустарниковые и древесные породы с густой кроной на участке шириной в 30...40 м могут снижать уровни шума на 17...23 дБА, небольшие скверы и внутриквартальные посадки с редкими деревьями – на 4...7 дБА. Крупные лесные массивы снижают уровни шума авиационных моторов на 22 %...56 % по сравнению с открытым местом на том же расстоянии.

8.2 Практическая часть

Задача. Определите необходимую площадь зеленых зон в городах и вокруг городов для воспроизводства кислорода, расходуемого в результате дыхания людьми и работы двигателей внутреннего сгорания, а также массу поглощаемого углекислого газа и выделяемого кислорода.

Исходные данные. Объем легких среднестатистического человека составляет 2 л. Человек в среднем в минуту делает F выдохов (таблица 8.1). Содержание кислорода в воздухе $C_{атм.в.}$ составляет 20,8 %. При выдохе содержание кислорода в воздухе $C_{выдох}$ составляет 16,4 %. Средняя площадь земли, занимаемая одним взрослым деревом, $S_{крона1} = 8,5 \text{ м}^2$. Средний расход топлива $V_{топл}$ принять равным 10 л/100 км. Количество кислорода, расходуемое при сжигании 1 кг топлива, $K_{O_2} = 2,9 \text{ кг}$. Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 8.1 и 8.2.

Методические указания к выполнению задачи

1 Определить, сколько атмосферного воздуха среднестатистический человек пропускает через легкие за год, по формуле

$$V_{\text{г}} = V_1 \cdot d \cdot F \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3, \quad (8.1)$$

где $V_{\text{г}}$ – общий объем воздуха, пропущенный человеком через свои легкие за год, л/год;

V_1 – объем легких среднестатистического человека, л;

d – коэффициент обмена воздуха в легких человека, $d = 0,3$;

F – количество вдохов и выдохов в минуту;

t_1 – минут в часе;

t_2 – часов в сутках;

t_3 – суток в году.

2 Рассчитать количество чистого кислорода V_{O_2} , л/год, в объеме пропущенного за год воздуха, используя формулу

$$V_{O_2} = V_{\text{г}} \cdot \frac{C_{атм.в.} - C_{выдох}}{100}, \quad (8.2)$$

где $C_{атм.в.}$ – содержание кислорода в атмосферном воздухе, %;

$C_{выдох}$ – содержание кислорода в выдохе человека, %.

3 Определить массу кислорода, необходимого одному человеку для дыхания в год, $m_{O_2 1}$, кг/год, если плотность кислорода $\rho = 1,429 \text{ кг/м}^3$, по формуле

$$m_{O_2 1} = V_{O_2} \cdot \rho \cdot 10^{-3}. \quad (8.3)$$

4 Найти общую массу кислорода, необходимого для жизнеобеспечения в течение года населением всего города, m_{O_2} , т/год, по формуле

$$m_{O_2} = m_{O_2 1} \cdot N_{жит}, \quad (8.4)$$

где $N_{жит}$ – численность населения города, чел.

