

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

Е. М. Ходько, Н. В. Овсянник

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по одноименному курсу

для студентов специальностей

1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»,

1-43 01 07 «Техническая эксплуатация

энергооборудования организаций»,

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,

1-43 01 03 «Электроснабжение»,

1-36 01 01 «Технология машиностроения»,

1-36 01 03 «Технологическое оборудование

машиностроительного производства» и

1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

дневной и заочной форм обучения

Гомель 2017

УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73
Х69

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 27.06.2016 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Т. В. Алферова*

Ходько, Е. М.

Основы экологии : учеб.-метод. пособие по одноименному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / Е. М. Ходько, Н. В. Овсянник. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 58 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы экологии». Содержит методические рекомендации по определению кислотности, щелочности воды; методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, экономической эффективности водоохранных мероприятий.

Для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

**УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2017

Предисловие

Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2030 года (НСУР—2030) определяет контуры белорусской модели устойчивого развития, стратегические приоритеты и основные направления действий по решению имеющихся проблем и долгосрочному развитию трех взаимосвязанных компонентов триады: человек — конкурентоспособная инновационная экономика — качество окружающей среды. Согласно НСУР—30 стратегической целью устойчивого развития Республики Беларусь — обеспечение высоких жизненных стандартов населения и условий для гармоничного развития личности в рамках перехода к высокоэффективной экономике, основанной на знаниях и инновациях, при сохранении благоприятной окружающей среды для нынешних и будущих поколений.

Важная роль в достижении поставленной цели принадлежит системе экологического образования. Дисциплина «Основы экологии» предполагает закрепление теоретического материала выполнением лабораторных работ. Пособие по дисциплине «Основы экологии» составлены в соответствии с учебной программой. Прежде чем приступить к занятиям, преподаватель должен ознакомить студентов с задачами предстоящей работы, последовательностью ее выполнения, требованиями, предъявляемыми к отчету, правилами поведения при проведении лабораторной работы, рекомендуемой литературой. Все студенты перед началом занятий в обязательном порядке проходят инструктаж по технике безопасности и подтверждают усвоение правил подписью в журнале техники безопасности.

Лабораторные работы по дисциплине «Основы экологии» проводятся под руководством преподавателя в специально оборудованных помещениях. Необходимые для проведения лабораторных работ оборудование, приборы, материалы готовят предварительно перед началом занятий. Для обеспечения участия каждого студента в лабораторной работе преподаватель может разделять группы студентов на подгруппы, а также давать студентам индивидуальные задания в рамках темы данной лабораторной работы. Приступая к выполнению лабораторной работы, студенты должны самостоятельно изучить опи-

сание работы, теоретический материал по теме. При выполнении лабораторной работы каждый студент составляет письменный отчет, структура и содержание которого изложены в каждой теме. Работа считается выполненной и зачтенной только после ее защиты.

Учебное пособие содержит пять тем лабораторных работ, вопросы для самоподготовки, литературу. Каждая лабораторная работа структурно включает: цель, теоретическую и практическую части, контрольные вопросы. В теоретической части изложены ключевые вопросы темы, основные понятия, необходимые статистические и справочные материалы. В практической части даны методические рекомендации по выполнению конкретного задания и структура составления отчета по выполненной работе. В конце семестра отчеты о всех выполненных работах сдаются преподавателю, и студент получает допуск к зачету.

Лабораторные занятия по курсу предполагают проведение контроля знаний в виде тестовых заданий по двум модулям дисциплины «Теоретические основы экологии» и « Антропогенное воздействие на биосферу. Экологическая защита биосферы» с использованием технических средств обучения. Минимальный проходной балл при сдаче итогового теста по модулю шесть. В конце изучения курса студенты, успешно защитившие лабораторные работы и сдавшие успешно итоговые тесты по модулям курса получают зачет автоматом.

Изучение курса «Основы экологии» предполагает формирование у студентов экологического мировоззрения, системного подхода в области рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности государства.

Лабораторная работа № 1

Качество питьевой воды. Определение кислотности воды

Цель работы:

1. Ознакомиться с требованиями к качеству питьевой воды.
2. Изучить влияние водородного показателя на качество питьевой воды.
3. Ознакомиться с методами определения значения рН.
4. Определить кислотность питьевой и природной вод.
5. Провести сравнительную оценку полученных результатов.

1. Теоретическая часть

Возобновляемые ресурсы пресных вод Республики Беларусь

Вода — один из главных мировых ресурсов, который определяет не только качество жизни, но и саму возможность существования человечества. Водные ресурсы относятся к категории возобновляемых природных ресурсов, тем не менее, их использование должно быть строго регламентировано, чтобы исключить возможность необратимых изменений в состоянии окружающей среды.

Количество и качество водных ресурсов определяют устойчивое развитие любого государства. Они являются важнейшим компонентом природно-ресурсного потенциала страны, который интенсивно используется населением и различными отраслями экономики.

Возобновляемые ресурсы пресных вод Республики Беларусь представлены речным стоком и подземными водами, объем которых формируется в естественных условиях за счет выпадения осадков на территории страны (внутренний сток), а также притока речных и подземных вод из сопредельных стран. Общий объем годового стока рек определяется на основе измерения уровней и расхода воды. Естественные ресурсы пресных подземных вод представляют собой суммарный расход потока подземной воды, который обеспечен инфильтрацией атмосферных осадков. Величина инфильтрационного питания водоносных горизонтов зоны активного обмена составляет 10—20 % средней многолетней величины атмосферных осадков.

В Беларуси насчитывается около 21 тысячи рек и 10 тысячи озер. Создано 153 водохранилища. Основным источником поверхностных водных ресурсов являются средние и крупные реки, объем водного стока которых в средние по водности годы не превышает 57 900 млн м³ в год, а в многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92 400 млн м³ в год. Большая часть речного стока (59 %) формируется в пределах страны. Приток воды с территорий соседних государств (России и Украины) составляет 41 %. По величине водных ресурсов рек Беларусь занимает четвертое место в Европе после Норвегии, Великобритании и Польши.

Естественные ресурсы пресных подземных вод составляют 15 900 млн м³ в год, прогнозные — 18100 млн м³ в год. Распределение водных ресурсов по территории страны весьма неравномерно, что обусловлено характерам рельефа, мощностью зоны аэрации, литологическим составом покровных и водовмещающих пород. На уровне административных областей страны по количеству естественных ресурсов выделяется Минская область, наименее обеспечена Брестская. В целом по стране больше половины забираемой для использования воды (56 %) приходится на подземные воды, что составляет 876 млн м³, и 704 млн м³ — из поверхностных водных объектов. В 2014 г. общий объем изъятия вод Беларуси составил 1571 млн м³. Начиная с 90-х годов в стране прослеживается тенденция к снижению объёмов забора воды как из поверхностных, так и подземных источников. А с 200 г. наметилась тенденция сокращения использования воды для хозяйственно-питьевых нужд, что обусловлено широким развитием приборного учета воды на бытовом уровне, ужесточением технологических нормативов водопотребления. С 2005 г. ведется разработка нормативов водопотребления и водоотведения для предприятий.

Воды, являясь важнейшим компонентом природной среды, используются и охраняются в республике. Основная ответственность за управление водными ресурсами в стране возложена на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Требования к качеству питьевой воды

Санитарные правила и нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (далее Санитарные правила.) уста-

навливают гигиенические требования к качеству питьевой воды, а также правилами контроля качества воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения населенных мест.

Согласно СанПиН 10-124 РБ 99 питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по:

- обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся и природных водах на территории Беларуси, а также веществ антропогенного происхождения (таблица 1.1).
- содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде и процессе ее обработки и системе водоснабжения (таблица 1.2).
- содержанию вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Таблица 1.1

Нормативы обобщенных показателей и наиболее распространенных химических веществ в питьевой воде

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативы (ПДК), не более	Показатель вредности ₁₎	Класс опасности
1	2	3	4	5
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	единицы рН	в пределах 6—9		
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм ³	1000 (1500) ₂₎		
Жесткость общая	ммоль/дм ³	7,0 (10) ₂₎		

Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	5,0		
Нефтепродукты, суммар-	мг/дм ³	0,1		
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионо-активные	мг/дм ³	0,5		
Фенольный индекс	мг/дм ³	0,25		
Неорганические вещества				
Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,5	с.-т.	2
Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,1	с.-т.	2
Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	с.-т.	1
Бор (В, суммарно)	мг/дм ³	0,5	с.-т.	2
Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3 (1,0) ²⁾	орг.	3
Кадмий (Cd, суммарно)	мг/дм ³	0,001	с.-т.	2
Марганец (Mn, суммар-	мг/дм ³	0,1 (0,5) ²⁾	орг.	3
Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1,0	орг.	3
Молибден (Mo, суммар-	мг/дм ³	0,25	с.-т.	2
Мышьяк (As, суммарно)	мг/дм ³	0,05	с.-т.	2
Никель (Ni, суммарно)	мг/дм ³	0,1	с.-т.	3
Нитраты (по NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	45	с.-т.	3
Ртуть (Hg, суммарно)	мг/дм ³	0,0005	с.-т.	1
Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,03	с.-т.	2
Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	с.-т.	2
Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7,0	с.-т.	2
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	орг.	4
Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,5	с.-т.	2
Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	орг.	4
Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	с.-т.	3
Цианиды (CN ⁻)	мг/дм ³	0,035	с.-т.	2
Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	5,0	орг.	3
Органические вещества				
γ-ГХЦГ (линдан)	мг/дм ³	0,002 ³⁾	с.-т.	1
ДДТ (сумма изомеров)	мг/дм ³	0,002 ³⁾	с.-т.	2
2,4-Д	мг/дм ³	0,03 ³⁾	с.-т.	2

Примечания:

1. Лимитирующий признак вредности вещества, по которому установлен норматив: «с.-т.» - санитарно-токсикологический, «орг.» - органолептический.

2. Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

3. Нормативы приняты в соответствии с рекомендациями ВОЗ.

Таблица 1.2

Предельно допустимые концентрации вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативы (ПДК), не более	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор ¹⁾ -остаточный свободный	мг/дм ³	в пределах 0,3- 0,5	орг.	3
-остаточный связанный	мг/дм ³	в пределах 0,8-1,2	орг.	3
Хлороформ (при хлорировании воды)	мг/дм ³	0,2 ²⁾	с.-т.	2
Озон остаточный ³⁾	мг/дм ³	0,3	орг.	
Формальдегид (при озонировании воды)	мг/дм ³	0,05	с.-т.	2
Полиакриламид	мг/дм ³	2,0	с.-т.	2
Активированная кремнекислота (по Si)	мг/дм ³	10	с.-т.	2
Полифосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	орг.	3
Остаточные количества алюминий- и железосодержащих коагулянтов	мг/дм ³	см. Показатели "Алюминий", "железо" таблицы 2		

Примечания:

1. При обеззараживании воды свободным хлором время его контакта с водой должно составлять не менее 30 минут, связанным хлором - не менее 60 минут.

Контроль за содержанием остаточного хлора производится перед подачей воды в распределительную сеть.

При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л.

В отдельных случаях по согласованию с органами госсаннадзора может быть допущена повышенная концентрация хлора в питьевой воде.

2. Норматив принят в соответствии с рекомендациями ВОЗ.

