

|  |   |        |
|--|---|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор | МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  |        |
| Дата подписания: 20.05.2025 23:50:05<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323                 | Рабочая программа дисциплины "Избранные главы экологии" по направлению подготовки (специальности) 44.04.01 Педагогическое образование" направленности (профилю) Дополнительное экологическое образование ФГБОУ ВО «ЧелГУ» | стр. 1 |

## Рабочая программа дисциплины (модуля)\*

Избранные главы экологии

Направление подготовки (специальность)

44.04.01 Педагогическое образование

Направленность (профиль)

Дополнительное экологическое образование

Присваиваемая квалификация (степень)

магистр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2024

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2024 г.





## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование представления о современной макроэкологии, ее содержании, главных задачах и роли в жизни человека и общества.

УК-1.2. Использует критический анализ, систематизацию и обобщение информации для решения проблемной ситуации

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.В.01

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

- 1) Знание основ общей экологии
- 2) Знание основ прикладной экологии
- 3) Знание основ экологии человека
- 4) Знание основ природопользования
- 5) Знание основ педагогической этики

Методология научного исследования

Научно-исследовательский семинар: Актуальные вопросы экологического образования

Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

Образовательные технологии в процессе обучения экологии

Современные проблемы науки и образования

Современные основы обучения экологии

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

- 1) Дисциплины базового блока.
- 2) Методология научного познания.
- 3) Методы экологических исследований

Методология научного исследования

Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

Научно-исследовательский семинар: Актуальные вопросы экологического образования

Образовательные технологии в процессе обучения экологии

Современные технологии поиска и обработки информации

Экологические аспекты современной зоологии

Экология человека

Методы экологических исследований

Экология водных экосистем

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**УК-1: Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий**

#### Уметь:

использовать критический анализ, систематизацию и обобщение информации для решения проблемной ситуации

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### 3.1 Знать:

- 3.1.1 1) Законы, принципы, правила. концепции современной экологии.
- 3.1.2 2) Экологию растений.
- 3.1.3 3) Экологию животных.
- 3.1.4 4) Экологию человека.



Рабочая программа дисциплины "Избранные главы экологии" по направлению подготовки (специальности)  
44.04.01 "Педагогическое образование" направленности (профилю) Дополнительное экологическое  
образование ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 4

3.1.5 5) Биогеоценологию.

3.1.6 6) Прикладную экологию.

3.1.7 7) Природопользование

3.1.8

### 3.2 Уметь:

3.2.1 1) Организовывать исследования экологической направленности.

3.2.2 2) Проводить занятия и семинары по экологической тематике.

3.2.3 3) Составлять программы экологических обследований

### 3.3 Владеть:

3.3.1 1) Преподавательской деятельности.

3.3.2 2) Практической деятельности в области организации экологических исследований.

3.3.3 3) Опыт написания научных статей и учебных пособий.

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Общая трудоемкость      |        | 3 ЗЕТ                                    |
|-------------------------|--------|--|
| Часов по учебному плану | : 108  | Виды контроля в семестрах:<br>экзамены 4 |
| в том числе             | :      |  |
| аудиторные занятия      | : 32   |  |
| самостоятельная работа  | : 41,6 |  |
| часов на контроль       | : 27   |  |
| контактная работа:      | 39,4   |  |
| ИКР:                    | 7,4    |  |