Таблица 8.1 – Исходные данные к задаче

Вариант	Город	Численность населения $N_{жит}$, чел.	Количество машин на 1000 чел. k_a , шт.	Средний пробег автомобиля $L_{ср}$, км	Среднее количество вдохов F	Породный состав зеленых насаждений (доля деревьев i -й породы) c_i								
						Тополь	Липа	Клен платано-видный	Клен вязо-лиственный	Береза	Дуб	Каштан	Сосна	Ель
1	Могилев	380440	281	29000	18	0,18	0,12	0,05	0,05	0,07	0,09	0,12	0,12	0,2
2	Гомель	535229	267	30000	22	0,13	0,15	0,08	0,04	0,03	0,15	0,18	0,19	0,05
3	Минск	1974800	322	33000	21	0,11	0,14	0,04	0,08	0,06	0,1	0,19	0,2	0,08
4	Витебск	377722	300	27000	19	0,14	0,09	0,03	0,06	0,12	0,04	0,08	0,2	0,24
5	Гродно	368662	352	31000	20	0,17	0,13	0,07	0,12	0,1	0,07	0,16	0,15	0,03
6	Брест	343985	321	28000	18	0,2	0,17	0,09	0,13	0,06	0,12	0,11	0,11	0,01
7	Борисов	142993	302	18000	22	0,24	0,09	0,05	0,09	0,08	0,08	0,1	0,25	0,02
8	Бобруйск	217940	273	19000	21	0,21	0,12	0,06	0,08	0,12	0,05	0,15	0,15	0,06
9	Орша	115938	259	15000	19	0,27	0,06	0,01	0,09	0,14	0,02	0,08	0,1	0,23
10	Новополоцк	102288	350	14000	20	0,18	0,08	0,03	0,12	0,13	0,03	0,07	0,11	0,25
11	Полоцк	85078	331	16000	21	0,15	0,07	0,02	0,11	0,2	0,02	0,08	0,09	0,26
12	Мозырь	111801	348	19000	18	0,13	0,08	0,1	0,12	0,03	0,2	0,15	0,18	0,01
13	Барановичи	179439	328	18000	22	0,14	0,1	0,12	0,14	0,05	0,18	0,09	0,16	0,02
14	Солигорск	106839	356	15000	21	0,3	0,09	0,11	0,13	0,04	0,17	0,09	0,06	0,01
15	Пинск	138045	268	14000	19	0,14	0,08	0,12	0,13	0,05	0,2	0,15	0,12	0,01
16	Молодечно	95233	328	27000	20	0,19	0,21	0,05	0,07	0,05	0,08	0,06	0,13	0,16

Таблица 8.2 – Выделение кислорода и поглощение углекислого газа лесным массивом площадью 1 га за вегетационный период

Порода дерева	Тополь	Липа	Клен платано-видный	Береза	Дуб	Каштан	Сосна	Ель
Поглощение CO_2 g_i , т/га	46,2	16,5	24,5	15,7	29,7	26,3	11,0	6,6
Продукцирование O_2 p_i , т/га	34,9	12,5	19,6	11,3	22,5	21,2	9,0	5,0

5 Рассчитать продуцирование кислорода существующими зелеными насаждениями города в течение года на 1 га деревьев соответствующих пород R_{O_2} , т/(га·год), по формуле

$$R_{O_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i, \quad (8.5)$$

где c_i – доля деревьев i -й породы;

p_i – удельное продуцирование кислорода деревьями i -й породы, т/га.

6 Определить необходимую площадь зеленых насаждений для обеспечения населения города кислородом $S_{дых}$, га, по формуле

$$S_{дых} = \frac{m_{O_2}}{R_{O_2}}. \quad (8.6)$$

7 Найти количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для обеспечения населения города кислородом, $N_{дер\,дых}$, шт., по формуле

$$N_{дер\,дых} = \frac{S_{дых}}{S_{крона1}} \cdot 10^4, \quad (8.7)$$

где $S_{крона1}$ – средняя площадь земли, занимаемая одним взрослым деревом.

8 Рассчитать количество автомобилей в городе n_a , шт., по формуле

$$n_a = \frac{N_{жит}}{1000} \cdot k_a, \quad (8.8)$$

где k_a – количество автомобилей на 1000 чел.

9 Определить количество кислорода, сжигаемое одной машиной в течение года, $m_{O_{21a}}$, кг/год, по формуле

$$m_{O_{21a}} = L_{cp} \cdot \frac{V_{топл}}{100} \cdot \rho_{топл} \cdot K_{O_2}, \quad (8.9)$$

где L_{cp} – средний пробег одного автомобиля, км;

$V_{топл}$ – средний расход топлива на 100 км пробега, л/100 км;

$\rho_{топл}$ – коэффициент использования кислорода, $\rho_{топл} = 0,8$;

K_{O_2} – количество кислорода, расходуемое при сжигании 1 кг топлива, кг.