3. Контроль за содержанием остаточного озона производится после камеры смешения при обеспечении времени контакта не менее 12 минут.

При обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна быть больше 1. Расчет ведется по формуле

$$\frac{C_{\text{факт.}}^1}{C_{\text{доп.}}^1} \pm \frac{C_{\text{факт.}}^2}{C_{\text{доп.}}^2} \pm \dots \pm \frac{C_{\text{факт.}}^n}{C_{\text{доп.}}^n} \leq 1 \quad (1.1)$$

где C_1, C_2, C_n - концентрации индивидуальных химических веществ 1 и 2 класса опасности: факт. (фактическая) и доп. (допустимая).

Благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 1.3, а также нормативам содержания веществ, оказывающих влияние на органолептические свойства воды.

Таблица 1.3

Требования к качеству питьевой воды по органолептическим показателям

Наименование показателя	Единица измерения	Норматив, не более
Запах	баллы	2

Привкус	баллы	2
Цветность	градусы	20 (35)
Мутность	мг/л (по коалину)	2,6 (3,5) 1,5 (2)

Примечание:

Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

- *Запах воды (в баллах)*, в основном связан с присутствием органических веществ, хлора, сероводорода, аммиака, деятельностью бактерий.
- *Привкус (в баллах)* связан с наличием в воде магния, кальция, натрия, меди, железа, цинка, бикарбонатов (например, жесткость воды), хлоридов и сульфатов.
- *Цветность воды (в градусах)* обусловлена присутствием окрашенных органических веществ, например, гуминовых веществ, водорослей, железа, марганца, меди, алюминия (в сочетании с железом).
- *Мутность (мг/л) воды* вызвана наличием в воде мелкодисперсных взвешенных частиц (глинистых, илистых компонентов, коллоидного железа и др.).

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α - и β - активности, представленным в таблице 1.4.

Таблица 1.4

**Требования к качеству питьевой воды
по радиационным показателям**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы, не более	Показатель вредности
Общая α -радиоактивность	Бк/ дм ³	0,1	радиац.
Общая β - радиоактивность	Бк/ дм ³	1,0	радиац.

Влияние водородного показателя на качество воды

Качество воды можно характеризовать и такими физическими параметрами, как температура, электропроводность, рН. Наиболее важное значение для питьевой воды имеет величина водородного показателя рН.

В рекомендациях ВОЗ значение водородного показателя находится в пределах 6,5—8,5,0. В белорусских Санитарных правилах (СанПиН 10-124 РБ 99) значение водородного показателя находится в интервале 6,0—9,0 (табл.1.1).

Водородный показатель представляет собой величину, характеризующую концентрацию ионов водорода H^+ и гидроксид-ионов OH^- в воде или в водных растворах. Поскольку эта величина, выраженная в г-ионах на литр водного раствора, чрезвычайно мала, принято определять ее как отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов и обозначать символом рН.

$$pH = - \lg[H^+] \quad (1.2)$$

В чистой воде (или нейтральном растворе) при 25°C водородный показатель равен 7 и отражает равенство ионов H^+ и OH^- (гидроксильная группа) как составных частей молекулы воды. В водных растворах в зависимости от соотношения H^+/OH^- водородный показатель может изменяться в пределах от 1 до 14. При величине рН меньше 7 концентрация ионов водорода превышает концентрацию ионов гидроксила и вода имеет кислую реакцию; при рН больше 7 имеет место обратное соотношение между H^+ и OH^- и вода имеет щелочную реакцию. Наличие различных примесей в воде влияет на величину рН, обуславливая скорости и направления химических реакций. Воду в зависимости от рН классифицируют на семь групп (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Классификация природных вод в зависимости от рН

Группа воды	Значение рН
Сильнокислая	До 3
Кислая	Более 3 до 5,0
Слабокислая	Более 5,0 до 6,5
Нейтральная	Более 6,5 до 7,5

Слабощелочная	Более 7,5 до 8,5
Щелочная	Более 8,5 до 9,5
Сильнощелочная	Более 9,5

В природных водах на величину водородного показателя существенным образом влияет соотношение концентраций диоксида углерода CO_2 , угольной кислоты, карбонатных и гидрокарбонатных ионов.

Наличие в воде гумусовых (почвенных) кислот, угольной кислоты, фульвокислот (и других органических кислот в результате разложения органических веществ) понижает водородный показатель до значений 3,0-6,5.

Содержащие бикарбонаты кальция и магния подземные воды характеризуются величиной рН, близкой к нейтральной.

Заметное присутствие в воде карбонатов и бикарбонатов натрия повышает водородный показатель до значений 8,5-9,5.

Величина рН воды рек, озер, подземных вод обычно находится в пределах 6,5—8,5, атмосферных осадков 4,6—6,1, болот 5,5—6,0, морских вод 7,9—8,3.

Методы определения значения рН

Для определения значения рН растворов широко используют несколько методик. Водородный показатель можно приблизительно оценивать с помощью индикаторов, точно измерять рН-метром или определять аналитически путём, проведением кислотно-основного титрования.

1. *Для грубой оценки концентрации водородных ионов широко используются кислотно-основные индикаторы* — органические вещества-красители, цвет которых зависит от рН среды. К наиболее известным индикаторам принадлежат лакмус, фенолфталеин, метиловый оранжевый (метилоранж) и другие.
2. *Для расширения рабочего интервала измерения рН используют так называемый универсальный индикатор*, представляющий собой смесь из нескольких индикаторов. Определения рН индикаторным методом затруднено для мутных или окрашенных растворов.
3. *Использование специального прибора (рН-метра)* позволяет измерять рН в более широком диапазоне и более точно (до 0,01 еди-

ницы рН), чем с помощью индикаторов. Ионметрический метод определения рН основывается на измерении милливольтметром-ионометром электродвижущей силы гальванической цепи, включающей специальный стеклянный электрод, потенциал которого зависит от концентрации ионов H^+ в окружающем растворе. Способ отличается удобством и высокой точностью, особенно после калибровки индикаторного электрода в избранном диапазоне рН, позволяет измерять рН непрозрачных и цветных растворов и потому широко используется.

4. **Аналитический объёмный метод — кислотно-основное титрование** — также даёт точные результаты определения кислотности растворов. Раствор известной концентрации (титрант) по каплям добавляется к исследуемому раствору. При их смешивании протекает химическая реакция. Точка эквивалентности — момент, когда титранта точно хватает, чтобы полностью завершить реакцию, — фиксируется с помощью индикатора. Далее, зная концентрацию и объём добавленного раствора титранта, вычисляется кислотность раствора.

2. Практическая часть

В данной работе проведем определение водородного показателя, используя метод титрования.

Кислотность воды определим количеством щелочи, затраченной на титрование раствора в присутствии индикатора метилоранжа. Кислотность выражают обычно в миллиграмм-эквивалентах на килограмм (л).

Необходимые реактивы

1. Растворы щелочи 0,1 н и 0,01н концентрации.
2. Индикаторы: 0,1%-й водный раствор метилоранжа;
3. Смешанный индикатор (0,125 г метилротата в 50 мл спирта и 0,085 г метиленового голубого в 50 мл спирта).

Порядок выполнения работы

В коническую колбу емкостью 250-300 мл отбирают мерным цилиндром 100 мл анализируемой воды; затем добавляют две капли раствора метилоранжа и титруют окрашенную в розовый цвет жид-

кость 0,1н раствором щелочи до чисто желтого цвета (сравнивают с контрольным пробой воды, в качестве которой служит другая колба содержащая 100 мл дистиллированной воды, 1 мл 0,1 н раствора щелочи и две капли метилоранжа).

Расход щелочи (a), пошедший на титрование записывают в мл. Затем производят расчеты по ниже приведенной формуле:

$$A = \frac{a \cdot N \cdot 1000 \cdot k}{V} \quad (1.3)$$

где A — величина кислотности, мг-экв./кг; a — расход щелочи на титрование, мл; N — нормальность раствора щелочи; k — поправочный коэффициент, V — объем воды на анализ, мл.

* Если расчетная кислотность меньше 0,5 мг-экв./кг, то пробу титруют 0,01н раствором щелочи. При этом можно применять смешанный индикатор. ** Для снижения погрешности полученных результатов опыт проводят дважды.

Структура и содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть (краткая характеристика требований к качеству питьевой воды, методов определения значения рН).
4. Практическая часть (расчет и сравнение водородного показателя питьевой воды и природной воды).
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как формируются возобновляемые ресурсы пресных вод Республики Беларусь?
2. По каким показателям проводится контроль качества питьевой воды в Республике Беларусь?
3. Какими методами определяют водородный показатель?
4. Как классифицируются природные воды в зависимости от рН?
5. От чего зависит величина водородного показателя питьевой воды?
6. Что влияет на значение рН природных вод?
7. Какой нормативный показатель рН у питьевой воды и чему равно значение рН для природных вод?

Лабораторная работа № 2

Определение щелочности воды

Цель работы:

1. Ознакомиться с методами определения щелочности воды.
2. Рассчитать составную и общую щелочности природной воды.
3. Определить ионные формы, обуславливающие потребление кислоты на титрование.
4. Рассчитать массовые концентрации анионов в природной воде.

1. Теоретическая часть

Щелочность воды

Щелочность воды — способность водной среды количественно реагировать с ионами водорода. Щелочность воды обусловлена концентрацией гидрокарбонат-ионов, карбонат-ионов и гидроксид-ионов.

Другие буферные вещества, такие как аммиак, борат, фосфат, силикат и органические анионы, могут быть включены в определение.

К соединениям, обуславливающим щелочность воды, относятся:

1) сильные щелочи (KOH, NaOH) и летучие основания (например, $\text{NH}_3 \times \text{H}_2\text{O}$), а также анионы, обуславливающие высокую щелочность в результате гидролиза в водном растворе при $\text{pH} \geq 8,4$ (CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} и др.);

2) слабые основания и анионы летучих и нелетучих слабых кислот (HCO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , HSiO_3^- , CH_3COO^- , анионы гуминовых кислот и др.).

Соединения, указанные в первой группы определяются по фенолфталеину, второй – по метилоранжу.

Щелочность пробы воды измеряется в моль/л или ммоль/л и определяется количеством сильной кислоты (соляной, серной). израсходованной на нейтрализацию раствора.

Обычно используют соляную кислоту. Если значение щелочности находится диапазоне от 4 до 20 ммоль/л, берут соляную кислоту с концентрацией 0,1 ммоль/л, если значение щелочности находится в диапазоне от 0,4 до 4,0 ммоль/л, берут соляную кислоту с концентрацией 0,02 ммоль/л.

При нейтрализации до значений рН 8,3 в качестве индикатора используют фенолфталеин. Определяемая таким образом величина называется **составной щелочностью** (свободной щелочностью, щелочностью по фенолфталеину). При рН = 8,3 проба воды имеет нулевую составную щелочность.

При нейтрализации до значений рН 4,5 в качестве индикатора рекомендуется использовать раствор смешанного индикатора бромкрезолового зеленого и метилового красного (метилоранжевый обычно используется в России). Определяемая таким образом величина называется **общей щелочностью**. При рН = 4,5 проба воды имеет нулевую общую щелочность. В этой точке наблюдаем завершение титрования гидрокарбонат-анионов.