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/  | Семестр / Курс | Часов | Литература                       |
|-------------|--|----------------|-------|----------------------------------|
|             | <b>Раздел 1. Системы в экологии. Эколого-экономическая система - основной объект макроэкологии</b> |                |       |                                  |
| 1.1         | Системы в экологии /Лек/   | 4              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Э1 |
| 1.2         | Эколого-экономические системы /Пр/   | 4              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
| 1.3         | Модель ЭЭС /Ср/  | 4              | 14    | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
|             | <b>Раздел 2. Техногенный материальный баланс. Экологическая безопасность</b>                       |                |       |                                  |
| 2.1         | Техногенный материальный баланс /Лек/  | 4              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
| 2.2         | Техногенный материальный баланс /Пр/   | 4              | 8     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
| 2.3         | Расчет техногенного материального баланса /Ср/   | 4              | 10,8  | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
|             | <b>Раздел 3. Моделирование природно-технических систем. Концепция экоразвития</b>                  |                |       |                                  |
| 3.1         | Концепция экоразвития /Пр/   | 4              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
| 3.2         | Моделирование природно-технических систем /Лек/  | 4              | 6     | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |
| 3.3         | Решение задач /Ср/   | 4              | 6,8   | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3       |



|     |   |   |     |                            |
|-----|---|---|-----|----------------------------|
|     | <b>Раздел 4. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды</b>               |   |     |                            |
| 4.1 | Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды /Лек/                          | 4 | 2   | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3 |
| 4.2 | Нормативно-правовая база международного сотрудничества в области охраны окружающей среды /Ср/ | 4 | 10  | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3 |
|     | <b>Раздел 5. ИКР</b>  |   |     |                            |
| 5.1 | Подготовка к экзамену /ИКР/   | 4 | 7,4 | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Л2.2 Л2.3 |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Задачи для контроля по основным разделам дисциплины

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Практическая работа №1. Повторение

Практическая работа № 2. Расчет загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников

Расчёты предназначены для определения выброса загрязняющих веществ в атмосферу с газообразными продуктами сгорания при сжигании органического топлива (например, в котлоагрегатах котельной, в плавильных печах металлургических предприятий).

Энергетические установки работают на различных видах топлива (твердом, жидком и газообразном). Выбросы загрязняющих веществ зависят как от количества и вида топлива, так и от типа устройства.

Учитываемыми загрязняющими веществами, выделяющимися при сгорании топлива, являются: твердые частицы, оксид углерода, оксиды азота, сернистый ангидрид (диоксид серы), пентоксид ванадия.

На энергетических установках используется твердое, жидкое и газообразное топливо.

Твердое топливо. В теплоэнергетике используют угли (бурые, каменные, антрацитовый штыб), горючие сланцы и торф.

Угли подразделяются на марки: А – антрацит; Б – бурый; Г – газовый;

Д – длиннопламенный; Ж – жирный; ГЖ – газовые жирные; КЖ – коксовые жирные;

К – коксовый; ОС – отощенный спекающийся; СС – слабоспекающийся; Т – тощий.

В основу такого подразделения положены параметры, характеризующие поведение углей в процессе термического воздействия на них. Самая низкая теплота сгорания у бурых углей, а самая высокая – у антрацитов.

По фракциям различают: П – (плита) более 100 мм; К – (крупный) 50–100 мм;

О – (орех) 25–50 мм; М – (мелкий) 13–25 мм; С – (семечка) 6–13 мм; Ш – (штыб) 0–6 мм; р – (рядовой) шахтный 0–200 мм, к – карьерный 0–300 мм.

Фракция данной марки угля определяется исходя из меньшего значения самой мелкой фракции и большего значения самой крупной фракции, указанной в названии марки угля. Так, например, фракция марки ДКОМ (Д – длиннопламенный, К – 50–100, О – 25–50, М – 13–25 мм) составляет 13–100 мм.

Марки угля Д, Г и антрациты находят свое применение, как правило, в котельных, т.к. они могут гореть без поддува.

В черной металлургии используются обычно марки Г, Ж для производства сталей и чугуна. Марки угля СС, ОС, Т применяются для получения электрической энергии, т.к. они имеют большую теплоту сгорания, но сжигание данного вида углей связано с технологическими трудностями, которые оправданы лишь в случае необходимости большого количества угля.

Тощие трудновоспламеняемые угли используют как топливо для электровозов.

Для полукоксования и производства цемента, извести, кирпича предназначены угли марок Б (ЗБ), Д и ДГ.