10 Рассчитать количество кислорода, расходуемого всеми автомобилями города, $m_{O_{2a}}$, т/год, по формуле

$$m_{O_{2a}} = m_{O_{21a}} \cdot n_a, \quad (8.10)$$

где n_a – количество автомобилей в городе, шт.

11 Определить необходимую площадь зеленых насаждений для компенсации расхода кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания $S_{авт}$, га, по формуле

$$S_{авт} = \frac{m_{O2a}}{R_{O2}} . \quad (8.11)$$

12 Рассчитать количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для компенсации кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания, $N_{дер авт}$, шт., по формуле

$$N_{дер авт} = \frac{S_{авт}}{S_{крона 1}} \cdot 10^4 . \quad (8.12)$$

13 Определить суммарную площадь зеленых насаждений, необходимых для компенсации расхода кислорода при дыхании и сжигании в двигателях внутреннего сгорания, $S_{общ}$, га, по формуле

$$S_{общ} = S_{дых} + S_{авт} . \quad (8.13)$$

14 Рассчитать поглощение CO_2 зелеными насаждениями города с учетом их породного состава R_{CO2} , т/(га·год), по формуле

$$R_{CO2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot g_i , \quad (8.14)$$

где g_i – удельное поглощение углекислого газа деревьями i -й породы, т/га.

15 Определить массу CO_2 , которую будут поглощать полученные по расчету зеленые насаждения, m_{CO2} , т/год, по формуле

$$m_{CO2} = R_{CO2} \cdot S_{общ} . \quad (8.15)$$

Пример решения задачи для варианта 16 (г. Молодечно)

1 Примем, что человек в среднем делает 20 вдохов в минуту (F). Определим, сколько атмосферного воздуха среднестатистический человек пропускает через легкие по формуле (8.1):

$$V_{\epsilon} = V_1 \cdot d \cdot F \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 = 2 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 6307200 \text{ л.}$$

2 Так как кислорода во вдыхаемом воздухе 20,8 %, а в выдыхаемом 16,4 %, то в год человеку нужно кислорода

$$V_{O_2} = V_g \cdot \frac{20,8 - 16,4}{100} = V_g \cdot 0,044 = 6307200 \cdot 0,044 = 277\,517 \text{ л.}$$

3 Масса кислорода, необходимого одному человеку в год,

$$m_{O_{21}} = V_{O_2} \cdot \rho \cdot 10^{-3} = 277517 \cdot 0,001429 = 396,6 \text{ кг.}$$

4 Населению г. Молодечно в год необходима следующая масса кислорода:

$$m_{O_2} = m_{O_{21}} \cdot N_{жит} = 396,6 \cdot 95233 = 37766694 \text{ кг} \approx 37767 \text{ т.}$$

5 Относительное продуцирование кислорода с учетом долевого соотношения древесных пород вокруг заданного города на 1 га:

$$R_{O_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i = 0,19 \cdot 34,9 + 0,21 \cdot 12,5 + 0,05 \cdot 20,8 + 0,07 \cdot 19,6 + \\ + 0,05 \cdot 11,3 + 0,08 \cdot 22,5 + 0,06 \cdot 21,2 + 0,13 \cdot 9 + 0,16 \cdot 5 = 17,3 \text{ т/(га} \cdot \text{год)}.$$

6 Необходимая площадь зеленых насаждений для обеспечения кислородом населения города:

$$S_{\text{дых}} = \frac{m_{O_2}}{R_{O_2}} = \frac{37767}{17,3} = 2183 \text{ га.}$$

7 Количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для обеспечения кислородом населения города:

$$N_{\text{дер} \text{ дых}} = \frac{S_{\text{дых}}}{S_{\text{крона 1}}} \cdot 10^4 = 2568235 \text{ шт.}$$