В зависимости от типа анионов, обуславливающих щелочность, различают: бикарбонатную щелочность $Щ_б$ (HCO_3^-), карбонатную $Щ_к$ (CO_3^{2-}), силикатную $Щ_с$ (HSiO_3^- , SiO_2^{2-}), гидратную $Щ_г$ (OH^-), фосфатную $Щ_ф$ (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}).

Щелочность природных вод обусловлена, главным образом, содержанием в них гидрокарбонатов и карбонатов. Их содержание в воде обусловлено процессами растворения атмосферной CO_2 , взаимодействия воды с находящимися в прилегающих грунтах известняками и, конечно, протекающими в воде жизненными процессами дыхания всех водных организмов. Щелочность природных вод обычно имеет рН < 8,35. Другие формы щелочности появляются в процессах обработки воды. Соединения первой группы могут содержаться также в сточных и загрязненных поверхностных водах. Присутствие свободных гидроксо-анионов в заметных количествах возможно только в сточных или загрязненных водах.

Сущность метода определения щелочности

Пробу титрируют стандартным раствором кислоты до фиксирования в конечных точках титрования со значением рН 8,3 и 4,5. Указанные точки, определяемые визуально или потенциометрическим способом, соответствуют точкам, которые используют для определения гидрокарбонатов, карбонатов и гидроксидов.

Полученное в процессе титрования значение рН 8,3 свидетельствует о титровании всех гидроксидов и половины карбонатов и поз-

воляет определить составную щелочность (щелочность по фенолфталеину).

Полученное в процессе титрования значение рН 4,5 примерно соответствует точке эквивалентности ионов водорода и гидрокарбонатов и позволяет определять общую щелочность пробы.

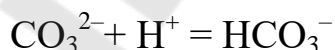
Дадим пояснение происходящих в водном растворе процессов.

Определение карбонат- и гидрокарбонат-анионов является титриметрическим и основано на их реакции с водородными ионами: карбонат-анионов (в присутствии фенолфталеина); гидрокарбонат-анионов (в присутствии метилового оранжевого раствора или смешанного индикатора бромкрезоловый зеленый - метиловый красный).

Используя эти два индикатора, удастся наблюдать две точки эквивалентности:

1. в первой точке (рН 8,0–8,2) в присутствии фенолфталеина полностью завершается титрование карбонат-анионов. При титровании необходимо определить количество кислоты в миллилитрах, израсходованной на титрование карбоната (V_K),
2. во второй (рН 4,1–4,5) – гидрокарбонат-анионов. При титровании необходимо определить количество кислоты в миллилитрах, израсходованной на титрование ($V_{ГК}$).

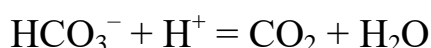
Определение карбонат-анионов основано на реакции:



Присутствие карбонат-аниона в концентрациях, определяемых аналитически, возможно лишь в водах, рН которых более 8,3. В случае присутствия в анализируемой воде гидрокси-анионов при определении карбонатов протекает также реакция нейтрализации:



Определение гидрокарбонат-анионов основано на реакции:



Таким образом, при титровании по фенолфталеину в реакции с кислотой участвуют анионы OH^- и CO_3^{2-} , а при титровании по метиловому оранжевому – OH^- , CO_3^{2-} и HCO_3^- .

Следует иметь в виду, что при определении потребления кислоты на титрование по метилоранжу (V_{MO}) происходит последовательное титрование и карбонатов, и гидрокарбонатов. По этой причине получаемый объем кислоты (V_{MO}) содержит соответствующую долю, обусловленную присутствием в исходной пробе карбонатов, перешедших после реакции с катионом водорода в гидрокарбонаты, и не характеризует полностью концентрацию гидрокарбонатов в исходной пробе. Следовательно, при расчете концентраций основных ионных форм, обуславливающих потребление кислоты, необходимо учесть относительное потребление кислоты при титровании по фенолфталеину ($V_{\text{Ф}}$) и метилоранжу (V_{MO}).

Методы определения щелочности

1. Потенциометрический способ

Данный способ используют для анализа сильноокрашенных или мутных образцов воды.

1.1 Определение составной щелочности, титруемой до рН 8,3 (щелочность по фенолфталеину)

В сосуд для титрования вносят пипеткой 100 мл образца воды. Помещают сосуд на магнитную мешалку, погружают в раствор стержень магнитной мешалки, покрытый пластиком, и откалиброванные электроды рН-метра. Включают мешалку и перемешивают со скоростью, при которой водоворот едва заметен.

Измеряют значение рН образца и, если значение равно 8,3 или менее, свободную щелочность пробы принимают равной нулю. Если значение щелочности находится в диапазоне от 4 до 20 ммоль/л, используют 0,1 моль/л раствора соляной кислоты. Если значение щелочности находится в диапазоне от 0,4 до 4,0 ммоль/л, используют раствор соляной кислоты 0,02 моль/л. Титруют пробу соответствующим раствором кислоты и регистрируют израсходованный на титрование объем в миллилитрах.

Сохраняют анализируемую пробу для определения общей щелочности.

1.2 Определение общей щелочности

После определения составной щелочности продолжают титровать анализируемую пробу тем же раствором соляной кислоты, используемым при титровании пробы до значения рН 8,3 до значения рН 4,50. При приближении к значению рН=4,5 титрующий раствор добавляют постепенно и дают не менее 30 с электродам для установления равновесия. Регистрируют израсходованный на титрование общий объем раствора соляной кислоты в миллилитрах.

2. Визуальный способ

2.1 Определение составной щелочности, титруемой до рН 8,3 (щелочность по фенолфталеину)

В колбу Эрленмейера вместимостью 250 мл вносят пипеткой 100 мл пробы (V1) и добавляют 0,10 мл раствора индикатора фенолфталеина. Если раствор не приобретает розовый цвет, принимают свободную щелочность пробы, титруемой до значения рН 8,3, равной нулю. Пробу, окрашенную в розовый цвет, титруют кислотой до исчезновения розового цвета. Если значение щелочности находится в диапазоне от 4 до 20 ммоль/л, используют соляную кислоту 0,1 моль/л. Если значение щелочности находится в диапазоне от 0,4 до 4,0 ммоль/л, используют соляную кислоту 0,02 моль/л). Титруют пробу соответствующим раствором кислоты и регистрируют израсходованный на титрование объем в миллилитрах. Сохраняют анализируемую пробу для определения общей щелочности.

2.2 Определение общей щелочности

В раствор, использованный для определения составной щелочности, титруемый до значения рН 8,3, добавляют 0,10 мл раствора смешанного индикатора бромкрезоловый зеленый - метиловый красный. Продолжают титровать соответствующим раствором соляной кислоты до изменения цвета - от зеленовато-синего до серого. Регистрируют израсходованный на титрование общий объем соляной кислоты в миллилитрах.

2. Практическая часть

В нашей работе используем метод титрометрического определения щелочности (визуальный способ). Проведем титрование пробы воды стандартным раствором кислоты до фиксирования в конечной точке титрования со значением рН 8,3 (с использованием индикатора

фенолфталеина) и повторное титрование раствора до значения рН 4,5 (с использованием индикатора метилоранжа).

Необходимые реактивы

1. Раствор соляной (серной) кислоты с концентрацией 0,1 моль/л и с концентрацией 0,02 моль/л;
2. Раствор индикатора фенолфталеина, 1 % спиртовой раствор;
3. Раствор смешанного индикатора бромкрезоловый зеленый — метиловый красный;
4. Раствор метилоранжа, 0,1 % спиртовой раствор.

Порядок выполнения работы

Определение составной щелочности, титруемой до рН 8,3 (щелочность по фенолфталеину)

В коническую колбу емкостью 250-300 мл налейте 100 мл (V_1) пробы (анализируемая вода должна быть предварительно освобождена от взвешенных веществ фильтрованием). Добавьте 3—4 капли раствора фенолфталеина. Пробу, окрашенную в розовый цвет, постепенно титруйте с помощью мерного шприца с наконечником либо мерной пипетки раствором соляной кислоты (0,1 моль/л) до исчезновения розового цвета (практически бесцветной). Определите объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование по фенолфталеину ($V_{\text{ф}}$) в миллилитрах.

Примечание. При отсутствии окрашивания раствора в розовый цвет, считают, что карбонат-анион в пробе отсутствует (рН пробы меньше 8,3), свободную щелочность пробы принимают равной нулю.

Раствор после титрования оставьте для дальнейшего определения в нем общей щелочности.

Определение общей щелочности

В раствор, использованный для определения составной щелочности, титруемый до значения рН 8,3, добавьте пипеткой 3—4 капли раствора метилового оранжевого. Постепенно титруйте пробу с помощью мерного шприца с наконечником раствором соляной кислоты

до перехода желтой окраски в оранжевую. Определите объем соляной кислоты, израсходованной на титрование по метилоранжу (V_{MO}) и суммарный объем ($V_{общ.}$) соляной кислоты (общий, т. е. с самого начала титрования) в миллилитрах. Для исключения погрешности анализ необходимо провести не менее 2 раз.

Примечание. Титрование проводите при интенсивном перемешивании воды. Кислоту добавляйте по каплям. Момент окончания титрования определяйте по контрольной пробе.

Обработка результатов

По результатам титрования можно определить:

1. Ионные формы, которые обуславливают потребление кислоты при титровании;
2. Концентрации в анализируемом растворе основных ионных форм, обуславливающих потребление кислоты (гидроксо-, карбонат- и гидрокарбонат-анионов);
3. Величины свободной и общей щелочности воды.

Определение ионных форм, обуславливающих потребление кислоты на титрование

В зависимости от соотношения между количествами кислоты, израсходованными на титрование по фенолфталеину (V_{Φ}) и метилоранжу (V_{MO}), по табл. 2.1 выберите подходящий вариант для вычисления ионных форм, обуславливающих потребление кислоты при титровании.

Таблица 2.1

Определение ионных форм, обуславливающих потребление кислоты на титрование

Соотношение между V_{Φ} и V_{MO}	Вклад ионных форм в потребление кислоты		
	$V_{OH} (OH^-)$	$V_K (CO_3^{2-})$	$V_{ГК} (HCO_3^-)$
$V_{\Phi} = V_{MO}$	0	0	V_{MO}
$2 V_{\Phi} < V_{MO}$	0	$2 V_{\Phi}$	$V_{MO} - 2V_{\Phi}$
$2 V_{\Phi} = V_{MO}$	0	V_{MO}	0
$2 V_{\Phi} > V_{MO}$	$2 V_{\Phi} - V_{MO}$	$2 (V_{MO} - V_{\Phi})$	0
$V_{\Phi} = V_{MO}$	V_{MO}	0	0

Примерный порядок использования табл. 2.1. Выполните действия и ответьте на следующие вопросы:

1. Имеет ли раствор нулевую свободную щелочность? (Т.е. при добавлении фенолфталеина водный раствор не приобретает окраски или слегка розовеет.) Если да, то потребление кислоты обусловлено присутствием только гидрокарбонатов – см. графу 1 табл. 2.1.
2. В каком случае потребление кислоты при титровании по фенолфталеину будет равным общему потреблению кислоты при титровании? Если такое происходит, то потребление кислоты обусловлено присутствием только гидроксил-анионов – см. графу 5 табл. 2.1.
3. Умножьте полученное потребление кислоты при титровании по фенолфталеину на 2 и сравните произведение с общим потреблением кислоты для граф 2–4 табл. 2.1. В каждом случае определите вклад присутствующих ионных форм в потребление кислоты.
Пример расчета. В первой пробе объемом 10 мл (объем выбрали условно) определили количество раствора кислоты, израсходованное на титрование по фенолфталеину: $V_{\text{Ф}} = 0,1$ мл. Во второй пробе определили количество кислоты, израсходованное на титрование по метилоранжу: $V_{\text{МО}} = 0,25$ мл. Сопоставляем величины $2 \times V_{\text{Ф}}$ и $V_{\text{МО}}$ ($2 \times V_{\text{Ф}} < V_{\text{МО}}$). Следовательно, в пробе присутствуют и карбонат-, и гидрокарбонат-анионы, причем потребление кислоты карбонатами составляет $V_{\text{К}} = 2 \times V_{\text{Ф}} = 0,20$ мл, а гидрокарбонатами – $V_{\text{ГК}} = V_{\text{МО}} - 2V_{\text{Ф}} = 0,25 - 0,20 = 0,05$ мл.
4. Проверьте результаты расчета: сумма потребления кислоты на все три формы должна быть равна общему потреблению кислоты.