В процессе сжигания топлива часть его переходит в оксиды серы (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), азота (NO и NO<sub>2</sub>) и углерода (CO и CO<sub>2</sub>), основная часть минеральной составляющей превращается в летучую золу или сажу, уносимую дымовыми газами, а меньшая часть минеральной составляющей образует шлак.

Источником оксидов азота NO<sub>x</sub> на ТЭС, кроме азотосодержащих компонентов топлива, является молекулярный азот воздуха.

Жидкое топливо. В теплоэнергетике применяются мазут (малосернистый, сернистый, высокосернистый), сланцевое масло, дизельное и котельно-печное топливо.

В жидком топливе отсутствует пиритная сера, сера находится преимущественно в виде органических соединений, элементарной серы и сероводорода H<sub>2</sub>S. Ее содержание зависит от сернистости нефти, из которой получен мазут. В состав золы мазута входят пентоксид ванадия V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а также Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и др. оксиды.

Зольность энергетических мазутов значительно ниже, чем углей (<0,3%). При неполном сгорании жидкого топлива в дымовых газах образуются липучие частицы сажи, которые способны адсорбировать бенз(а)пирен, в результате чего



ее частицы приобретают канцерогенные свойства.

Газообразное топливо. Природный газ – топливо беззольное, как правило, не содержит и соединений серы. При полном его сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота (NO и NO<sub>2</sub>) и диоксид углерода CO<sub>2</sub>, при неполном сгорании - оксид углерода CO и некоторые углеводороды (СхНу, бенз(а)пирен).

Водород. В настоящее время развивается водородная энергетика, поскольку водород (H<sub>2</sub>) является наиболее экологически чистым видом топлива.

Теплотворная способность различных видов топлива неодинакова:

Q<sub>угля</sub> = 19600 кДж/кг

Q<sub>мазут</sub> = 38800 кДж/кг

Q<sub>газа</sub> = 36100 кДж/кг

Q<sub>водорода</sub> = 143000 кДж/кг

Следовательно, 1 кг угля в энергетическом отношении равноценен 0,51 кг мазута, 0,54 кг газа и 0,13 кг водорода.

Масса выбрасываемых котельным агрегатом или другим видом теплогенератора токсичных веществ в общем случае рассчитывается по формуле:

$$(1.1)$$

где M – количество загрязняющего вещества, г/с;

V – объем выбросных газов, м<sup>3</sup>/с;

q – концентрация загрязняющего вещества в газе, г/м<sup>3</sup>.

При сжигании топлива объем выбросных (дымовых) газов зависит от вида и качества топлива, а также от коэффициента избытка воздуха – а (приложение, табл. 1). Объем продуктов сгорания на единицу массы сжигаемого топлива рассчитывается по эмпирическим уравнениям, приведенным в табл.1, либо берется из технических характеристик используемого топлива в % (приложение, табл. 2).

Количество оксидов азота в дымовых газах находится в сложной зависимости от энергетических свойств топлива, температуры сгорания, времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне, коэффициента избытка воздуха.

В первом приближении для котельных агрегатов его можно принять равным (в мг NO<sub>2</sub> на каждый м<sup>3</sup> дымовых газов): 120–150 (каменный уголь), 160–220 (мазут), 200–250 (природный газ). Далее, исходя из объема продуктов сгорания и количества сжигаемого топлива, рассчитывается количество образовавшихся оксидов азота.