8 Определяем количество автомобилей в городе:

$$n_a = \frac{N_{жит}}{1000} \cdot k_a = \frac{95233}{1000} \cdot 328 = 31236 \text{ шт.}$$

9 Количество кислорода, сжигаемое одной машиной в течение года:

$$m_{O_{21a}} = L_{cp} \cdot \frac{V_{\text{монл}}}{100} \cdot \rho_{\text{монл}} \cdot K_{O_2} = 27000 \cdot \frac{10}{100} \cdot 0,8 \cdot 2,9 = 6264 \text{ кг.}$$

10 Количество кислорода, сжигаемое всеми автомобилями города:

$$m_{O_{2a}} = m_{O_{21a}} \cdot N_{авт} = 6264 \cdot 31236 = 195662304 \text{ кг} = 195662 \text{ т.}$$

11 Необходимая площадь зеленых насаждений для компенсации расхода

кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания:

$$S_{авт} = \frac{m_{O_2a}}{R_{O_2}} = \frac{195662}{17,3} = 11310 \text{ га.}$$

12 Количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для компенсации кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания:

$$N_{дер авт} = \frac{S_{авт}}{S_{крона 1}} \cdot 10^4 = \frac{11310}{8,5} \cdot 10000 = 13300560 \text{ шт.}$$

13 Общая площадь необходимых зеленых насаждений составляет:

$$S_{общ} = S_{дых} + S_{авт} = 2183 + 11310 = 13493 \text{ га.}$$

14 Относительное поглощение CO_2 с учетом породного состава зеленых насаждений на 1 га:

$$R_{CO_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot g_i = 0,19 \cdot 46,2 + 0,21 \cdot 16,5 + 0,05 \cdot 24,2 + 0,07 \cdot 24,5 + 0,05 \cdot 15,7 + \\ + 0,08 \cdot 29,7 + 0,06 \cdot 26,3 + 0,13 \cdot 11 + 0,16 \cdot 6,6 = 22,4 \text{ т/(га·год).}$$

15 Масса поглощенного углекислого газа

$$m_{CO_2} = R_{CO_2} \cdot S_{общ} = 22,4 \cdot 13493 = 302643 \text{ т.}$$

Контрольные вопросы

- 1 Каким образом зеленые насаждения снижают запыленность атмосферы города?
- 2 Как различаются пылезадерживающие свойства различных пород деревьев и кустарников?
- 3 От чего зависит газозащитная функция зеленых насаждений?
- 4 В чем заключается фитонцидное действие растений?
- 5 В чем заключается ветрозащитная функция зеленых насаждений?
- 6 Как зеленые насаждения регулируют температурный режим города?
- 7 Как зеленые насаждения влияют на относительную влажность воздуха?
- 8 Как зеленые насаждения влияют на уровень шума в городе?

Список литературы

- 1 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001–2017 : утв. постановлением М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-т // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – URL: <http://pravo.by> (дата обращения: 20.01.2025).
- 2 Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: ТКП 17.06-08–2012 (02120). – Минск: Минприроды, 2012. – 73 с.
- 3 Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь от 23 июня 2009 г. № 42 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 20.01.2025).
- 4 Инструкция о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: утв. постановлением М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, от 23 июня 2009 г. № 43 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 20.01.2025).
- 5 Инструкция о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям: утв. постановлением М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь от 29 мая 2009 г. № 30 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 20.01.2025).
- 6 **Челноков, А. А.** Общая и прикладная экология: учеб. пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Минск: Выш. шк., 2014. – 654 с.: ил.
- 7 **Шаршунов, В. А.** Очистка сточных вод и утилизация их отходов: справ. пособие / В. А. Шаршунов. – Минск : Мисанта, 2020. – 642 с.
- 8 Экология : учебник и практикум для вузов / Под общ. ред. А. В. Тотая, А. В. Корсакова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2020. – 352 с.
- 9 Экология : учебник / А. В. Щур [и др.]. – Рязань : ИП Викулов К. В., 2021. – 248 с.