*Расчет массовой концентрации карбонат-
и гидрокарбонат-анионов*

Массовые концентрации анионов (не солей!) рассчитываются на основании уравнений реакций потребления кислоты карбонатами ($C_{\text{К}}$) и гидрокарбонатами ($C_{\text{ГК}}$) в мг/л по формулам:

$$C_{\text{К}} = \frac{V_{\text{К}} \cdot c(\text{HCl}) \cdot 60 \cdot 1000}{V_1} = V_{\text{К}} \cdot 60$$

$$C_{ГК} = \frac{V_{ГК} \cdot c(HCl) \cdot 61 \cdot 1000}{V_1} = V_{ГК} \cdot 61$$

где: C_K и $C_{ГК}$ — концентрации карбонат-анионов или гидрокарбонат-анионов, мг/л;

V_K и $V_{ГК}$ — объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование карбоната и гидрокарбоната соответственно, мл;
 $c(HCl)$ — точная молярная концентрация используемого раствора соляной (серной) кислоты, моль/л;

V_1 — объем пробы воды, взятой для анализа, мл;
 60 и 61 — эквивалентная масса карбонат- и гидрокарбонат-аниона соответственно;

1000 — коэффициент пересчета единиц измерений.

Расчет составной щелочности, титруемой до значения рН 8,3 (щелочность по фенолфталеину)

$$Щ_{ф.ф.} = A_p = \frac{c(HCl) \cdot V_{ф.} \cdot 1000}{V_1}$$

где: $Щ_{ф.ф.}$ (A_p) — способность реагировать с ионами водорода составной щелочности, титруемой до значения рН 8,3, в ммоль/л;

$c(HCl)$ — уточненная молярная концентрация используемого раствора соляной кислоты, моль/л;

$V_{ф.}$ — объем раствора соляной кислоты, использованный для достижения значения рН 8,3, мл.

V_1 — объем пробы (обычно 100 мл), мл.

Общая щелочность

$$Щ_{общ.} = A_T = \frac{c(HCl) \cdot V_{общ.} \cdot 1000}{V_1}$$

где: $Щ_{общ.}$ (A_T) — способность реагировать с ионами водорода общей щелочности, титруемой до значения рН 4,5, в ммоль/л;

$c(HCl)$ — уточненная молярная концентрация используемого раствора соляной кислоты, моль/л;

$V_{общ.}$ — общий объем раствора соляной кислоты, использованный для достижения значения рН 4,5, мл.

V_1 - объем пробы (обычно 100 мл), мл.

Структура и содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть (краткая сущности метода определения щелочности, характеристика разных способов определения щелочности).
4. Практическая часть (расчет составной, общей щелочности природной воды, ионных форм, обуславливающие потребление кислоты на титрование, массовых концентраций анионов).
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое щелочность? Какие вещества обуславливают щелочность воды?
2. Какие основные соединения обуславливают щелочность природных вод? Какое значение рН чаще всего у природных вод? Дайте пояснения ответа.
3. В чем заключается сущность определения щелочности воды?
4. В чем отличие составной щелочности и общей?
5. Какие происходят реакции в водной среде при титровании сильной кислотой?
6. Когда водный раствор имеет нулевую свободную щелочность?
7. Как определяются составная и общая щелочности?

Лабораторная работа № 3

Расчет максимальной приземной концентрации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Цель работы:

1. Изучить основные критерии качества атмосферного воздуха, механизм рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при выбросах от организованного источника.
2. Рассчитать максимальную приземную концентрацию выбросов загрязняющих веществ, расстояние на котором она достигается и формирование зон загрязнения относительно источника
3. Сделать схематический рисунок.

1. Теоретическая часть

Атмосфера: значение, источники загрязнения, учет выбросов загрязняющих веществ

Атмосфера — воздушная оболочка, окружающая земной шар и связанная с ним силой тяжести. Земная атмосфера составляет около $1/3$ радиуса нашей планеты; простирается на высоту 1,5—2 тыс. км над уровнем моря или суши; имеет массу примерно $15 \cdot 10^{15}$ т; с высотой атмосферное давление и плотность постепенно убывают.

Различают несколько основных слоев атмосферы: тропосфера; стратосфера; мезосфера; термосфера; экзосфера.

Атмосфера выполняет следующие функции:

- обеспечивает организмов жизненно необходимыми газовыми компонентами;
- защищает Землю от различного вида излучений;
- формирует климат;
- является средой распространения света и звука;
- защищает Землю от перегревания и переохлаждения;
- обеспечивает круговорот веществ;
- обеспечивает процессы производственной деятельности газовыми компонентами (азот, кислород, водород, инертные газы);
- является формирующим фактором литосферы (выветривание);

- является природным ресурсом народного хозяйства.

Загрязнение атмосферного воздуха — любое изменение его состава и свойств, которое оказывает негативное воздействие на здоровье человека и животных, состояние растений и экосистем.

В зависимости от масштабов распространения выделяют различные типы загрязнения атмосферы: локальное, региональное и глобальное.

Локальное загрязнение характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ на небольших территориях (город, промышленный район, сельскохозяйственная зона и др.).

При *региональном загрязнении* в сферу негативного воздействия вовлекается территория в сотни километров.

Глобальное загрязнение связано с изменением состояния атмосферы в целом. Глобальные загрязнения приводят к изменению климата, истощению озонового слоя, кислотным осадкам, способствует образованию фотохимического смога.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются:

естественные (природные) загрязнители. К ним относятся: вулканическая деятельность, выветривание горных пород, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров и др.

антропогенные (техногенные) загрязнители. Различают бытовые - загрязнители, обусловленные сжиганием топлива в жилом секторе и переработкой бытовых отходов; производственные загрязнители, образующиеся как выбросы при технологических процессах, отоплении; транспортные - загрязнители, образующиеся при работе автомобильного, железнодорожного, воздушного, морского и речного транспорта.

По составу антропогенные источники загрязнения атмосферы можно разделить на несколько групп:

механические загрязнители — пыль цементных заводов, пыль от сгорания угля в котельных, топках и печах сажа от сгорания нефти и мазута истирающиеся автопокрышки и т. д.;

химические загрязнители - пылевидные или газообразные вещества, способные вступать в химические реакции;

радиоактивные загрязнители.

Загрязняющие вещества поступают в атмосферу в результате дея-

тельности природных и антропогенных факторов, а также в результате регионального и трансграничного переноса.

Показатель «выбросы загрязняющих веществ» характеризуют степень существующего и ожидаемого воздействия выбросов основных загрязняющих веществ на окружающую среду и позволяют определить путь к достижению целевых значений, выраженных посредством национальных значений выбросов. Данный показатель складывается из двух составляющих: выбросы от стационарных источников и выбросы от мобильных источников.

Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников характеризуются как общее количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от всех организованных и неорганизованных стационарных источников. Согласно данным статистики, в 2014 г. стационарными источниками атмосферный воздух выброшено 462,8 тыс. т загрязняющих веществ, из них вклад промышленности составил 58,1 %, сельское хозяйство — 34,0 %, транспорт и связь 4,7 %. Доля организованных источников составила 83 % от общего количества выбросов стационарными источниками. На стационарные источники приходятся основные выбросы диоксида серы (99,6 %) , выбросы твердых веществ выбросов твердых веществ (56,4 %) и выбросы углеводородов (52,9 %).

Выбросы загрязняющих веществ мобильными источниками определяются на основании количества потребляемого топлива и данных по распределению парка транспортных средств, находящихся в обращении на территории страны, по экологическим классам в процентах к общему их количеству на основании сведений Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Мобильными источниками в 2014 г. было выброшено 880,8 тыс. т загрязняющих веществ. Таким образом, работой автотранспорта по-прежнему обусловлена большая часть (87,0 %) валовых выбросов загрязняющих веществ. Причем на автотранспорт приходится большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (87,7 %) и оксидов азота (61,2 %).

В связи с возрастающим антропогенным воздействием на атмосферный воздух первоочередными становятся полный учет выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) и оценка их воздействия на окружающую среду. Каждое предприятие обязано вести первичный учет количества и характеристик источников загрязнения атмосферы,

а также количества улавливаемых и обезвреживаемых ЗВ.

Организация первичного учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу начинается на предприятии с проведения инвентаризации источников загрязнения атмосферы и источников выделения, которая осуществляется при максимальной загрузке всего оборудования предприятия. В ходе инвентаризации систематизируются сведения об источниках загрязнения, их параметры (высота, скорость, температура газовой смеси, расположение на территории и др.), определяются перечень загрязняющих веществ, максимально-разовые и валовые выбросы. В соответствии с нормативными актами инвентаризация должна проводиться не реже одного раза в пять лет, в случае реконструкции или изменения технологии производства предприятие производит уточнение ранее полученных данных.

Основные критерии качества атмосферного воздуха

В качестве критерия качества атмосферного воздуха используется предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ (ПДК).

Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ - максимальная концентрация примесей в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия.

В Республике Беларусь для оценки качества воздуха в рабочей зоне и для атмосферного воздуха рабочих мест используют предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны и предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных мест.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны — это концентрации, которые при ежедневном воздействии (кроме выходных дней) в течение 8 часов или другой длительности, но не превышающей 40 часов в неделю не могут вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья в процессе работы настоящего или последующих поколений.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных мест — это максимальные концентрации, отнесенные к определенному периоду осреднения (30 мин, 1 час,

24 часа, 1 год) и не оказывающие ни прямого, ни косвенного вредного воздействия на организм человека, включая отдаленные последствия для настоящего и последующих поколений.

Таким образом, по данным о загрязнении атмосферы определяют величины концентраций примесей: разовые, среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые.

Максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{м.р.}) — это такая концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна вызывать при вдыхании его в течение 20 минут рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

Среднесуточная ПДК устанавливается с целью предупреждения их общетоксического, канцерогенного, мутагенного и иного действия. Среднесуточная концентрация представляет собой пробу воздуха, отбираемую в течение 24 ч непрерывно или с равными интервалами между отборами, но не менее четырех раз в сутки., включая обязательные сроки 1, 7, 13, 19 ч.