Таблица 1 – Расчетные характеристики различных видов топлива

Вид топлива

Марка топлива Объем продуктов

сгорания при

нормальных

условиях,

1V0 м<sup>3</sup>/кг

Содержание

Низшая теплота сгорания Q<sub>pH</sub>, кДж/кг

серы, %

зольность

2, %

азота N<sub>p</sub>, %

1

2

3

4

5

6

7

Уголь:

Донецкий бассейн Д 5,86+5,44(a-1) 4,6 10,0 1,0 19600

Г 5,65+5,19(a-1) 3,3 23,0 1,0 22100

Ж 5,16+4,77(a-1) 2,5 35,5 0,9 18000

АШ 6,32+6,04(a-1) 1,7 27,0 0,6 22600

Кузнецкий бассейн Д 6,58+6,02(a-1) 0,3 13,2 1,9 22300

Г 7,42+6,88(a-1) 0,5 11,0 1,7 26100

СС 6,73+6,26(a-1) 0,3 13,2 1,5 23900

Т 7,22+6,83(a-1) 0,4 16,8 1,5 26200

Подмосковный бассейн 2Б 3,62+3,03(a-1) 2,7 25,2 0,6 10400

Экибастузский бассейн СС 4,96+4,67(a-1) 0,8 32,6 0,8 15800

Торф - 3,30+2,38(a-1) 0,1 6,3 1,1 8110

Мазут:

малосернистый - 12,50+10,62(a-1) 0,5 0,02 - 39700

высокосернистый - 12,10+10,46(a-1) 2,8 0,02 - 38800

Природный газ:

ставропольский - 10,49+9,49(a-1) - - 2,6 37000

шебелинский - 10,46+9,52(a-1) - - 1,5 37000

саратовский - 10,73+9,52(a-1) - - 3,0 36100



IV – летучие вещества, являются показателем качества, характеризующими пригодность топлива для энергетических или технологических целей, воспламеняемость топлива и быстроту его сгорания (чем выше в топливе выход летучих веществ, тем оно имеет меньшую температуру воспламенения);  
2А – зола, является негорючим остатком минеральных примесей, получающимся после сгорания топлива, ее наличие понижает качество топлива, увеличивает расходы на транспортировку и удаление золы из топок.

Пример 1. Рассчитать объем (в м<sup>3</sup>/с) дымовых газов и массу (выброс в г/с) NO<sub>2</sub>, содержащегося в продуктах сгорания 2,3 т/час высокосернистого мазута, если коэффициент избытка воздуха равен 1,23.

Решение. Рассчитаем объем (в м<sup>3</sup>/с) дымовых газов при нормальных условиях, используя данные табл. 3:

$$V = V_0 \cdot B = [12,10 + 10,46(\alpha - 1)] \cdot B = [12,10 + 10,46(1,23 - 1)] \cdot 9,27 = 9,27 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим секундный выброс диоксида азота, принимая, что в каждом кубическом метре дымовых газов содержится 200 мг NO<sub>2</sub>:

$$M(\text{NO}_2) = 9,27 \cdot 200 = 1,85 \text{ г/с}$$

Расчет количества оксидов серы в пересчете на SO<sub>2</sub> (т/год, т/ч, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании органического топлива в технологическом процессе в единицу времени выполняется по формуле:

$$M(\text{SO}_2) = B \cdot S \cdot \eta \cdot 10^3 \quad (1.2)$$

В – расход топлива (т/год, т/ч, г/с);

– содержание серы в топливе (масс, %), приведенное в табл.1;

– доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле (табл. 2);

– доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц. Доля оксидов серы, улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофильтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю, в мокрых золоуловителях (скрубберы) эта доля зависит от общей щелочности орошающей воды и приведенной сернистости топлива  $S_n = 103 \cdot S_r / Q_{PH}$ . Для принятых на ТЭС удельных расходов воды на орошение золоуловителей 0,1–0,15 л/м<sup>3</sup>.

Таблица 2 – Ориентировочные значения при сжигании различных видов топлива

Вид топлива Доля оксидов серы, связываемых летучей золой,  $\eta_{SO_2}$

Уголь

Сланцы

Мазут

Газ

Торф 0,1

0,50

0,02

0,00

0,15

Пример 2. Рассчитать теоретически возможную массу SO<sub>2</sub> (выброс в г/с), образующегося при полном сгорании 240 т/ч каменного угля Донецкого бассейна марки Г при отсутствии очистки.