Среднемесячная концентрация примеси в атмосфере — концентрация примеси, определяемая как среднее значение из среднесуточных концентраций или из разовых концентраций, измеренных по полной программе контроля не менее 20 суток в месяц.

Среднегодовая концентрация примеси в атмосфере — концентрация, определяемая как среднее значение из среднесуточных концентраций или из разовых концентраций, измеренных по полной программе контроля не менее 200 сут. в год.

Фоновая концентрация загрязняющего атмосферу вещества — концентрация, создаваемая всеми источниками, исключая рассматриваемые.

В целях улучшения состояния атмосферного воздуха, предотвращения и снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для каждого предприятия устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) - это масса загрязняющего вещества в отходящих газах, максимально допустимая к выбросу в атмосферу в единицу времени. ПДВ устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы (и для каждой примеси, выбрасываемой этим источником). Сумма выбросов вредных веществ от одного источника и фоновая концентрация веществ не должны со-

здавать приземную концентрацию, превышающую их ПДК_{мр}.

Основной параметр - предельно допустимый выброс максимально разовый (ПДВ_{мр}) - устанавливается при условии полной нагрузки технологического и газоочистительного оборудования и их нормальной работы и не должен превышать в любой 20-минутный период времени.

Природоохранные мероприятия по защите атмосферы

Защита атмосферного воздуха от загрязнений осуществляется по следующим направлениям:

планировочные мероприятия: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом «розы ветров»; выбор под застройку промышленного предприятия ровного возвышенного места, хорошо продуваемого ветрами; сооружение автомобильных дорог в обход населенных пунктов; устройство санитарно-защитных зон; озеленение городов;

санитарно-технические мероприятия: включает: установку газопылеочистного оборудования; сооружение сверхвысоких дымовых труб; герметизацию технологического и транспортного оборудования; извлечение из загрязненных газов ценных продуктов (улавливание соединений цинка, свинца, меди, никеля и других металлов из газов обжиговых печей и т. п.); уменьшение износа оборудования; оснащение двигателей внутреннего сгорания нейтрализаторами для обезвреживания отработавших газов; создание станций (служб) регулировки двигателей автомобилей, с целью снижения токсичности отработавших газов, систем снижения токсичности отработавших газов; создание и внедрение присадок к топливам, снижающих токсичность отработавших газов; создание автоматических систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха, оснащение стационарных источников выброса вредных веществ в атмосферу приборами контроля; установка устройств по дожигу и устройств, использующих другие методы доочистки хвостовых газов перед непосредственным выбросом в атмосферу;

технологические мероприятия: создание чистых технологий, модернизацию основных производственных средств, внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий. Это наиболее радикальная мера защиты воздушного бассейна.

Рассеивание токсичных выбросов в атмосфере

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

Для решения этой задачи каждым предприятием осуществляется расчет предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу. При расчете ПДВ определяется максимальная приземная концентрация загрязняющего вещества (C_m) и расстояние от трубы завода, на которой она будет наблюдаться (X_m).

Расчет ПДВ базируется на следующих положениях:

- на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере влияют метеорологические параметры: скорость и направление ветра, температурная стратификация атмосферы, температура атмосферного воздуха;
- максимальная приземная концентрация от данного источника загрязнения, возникающая при неблагоприятных метеорологических условиях (при опасной скорости и направлении ветра, высокой температуре атмосферы) не должна превышать ПДК за границей санитарно-защитной зоны;
- приземная концентрация загрязняющих веществ зависит от параметров источника выброса и состава пылегазовоздушной смеси.

Приземная концентрация загрязняющих веществ напрямую зависит от процесса рассеивания в атмосфере.

Рассмотрим механизм рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от организованного высокого источника (рисунок 3.1).

Концентрация вредных примесей в приземном слое атмосферы по мере удаления от трубы (в направлении, совпадающим с направлением ветра) сначала нарастает, достигая максимума на расстоянии 10—40 высот трубы), и затем медленно убывает.

Выделяют три зоны неодинакового загрязнения атмосферы: зона переброса факела выбросов, характеризующаяся относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы;

зона задымления с максимальным содержанием вредных веществ и зона постепенного снижения загрязнении

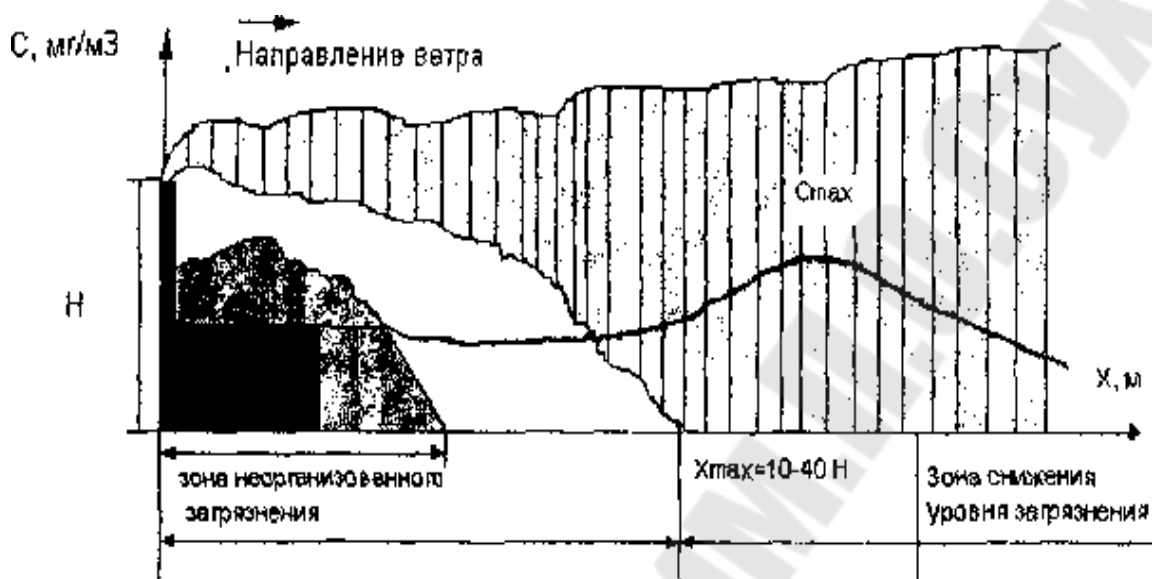


Рис. 3.1. Изменение приземной концентрации примесей в атмосфере от одиночного точечного источника

Начальная точка соприкосновения струи с поверхностью земли является началом зоны загрязнения. За этой точкой концентрация ЗВ начинает нарастать, что обусловлено выпадением ЗВ, достигающих поверхности земли в данный момент, а также примесями, ранее достигшими земной поверхности и продолжающими свое движение по направлению ветра.

На каком-то расстоянии концентрация ЗВ на поверхности земли достигает максимального значения, а затем начинает уменьшаться. Максимальная концентрация ЗВ (C_m) прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты над землей.

Выбросы промышленных предприятий могут быть нагретыми (горячими) и холодными. Нагретыми условно называют источники, у которых температура выбрасываемой газовой смеси выше 50°C ; при более низкой температуре выбросы считаются холодными. К маломощным слабо нагретым (холодным) выбросам относится большинство вентиляционных выбросов.

2. Практическая часть

Задача. Определить максимальную приземную концентрацию загрязняющих веществ при выбросе нагретой газовой смеси (SO_2 , NO_x , золы) из одиночного точечного источника с круглым устьем; расстояние на котором она достигается. Определить зоны распределения загрязнения в атмосфере относительно источника выброса, сделать схематический рисунок. Для расчетов использовать данные табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета

№	Мс ум г/с	$A, C^{2/3} *$ $^{\circ}C^{1/2}$ мг/г	F	H, м	η	Д, м	ω_0	Тв, $^{\circ}C$	Тг, $^{\circ}C$
1	1,0	200	2,0	55	1,3	0,5	1,5	14	220
2	2,0	160	2,5	45	1,5	0,3	2,5	16	240
3	1,4	200	2,0	51	1,2	0,4	1,9	19	130
4	1,8	160	2,5	48	1	0,3	2	21	130
5	2,4	240	1,0	46	1,1	0,3	2,4	13	250
6	2,1	200	2,0	56	1,4	0,3	2,1	17	270
7	1,2	200	3,0	50	1,2	0,4	1,5	16	200
8	1,6	240	2,0	50	1,6	0,4	1,9	15	200
9	1,5	160	2,0	45	2	0,4	2,2	16	132
10	1,0	120	2,5	45	1,6	0,3	2,2	18	133
11	1,9	160	3,0	45	1,4	0,3	2,4	19	134
12	0,8	150	3,0	45	1,1	0,32	1,8	17	265
13	2,1	200	1,0	56	1,5	0,5	2,2	11	180

Методика расчета

Расчет максимального значения приземной концентрации

Максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) от одиночного (точечного) источника для выброса нагретой га-

завоздушной смеси при неблагоприятных метеоусловиях определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (3.1)$$

где C_m - максимальная приземная концентрация вредных веществ мг/м³;

A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания атмосферных примесей. Приняты следующие показатели коэффициента A : для Беларуси — 120; для территорий Среднего Поволжья, Урала, Украины — 160; для территорий Нижнего Поволжья, Кавказа, Сибири, Дальнего Востока — 200; для субтропической зоны Средней Азии — 240.

M - количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, мг/с;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания веществ в атмосферном воздухе. Приняты следующие значения коэффициента F : для газов, мелкодисперсной аэрозоли — 1. Для крупнодисперсной пыли и золы коэффициент устанавливается с учетом используемой степени очистки: при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90 % коэффициент $F = 2$; от 75 % до 90 % коэффициент $F = 2,5$; менее 75 % или при отсутствии очистки коэффициент $F = 3$.

m, n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси от устья источника выброса;

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности на рассеивание примесей. В случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta = 1$; в высокогорной местности $\eta = 2$.

H - высота источника над уровнем земли, м;

V_1 - объем газовой смеси, м³/с;

ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси $T_г$ и температурой окружающего воздуха $T_в$ (°С).

При выбросах из источника с круглым устьем объем газовой смеси (V_1) находится по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.2)$$

где D — диаметр устья источника выброса, м;
 $\omega_{0с}$ — средняя скорость выхода газоздушного выброса из устья источника выброса, м/с.

Значения коэффициентов m и n определяются по вспомогательным величинам, вычисляемым, в свою очередь, с учетом параметров f и v_m .

Коэффициент m для горячих выбросов определяется в зависимости от f по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \text{ при } f < 100. \quad (3.3)$$

$$\text{где } f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (3.4)$$

Коэффициент n при $f < 100$ (горячие выбросы) определяется в зависимости от v_m :

$$\text{при } v_m \geq 2 \text{ коэффициент } n = 1; \quad (3.5)$$

$$\text{при } 0,5 \leq v_m < 2 \text{ коэффициент } n = 0,532 v_m^2 - 2 v_m + 3,13; \quad (3.6)$$

$$\text{при } v_m < 0,5 \text{ коэффициент } n = 4,4 v_m; \quad (3.7)$$

$$\text{где } v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} \quad (3.8)$$

Расчет расстояния, на котором достигается максимальное значение приземной концентрации

Расстояние от источника выбросов X_m , на котором приземная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения, определяется по формуле:

$$\text{Когда } F < 2 \quad X_m = dH, \text{ м} \quad (3.9)$$

$$\text{Когда } F \geq 2 \quad X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H \quad (3.10)$$

Коэффициент d при $f < 100$ (горячие выбросы) находится по формулам:

$$\text{При } v_m > 2 \text{ коэффициент } d = 7 \cdot \sqrt{f} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \cdot v_m \quad (3.11)$$

$$\text{При } 0,5 < v_m \leq 2 \text{ коэффициент } d = 4,95 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \cdot v_m \quad (3.12)$$

$$\text{При } v_m \leq 0,5 \text{ коэффициент } d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad (3.13)$$

Структура и содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть (характеристика критериев качества атмосферного воздуха).
4. Практическая часть (расчет C_m , X_m и зон рассеивания ЗВ).
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое атмосфера, какие ее основные функции?
2. Какие вы знаете классификации загрязняющих атмосферу веществ? Дайте им характеристику.
3. Назовите критерии качества атмосферного воздуха, дайте их характеристику.
4. Какие источники выбросов относят к нагретым источникам?
5. От каких параметров зависит расчет ПДВ?
6. От чего зависит рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере?

Лабораторная работа № 4

Определение экономической эффективности водоохранных мероприятий

Цель работы:

1. Изучить основные направления рационального использования водных ресурсов и способы очистки сточных вод;
2. Рассчитать предотвращенный экономический ущерб в результате строительства на участке реки водоохранных сооружений, экономическую эффективность затрат на строительство.

1. Теоретическая часть

Водные ресурсы Республики Беларусь

Гидросфера — важнейший элемент биосферы, объединяющий воды земного шара, включая океаны и моря, подземные и поверхностные воды суши, ледники Арктики и Антарктиды. Общий объем гидросферы — 1,4 млрд км³. Основная масса воды гидросферы сосредоточена в морях и океанах (94 %), затем идут подземные воды — 3,6 %, лед и снег Арктики и Антарктиды, горных ледников — 2 %, поверхностные воды суши и атмосферные воды — 0,4%. На пресные воды приходится около 2 % гидросферы, причем используемая часть составляет менее 1 % общего объема вод гидросферы. **Водные ресурсы** — пригодные для хозяйственного использования запасы поверхностных вод, включая почвенную и атмосферную влагу. Их объем определяется суммарным стоком в средний по водности год. Наибольшими ресурсами обладают Азия (31 %) и Южная Америка (25,2%), наименьшими — Европа (6,9 %) и Австралия (5,1 %).

В странах СНГ среднегодовой объем стока составляет 4,7 тыс. км³, причем 90 % приходится на Российскую Федерацию.

Ресурсы поверхностных вод Беларуси составили в 2014 г. 40,9 км³ и формировались в соответствии с количеством выпавших осадков в текущем году и увлажненностью предшествующего сезона. В общем объеме годового стока рек Республики Беларусь на сток Днепра приходится 20 % (8,8 км³), Сожа — 12 (4,8), Припяти — 30 (12,1),

Западной Двины — 19 (17), Немана — 12 (5,1), Вилии — 5 (1,9), рек западного Буга и Нарева — 2 %. Естественные ресурсы пресных подземных вод Беларуси — 15,9 км³ в год. В 2014 г. объём добычи воды из поверхностных водных объектов и подземных вод Беларуси составил 1571 млн м³, в том числе из поверхностных вод изъято 704 млн м³, добыча подземных вод не превышала 867 млн м³.

Интенсивное использование водных ресурсов влечет за собой резкое изменение их качественных параметров в результате сброса в воду загрязнений антропогенного происхождения (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Основные источники загрязнения водных ресурсов

Источники	Загрязнители	Последствия
Нефтедобыча и нефтепереработка	Нефть, нефтяные масла	Ухудшение газообмена, токсические отравления ихтиофауны
Теплоэнергетика	Выбросы теплоты	Нарушение кислородного баланса
Гидроэлектростанции	—	Затопление прилегающих территорий, изменение гидрологического и биологического режимов рек, ухудшение потенциала самоочищения
Целлюлозно-бумажная промышленность	Органические вещества	Нарушение кислородного баланса, гибель ихтиофауны, ухудшение вкусовых качеств воды
Химическое и нефтехимическое производство, горнодобывающая промышленность	Растворы соли и соединения ртути, цинка, свинца, мышьяка и др.	Накопление в организмах обитателей гидросферы, рост заболеваемости людей
Машиностроительный комплекс (гальваническое производство)	Ионы тяжелых металлов, неорганические кислоты и щелочи, цианиды	Накопление в организмах обитателей гидросферы, рост заболеваемости людей

Легкая промышленность	СПАВ, СМС	Гибель ихтиофауны, ухудшение вкусовых качеств воды, образование пены как среды переноса возбудителей инфекционных заболеваний
Сельскохозяйственное производство	Пестициды, минеральные удобрения, сточные воды	Нарушение кислородного баланса, гибель ихтиофауны, повышение токсичности донных отложений
Жилищно-коммунальное хозяйство	Органические вещества	Изменение качества воды, формирование иловых вод, содержащих сероводород, аммиак, тяжелые металлы
Атомные электростанции	Радионуклиды	Генетические изменения ихтиофауны, воздействие на человека

Основные направления охраны и рационального использования водных ресурсов

Выделяют следующие направления по охране водных ресурсов:
государственное регулирование, включает создание системы управления, прогнозирования и планирования на основе бассейнового принципа, которая базируется на данных водного кадастра, расчетах водохозяйственного баланса, водопотребления и водообеспечения;

правовое регулирование, осуществляется в соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь (1998), в котором установлены права и обязанности водопользователей, и нормативно-правовыми актами;

экономическое регулирование, включает финансирование мероприятий по рациональному использованию и охране вод; установление лимитов водопользования, нормативов платы за водопользование и водопотребление, нормативов платы за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты; применение налоговых, кредитных и других льгот при использовании малоотходных и экологически безопасных технологий, проведение мероприятий, дающих значительный эффект в области рационального использования и охраны вод; покрытие ущерба, нанесенного водным объектам и

здоровью людей, в связи с нарушением требований водного законодательства;

организационные и технические мероприятия, среди них очистка сточных вод (механическая, химическая, физико-химическая, биологическая); улучшение работы очистных сооружений, внедрение замкнутого цикла водоснабжения; контрольно-запретительные мероприятия (установление экологических нормативов ПДК и ПДС).

Методы очистки сточных вод

Очистка сточных вод — это обработка воды для разрушения или удаления из нее определенных веществ. Выделяют четыре основных метода очистки сточных вод: гидромеханические, физико-химические, химические, биологические. Выбор метода очистки зависит от размера частиц примесей, их физико-химических свойств, концентрации веществ, степени очистки и других факторов. В зависимости от степени вредности и характера загрязнений очистка сточных вод может производиться каким-либо одним способом или комплексом методов.

Гидромеханическую очистку применяют для удаления из производственных сточных вод грубодисперсных, тонкодисперсных и коллоидных нерастворимых примесей. К основным методам гидромеханической очистки воды относят: процеживание, отстаивание, фильтрование и центрифугирование.

Физико-химические методы очистки сточных вод применяются для очистки от тонкодисперсных примесей, органических веществ, минеральных примесей. К основным физико-химическим методам очистки сточных вод относят: флотацию, адсорбцию, экстракцию, ионный обмен, обратный осмос и ультрафильтрацию и др.

Методы химической очистки сточных вод основаны на проведении химических реакций с использованием химических реагентов, и последующем получении из загрязняющих примесей безвредных или менее вредных новых веществ, которые легче удалить, чем исходные. К химическим методам очистки сточных вод относят: нейтрализацию, коагуляцию, флокуляцию, окисление и восстановление примесей.

Биологическая очистка сточных вод осуществляется с помощью живых организмов разного уровня организации. Биохимической ме-

тод очистки основан на способности некоторых микроорганизмов питаться растворенными в воде органическими и некоторыми неорганическими веществами. Методы биологической очистки эффективны и являются по существу обязательной составной частью системы очистки сточных вод каждого предприятия.

2. Практическая часть

Задача. На предприятии предусмотрен сброс сточных вод (двух типов) в открытый водохозяйственный участок. В сточных водах содержатся загрязняющие вещества (ЗВ): взвешенные частицы, БПК, СПАВ, нефть. При проведении природоохранных мероприятий на предприятии предусмотрено строительство водоохраных сооружений. Рассчитать предотвращенный экономический ущерб в результате строительства на участке реки водоохраных сооружений, экономическую эффективность затрат на строительство. Данные для расчетов приведены в табл. 4.1—4.2.

Таблица 4.2

Объем сточных вод, значение коэффициента (B_k), капитальные вложения (К) эксплуатационные расходы (С)

№	Объем сточных вод, м ³		Значение (σ_k)	Капитальные вложения (К), млн усл. ед.	Эксплуатационные расходы (С), млн усл. ед.
	тип 1	тип 2			
1	5	7	0,47	4,0	0,3
2	6	8	0,47	4,0	0,3
3	7	9	1,75	4,8	0,4
4	8	15	1,75	4,8	0,4
5	9	10	1,13	5,2	0,5
6	10	12	1,13	5,5	0,5
7	11	11	3,79	5,5	0,6
8	12	16	0,79	6,6	0,6
9	13	20	1,87	6,5	0,7
10	14	17	1,87	6,5	0,8
11	15	15	2,6	10,0	0,9

12	16	25	0,8	10,0	0,9
13	20	15	0,8	16,0	1,0
14	25	18	0,8	20,0	1,0
15	26	10	0,34	21,0	1,1
16	27	19	0,34	22,0	1,2
17	28	10	0,34	15,0	1,3
18	29	11	0,19	15,0	1,4
19	30	20	0,19	10,0	1,5
20	31	23	0,19	20,0	0,9
21	32	10	0,19	18,0	1,1
22	33	23	2,6	19,0	1,2
23	34	15	2,6	20,0	1,3
24	32	25	2,6	21,0	1,4
25	35	27	0,18	22,0	1,5

Таблица 4.3

Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах до очистки и после очистки, г / м³

Загрязняющее вещество	Концентрация ЗВ				Значение А, усл. т/т
	до очистки		после очистки		
	тип 1	тип 2	тип 1	тип 2	
Взвешенные вещества	300,0	200,0	120,0	50,0	0,05
БПК	150,0	200,0	80,0	60,0	0,33
Нефть	0,6	0,4	0,2	0,1	20,0
СПАВ	5,0	4,0	2,0	1,0	2,0

Методика расчета

Расчет общей экономической эффективности капитальных затрат на водоохранные мероприятия

Общая экономическая эффективность капитальных затрат на водоохранные мероприятия определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{P}{C + K \cdot r} \quad (4.1)$$

где P — экономический результат проведения водоохранного мероприятия (предотвращенный ущерб), усл. ед./год; C — эксплуатационные (текущие) расходы на охрану вод, млн усл. ед.; K — капитальные вложения на строительство водоохранного сооружения, млн усл. ед.; r — норматив эффективности капитальных вложений, равный 0,12.

Расчет предотвращенного годового экономического ущерба

Результатом проведения водоохранного мероприятия является предотвращенный ущерб от снижения количества попадающих в водоём загрязняющих веществ после внедрения проекта:

$$P = Y_1 - Y_2 \quad (4.2)$$

где P — предотвращенный ущерб, усл. ед./год; Y_1 — ущерб от сброса загрязненных сточных вод, усл. ед./год; Y_2 — остаточный ущерб от сброса в водоем очищенных сточных вод, усл. ед./год;

Расчет годового экономического ущерба от сброса загрязняющих веществ в водохозяйственный участок

Ущерб от сброса загрязненных стоков в k -й водохозяйственный участок предприятием определяется следующим образом:

$$Y = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M \quad (4.3)$$

где γ — множитель, численное значение которого равно 400 усл. ед. / усл. т; σ_k — константа, имеющая разное значение для различных водохозяйственных участков; M — приведенная масса годового сброса загрязняющих веществ в k -й водохозяйственный участок, усл. т в год.

Расчет приведенной массы годового сброса примесей

Приведенная масса годового сброса вычисляется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i \quad (4.4)$$

где A_i — показатель относительной опасности сброса i -го вещества в водоемы, усл. т / т; m_i — общая масса годового сброса i -го вещества предприятием, т / год; i (1, 2, ..., n) — номер сбрасываемой примеси; n — общее число примесей, сбрасываемых данным источником.

Расчет общей массы годового сброса i -й примеси предприятием

При постоянной величине концентрации i -й примеси, поступающей в водоем со сточной водой, общая масса годового сброса i -й примеси вычисляется по формуле

$$m_i = C_{ij} \cdot V_i \quad (4.5)$$

где C_{ij} — концентрация i -го вещества в сточных водах j -го типа, г/ м³; V_i — объем годового сброса сточных вод j -го типа данным источником, м³ в год.

Структура и содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть (краткая характеристика направлений рационального использования водных ресурсов и способов очистки сточных вод).
4. Практическая часть (расчет Э, Р).
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидросфера? Дайте определение понятия водные ресурсы и общую характеристику водных ресурсов Республики Беларусь.
2. Какие вы знаете источники загрязнения водных ресурсов, виды, последствия?
3. Дайте характеристику направлений охраны и рационального использования водных ресурсов.

4. Какие вы знаете способы очистки сточных вод? Дайте их характеристику.

Лабораторная работа № 5

Определение дозы коагулянта при коагуляции воды

Цель работы:

1. Ознакомиться со способами очистки сточных вод.
2. Изучить очистку сточных вод методом коагуляции.
3. Определить оптимальную дозу коагулянта для природной воды.

1. Теоретическая часть

Способы очистки сточных вод

Сточные воды — главный загрязнитель поверхностных вод. *Сочными водами* считают воды, отводимые после использования ее в хозяйственно-бытовой и производственной деятельности (кроме дренажной, карьерной, шахтной, рудничной), а также воды, отводимые с застроенной территории, на которой она образовалась в результате выпадения атмосферных осадков.

Разработка и внедрение эффективных методов очистки сточных вод представляется весьма актуальной и экологически важной задачей.

Поверхностные воды охраняют от засорения, загрязнения и истощения.

Загрязнение вод — поступление в водный объект загрязняющих веществ, микроорганизмов, тепла, нарушающих состав и свойства воды.

Засорение вод — накопление в водных объектах посторонних предметов.

Истощение вод — устойчивое уменьшение минимально допустимого стока поверхностных вод или сокращение запасов подземных вод.

Очистка сточных вод — это обработка воды для разрушения или удаления из нее определенных веществ. Ввиду огромного многообразия состава сточных вод существуют различные способы их очистки.

Выделяют четыре основных метода очистки сточных вод: гидромеханические, физико-химические, химические, биологические.

Выбор метода очистки зависит от размера частиц примесей, их физико-химических свойств, концентрации веществ, степени очистки и других факторов. В зависимости от степени вредности и характера загрязнений очистка сточных вод может производиться каким-либо одним способом или комплексом методов.

Гидромеханическую очистку применяют для удаления из производственных сточных вод грубодисперсных, тонкодисперсных и коллоидных нерастворимых примесей. К основным методам гидромеханической очистки воды относят: процеживание, отстаивание, фильтрование и центрифугирование.

Процеживание (первичная стадия очистки сточных вод) осуществляется пропусканием воды через решетки, сетки и волокноуловители.

Отстаивание основано на особенностях процесса осаждения твердых частиц в жидкости.

Фильтрование сточных вод применяется для очистки их от тонкодисперсных твердых примесей. Для очистки сточных вод машиностроительных предприятий используют два класса фильтров: зернистые (в качестве фильтроматериалов используют кварцевый песок, гравий, и т. п.) или микрофильтры (фильтроэлементы которых изготовлены из связанных пористых материалов).

Центрифугирование — удаление твердых взвешенных частиц в поле действия центробежных сил, осуществляемое в открытых или напорных гидроциклонах и центрифугах.

Физико-химические методы очистки сточных вод применяются для очистки от тонкодисперсных, минеральных примесей. К основным физико-химическим методам очистки сточных вод относят: флотацию, адсорбцию, экстракцию, ионный обмен, обратный осмос и ультрафильтрацию и др.

Флотацию применяют для удаления из сточных вод тонкодисперсных и коллоидных примесей. Сущность очистки флотацией заключается в следующем: в очищаемую жидкость подают воздух, мелкие пузырьки которого всплывают на поверхность, увлекая за собой частички загрязнителя, и образуют пенообразный слой, насыщенный флотируемым веществом.

Адсорбцию широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки. В качестве адсорбентов используют активные угли, цеолиты,

ионообменные смолы и др.

Экстракция — процесс перераспределения примесей сточных вод в смеси двух взаимно нерастворимых жидкостей (сточной воды и экстрагента). Жидкостная экстракция применяется для очистки сточных вод от органических веществ (масла, органические кислоты, ионы металлов и др.).

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод минеральных примесей (металлов, а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений, радиоактивных и многих других веществ). Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки. Сущность ионообменной очистки основана на взаимодействии раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать содержащиеся в ней подвижные ионы на ионы, присутствующие в растворе. Твердая фаза состоит из ионитов, которые практически не растворимы в воде. Иониты бывают: органическими (гуминовые кислоты почв и углей, ионообменные смолы с развитой поверхностью) и неорганическими (цеолиты, глинистые материалы, полевые шпаты и др.).

Биологическая очистка сточных вод осуществляется с помощью живых организмов разного уровня организации. Существуют два направления биологической очистки: метод биохимической очистки и метод биологической доочистки сточных вод (заключительный этап биохимической очистки, осуществляемый в биологических прудах).

Методы химической очистки сточных вод основаны на проведении химических реакций с использованием химических реагентов, и последующем получении из примесей безвредных или менее вредных новых веществ. К химическим методам очистки сточных вод относят: нейтрализацию, коагуляцию, флокуляцию, окисление и восстановление примесей.

Нейтрализация основана на объединении ионов водорода и гидроксильной группы в молекулу воды, в результате чего сточная вода имеет среду близкую к нейтральной. За регулируемый параметр нейтрализации стока принимают рН воды (после очистки - этот показатель установлен регламентом в пределах 6,5—8,5).

В процессе окисления токсичные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в результате химических реакций переводятся в менее токсичные с последующим удалением из воды. Для обработки

сточных вод используются такие окислители, как газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорная известь, озон, и др.

Методы восстановительной очистки применяют в тех случаях, когда сточные воды содержат легко восстанавливаемые вещества. Эти методы широко используются для удаления соединений ртути, хрома, мышьяка.

Коагуляция — это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты под влиянием добавляемых к сточным водам специальных веществ — коагулянтов (сульфат алюминия, сульфат и хлориды железа, алюминиевые квасцы и смесь хлорида и сульфата железа). Этот метод мы и разберем более подробно на лабораторном занятии.

Флокуляцию применяют для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Для очистки сточных вод используют природные флокулянты (крахмал, декстрин, эфиры целлюлозы и др.) или синтетические флокулянты (полиакриламид, активная кремниевая кислота и др.).

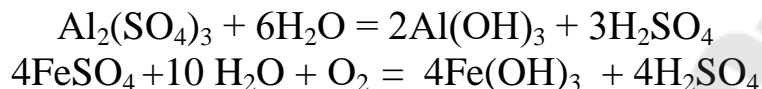
Очистка сточных вод методом коагуляции

Установлено, что, применяя коагуляцию, можно удалить из воды 60-80 % органических веществ и 25-50 % кремниевой кислоты, находящихся в коллоидном состоянии.

Коллоидные примеси нельзя удалить из воды путем естественного осаждения, т. к. их частицы имеют на своей поверхности отрицательные электрические заряды и, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии. Нельзя удалить из воды коллоидные примеси и путем фильтрования через фильтры, т. к. размеры частиц (0,01-0,1 микрон) настолько малы, что они, не задерживаясь, проходят через фильтрующий слой. Укрупнение коллоидных частиц до размеров, при которых они достаточно быстро осаждаются в отстойниках или задерживаются на фильтрах, достигается коагуляцией.

✓ В качестве коагулянтов обычно применяют соли алюминия, железа или их смеси: $Al_2(SO_4)_3$ (сернокислый алюминий), $Fe_2(SO_4)_3$ (сернокислое железо) и др. Наилучший эффект коагуляции при использовании сернокислого алюминия получается при $pH = 6,5—7,5$; сернокислого железа — при $pH = 8—10$.

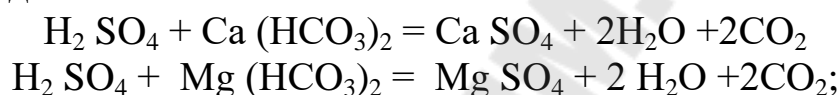
В результате реакций гидролиза образуются гидраты окиси алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ или железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, обладающие способностью сорбировать взвешенные в воде частицы коллоидных примесей, взаимно слипаться, образуя крупные макромолекулы:



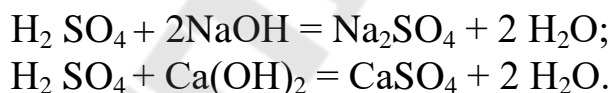
Образованные вновь крупные хлопья, выпадают под действием силы тяжести в осадок.

Образующаяся при гидролизе H_2SO_4 должна быть нейтрализована. Различают два способа ее нейтрализации:

1. бикарбонатами ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), содержащимися в сточной воде:



2. добавлением в воду NaOH , Na_2CO_3 или $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (при отсутствии бикарбонатов:



Оптимальная доза коагулянта не может быть определена расчетным путем, поэтому для ее установления выполняются лабораторные опыты.

2. Практическая часть

Порядок выполнения работы

Определяют общую щелочность исходной воды (описание приведено в лабораторной работе №2). Если она окажется больше 1 мг-экв./кг, то опыты проводят с применением одного только коагулянта. В противном случае добавляют и раствор щелочи.

Необходимую дозировку реагентов определяют в следующей последовательности:

Приготавливают 5—7 штук цилиндров (колб) емкостью 500 мл.

1. Обрабатываемую воду подогревают до 30-40 °С и наливают в цилиндры (колбы) по 100 мл.
2. Дозировку коагулянта находят следующим образом:
3. В ряд цилиндров с подогретой водой из бюретки добавляют разное количество 1%-й раствора $Al_2(SO_4)_3$. Например, в первый цилиндр - 2 мл; во второй - 3 мл; в третий - 4 мл и т. д.
4. Раствор перемешивают и в течение 20 мин наблюдают за образованием хлопьев.
5. *Выбирают дозировку коагулянта, при которой процесс образования хлопьев проходит быстрее всего. Дозу коагулянта, добавленную в этот цилиндр, считают оптимальной для данной воды.*
6. *Определяют дозировку едкого натра для нейтрализации серной кислоты.* Для этого готовят свежую партию подогретой воды. В первые два цилиндра вводят дозу коагулянта несколько меньшую, чем было установлено в первом опыте (т. е. 3,5 мл), во вторые два цилиндра по 4 мл, в следующие два цилиндра вводят по 4,5 мл коагулянта. Раствор тщательно перемешивают стеклянной палочкой в течение 30 – 40 с. Затем медленно в течение 15 мин из бюретки вводят едкий натр (рекомендуется вводить 0,01н раствор, 1 мл которого содержит 0,4 мг NaOH): в первые цилиндры вводят по 5 мл, во вторые - 6 мл, затем 7 и 8 мл. После введения едкого натра растворы вновь тщательно перемешивают и наблюдают за образованием хлопьев в течение 30 мин.
7. В качестве необходимой дозировки коагулянта и едкого натра принимают ту, при которой наблюдается полное и быстрое образование и оседание хлопьев гидрата окиси алюминия (за 15-20 мин) и снижение окисляемости на 60-75 %.

Структура и содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть (краткая характеристика метода коагуляции и происходящих реакций в водном растворе).
4. Практическая часть (обосновать оптимальную дозу коагулянта для природной воды).
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое очистка сточных вод? Назовите методы очистки сточных вод.
2. Для удаления, каких видов примесей применяют гидромеханические методы очистки? Какие Вы знаете методы гидромеханической очистки сточных вод? Объясните сущность одного их методов по выбору.
3. На чем основано проведение химических методов очистки сточных вод? Какие Вы знаете методы химической очистки сточных вод?
4. Какие вы знаете коагулянты? Объясните сущность коагуляции.
5. Какие вы знаете способы удаления серной кислоты из сточных вод? Для чего необходимо проводить нейтрализацию серной кислоты?
6. От чего зависит выбор способа нейтрализации серной кислоты при коагуляции?
7. Какое из образованных при коагуляции соединений удаляет коллоидные частицы из воды?

Вопросы для самоподготовки

1. Предмет и задачи экологии. Значение экологического образования.
2. Объекты изучения современной экологии. Основные направления экологии, их характеристика.
3. Две системы взглядов к проблеме взаимоотношений Человека и Природы, их характеристика. Методы исследования в экологии.
4. Экологическое образование и культура.
5. Уровни биологической организации и экология.
6. Биосфера: состав, строение, общая характеристика.
7. Учение В.И. Вернадского о биосфере. Ноосфера как новая стадия эволюции биосферы.
8. Большой и малый круговорот веществ в природе, их характеристика.
9. Классификации организмов: по формам и способу питания, их характеристика.
10. Абиотическая и биотическая среда обитания. Значение адаптации.
11. Экологические факторы: их характеристика.
12. Природные ресурсы: классификация, их характеристика.
13. Ресурсные циклы: определение, классификация, значение. Повышение эффективности функционирования ресурсных циклов.
14. Популяционная экология: значение, цели, задачи. Классификация свойств.
15. Биологические и групповые свойства популяций, их характеристика, отличительные особенности.
16. Экосистемы: определение, классификация, признаки экосистем. Устойчивость экосистем.
17. Основные принципы рационального природопользования.
18. Оценка качества природной среды.
19. Санитарно-гигиенические нормативы качества.
20. Нормативы качества в производственно-хозяйственной сфере.
21. Комплексные нормативы качества.
22. Государственная экологическая экспертиза и контроль.
23. Атмосфера: строение, состав, значение.
24. Загрязнение атмосферного воздуха: классификация, источники.

25. Парниковый эффект: сущность. Основные парниковые газы. Международное сотрудничество в решении проблемы глобального изменения климата.
26. Нарушение озонового слоя. Международные соглашения по озону.
27. Трансграничные переносы. Международные документы по трансграничным эмиссиям вредных веществ.
28. Защита атмосферного воздуха.
29. Санитарно-технические мероприятия, их характеристика.
30. Планировочные и технические мероприятия по защите атмосферного воздуха.
31. Земельные ресурсы: использование, значение. Плодородие, виды, их характеристика.
32. Причины ухудшения качества земельных ресурсов и пути их устранения.
33. Эрозия почв: виды эрозий. Проведение противоэрозионных мероприятий.
34. Рекультивация и мелиорация нарушенных земель: виды, их характеристика.
35. Загрязнение гидросферы: виды и источники.
36. Методы очистки сточных вод, их характеристика.
37. Защита поверхностных вод от загрязнения: мероприятия, их характеристика.
38. Защита подземных вод от загрязнения.

Литература

Нормативно-правовые и справочно-статистические источники

1. Статистический сборник Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. — Минск: «Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь», 2011. — 236с.
2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. доклад / М-во природ. ресурс. и окружающей среды Республики Беларусь, Гос. Науч. Учр-е «Инс-т природопользования Нац. Академ. Наук Беларуси». — Минск : Белтаможсервис, 2010. — 15- с.
3. Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XXII, с изм. И доп. — Минск : Амалфея, 2012. — 112 с.
4. Кодекс Республики Беларусь о земле: текст Кодекса по состоянию на 22 марта 2007 г. — Минск : Амклфея, 2007. — 120 с.
5. Кодекс Республики Беларусь о недрах, 14 июля 2008 г.. №406-З : принят Палатой представителей 10 июня 2008 г.: одобрен Советом Республики 20 июня 2008 г. Минск : Амалфея, 2008. — 140 с.
6. Водный кодекс Республики Беларусь : текст Кодекса по состоянию на 25 авг. 2006 г. — Минск : Амалфея. 2006. — 76 с.
7. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2020 года [htt : // economy. gov. by / ru / macroeconomy / nacionalnaya strategiya](http://economy.gov.by/ru/macroconomy/nacionalnaya-strategiya).
8. Статистический сборник: Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. — Минск : «Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь», 2010—2014. — 253 с.
9. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 года // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь, 2015, № 4. С.4—99.
10. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271—3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. — 2007. — № 183. — С. 8—26.

11. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. — Минск : Информ-вычисл. центр Нац. Стат. Ком. Респ. Беларусь, 2015. — 254 с.
12. СТБ ISO 9963-1-2009. Качество воды. Определение щелочност. Часть 1. Определение общей и составной щелочности ; введ. 2010-07-01. — Минск : Госстандарт, 2009. — 6 с.
13. СанПиН 10-124. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — Минск. : Медицина, 1999. — 12 с.
14. ГОСТ 17. 2. 3. 01 —86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Введ. 1986—10—11. Минск : Гос. Ком. По гидрометеорологии и контролю природной среды ; Москва : Изд-во стандартов, 1086. — 5 с.

Основные источники

1. Акимова, Т. А. Экология. Человек – Экономика – Биота — Среда : Учебник для вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. — М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2000. — 566 с.
2. Белов, С. В. Охрана окружающей среды : Учеб. для техн. спец. Вузов / С. В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др. Под ред. С. В. Белова. 2-е изд., и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 319 с.
3. Белов, С. В. Охрана окружающей среды : учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. С. В. Белова — М.: Высш. школа, 1983.— 264 с.
4. Владимиров, А. М. Охрана окружающей среды / А. М. Владимиров, Ю. И. Ляхин, Л. Т. Матвеев, В. Г. Орлов. — Ленинград : Гидрометеоздат, 1991. 423с.
5. Галай, Е. И. Использование природных ресурсов и охрана природы / Е. И. Галай. — 2-е изд. — Минск : Амалфея, 2008. — 251 с.
6. Коробкин, В. И. Экология : Учебник для вузов / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. — Ростов н/Д.: Феникс, 2005. — 576 с.
7. Маврищев, В.В. Основы экологии: учебник / В.В.Маврищев.- 3-е изд. — Минск : Высш. шк., 2007.— 447 с.
8. Мазур И. И. Курс инженерной экологии : учебник для вузов / И. И. Мазур, О. И. Молдованов ; под ред. И. И. Мазур. — 2-е изд. , испр. И доп. — Москва : Высш. шк., 2001. —510 с.

9. Овсянник, Н. В. Основы экологии : лаборатор. практикум по одноим. Курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. И заоч. Форм обучения / Н. В. Овсянник, В. Г. Якимченко, Т. С. Юфанова. — Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. — 20 с.
10. Ходько, Е. М. Основы экологии : курс лекций по одноим. Дисциплине для студентов техн. специальностей днев. И заоч. Форм обучения, 2012. — 90 с. Р. g/ : http : // alis. Gstu. By / Start ЕК /.
11. Чистик, О. В. Экологи : учеб. Пособие для вузов / О. В. Чистик. — 2-е изд. — Минск : Новое знание, 2001, — 247 с.
12. Шимова, О. С. Основы экологии и энергогсбережения : учебное пособие для вузов / О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, О. В. Сви-дерская; под ред. О. С. Шимовой. — Минск : БГЭУ, 2011. — 226 с.

Дополнительные источники

1. Арустамов, Э. А. Природопользование: Учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. / Э А. Арустамов — М.: изд.-торг. Корпорация «Дашков и К», 2003. — 312 с.
2. Воробьев, С. А. Земледелие с основами почвоведения и агрохимии / Под ред. С.А. Воробьева. —2-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 1981. —431с.
3. Мешечко, Е. Н. Основы экологии: Учеб. пособие / В.Н. Карпук, Е. Н. Мешечко, В. Е. Мешечко и др; Под ред. Е,Н, Мешечко. — Мн.: «Экоперспектива», 2002. — 376 .
4. Овсянник, Н. В. Основы экологии: пособие по одноим. курсу для студентов всех специальностей заочной формы обучения. / Н.В. Овсянник, Т.С. Юфанова, В.Г. Якимченко. — Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2009. — 45 с.
5. Сергейчик, С. А. Экология : Учеб. пособие / С. А. Сергейчик. — Минск : Современная школа, 2010. — 400 с.
6. Сергейчик, С.А. Экология: Учеб пособие / С.А. Сергейчик. — Минск: Современная школа, 2010. — 400 с.
7. Шимова, О. С. Основы экологии и экономика природопользования : Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. / О.С. Шимова, Н. К. Соколовский. — Мн.: БГЭУ, 2002.— 367 с.

Содержание

Предисловие.....	3
Лабораторная работа № 1	
Качество питьевой воды. Определение кислотности воды.....	5
Лабораторная работа № 2	
Определение щелочности воды.....	16
Лабораторная работа № 3	
Расчет максимальной приземной концентрации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.....	26
Лабораторная работа № 4	
Определение экономической эффективности водоохранных мероприятий.....	38
Лабораторная работа № 5	
Определение дозы коагулянта при коагуляции воды.....	46
Вопросы для самоподготовки.....	53
Литература.....	55

Ходько Елена Михайловна
Овсянник Наталья Владимировна

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие
по одноименному курсу
для студентов специальностей
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»,
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»,
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,
1-43 01 03 «Электроснабжение»,
1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 24.03.17.

Рег. № 74Е.

<http://www.gstu.by>