Решение.

Переведем расход топлива из т/ч в г/с: 240 т/ч = 240 000 г/с

Используя формулу (1.2) и данные табл. 1 ( $S = 3,3\%$ ) и 2 ( $\eta = 0,1$ ), находим массу SO<sub>2</sub> (секундный выброс):

$$M(\text{SO}_2) = 240 000 \cdot 0,033 \cdot (1 - 0,1) = 3960 \text{ г/с}$$

Пример 3. Котельная сжигает 200 т/сут. Донецкого угля марки Д, коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ) равен 1,25.

Рассчитать количество SO<sub>2</sub> (в г/с), выделяющееся при работе котельной. Сравнить и оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на мазут высокосернистый с сохранением производственной мощности котельной (сравнение только по SO<sub>2</sub>).

Решение.

1. Определим количество диоксида серы в пересчете на SO<sub>2</sub> (в г/с) в дымовых газах котельной:

Пересчитаем расход топлива В из т/сут. в г/с: 200 т/сут. = 200 000 г/сут. = 2314,8 г/с

$S_r$  – содержание серы в топливе (масс, %), по табл. 1 для Донецкого угля марки Д = 4,6 %. Низшая теплота сгорания  $Q_{PHU} = 19600$  кДж/кг.

$\eta(\text{SO}_2)$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива, по табл. 2

$\eta(\text{SO}_2)$  при сжигании угля равна 0,1

$$M(\text{SO}_2) = 2314,8 \cdot 0,046 \cdot (1 - 0,1) = 191,66 \text{ г/с} \text{ или } \sim 0,19 \text{ кг/с}$$

2. Определим, учитывая теплотворную способность топлива, эквивалентный углю расход мазута и количество SO<sub>2</sub>, образующегося при сжигании последнего. Зная, что низшая теплота сгорания мазута высокосернистого составляет  $Q_{PHM} = 38800$  кДж/кг. Определим теплотворность мазута по отношению к указанному углю:

$$Q_{PHU} / Q_{PHM} = 19600 / 38800 = 0,505$$

$$V_{\text{мазута}} = 2314,8 \text{ г/с} \cdot 0,505 = 1168,97 \text{ г/с} \text{ или } 1,17 \text{ кг/с}$$



$M_{\text{мазут}}(\text{SO}_2) = 0,02 \cdot 1168,97 \text{ г/с} \cdot 2,8 \cdot (1-0,02) = 64,15 \text{ г/с}$  или  $\sim 0,064 \text{ кг/с}$

3. Количество  $\text{SO}_2$ , образовавшегося при сгорании Донецкого угля марки Д, составило  $\sim 0,19 \text{ кг/с}$ , а при сгорании эквивалентного количества высокосернистого мазута -  $\sim 0,064 \text{ кг/с}$ , что почти в 3 раза меньше. Следовательно, с экологической точки зрения замена Донецкого угля марки Д на высокосернистый мазут целесообразна.

Пример 4. Определить количество диоксида серы, которые образуются в процессе работы предприятия черной металлургии, если в сталелитейной печи используют уголь Печорского бассейна марки Д (табл. 2 в приложении). Потребление топлива составляет 10000 г/с. Перед выбросом в атмосферу газы проходят очистку в мокром золоуловителе с щелочностью оросительной воды равной 5 мг-экв./л.

Решение. Для расчета используем формулу 1.6:

Из таблицы 2 в приложении 2 сернистость  $S_r = 0,38$ ;  $\eta(\text{SO}_2)$  - доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива, по табл. 2  $\eta(\text{SO}_2)$  при сжигании угля равна 0,1; низшая теплота сгорания  $Q_{\text{РН}} = 26177 \text{ кДж/кг}$ .

Для определения  $\eta/\text{SO}_2$  находим  $S_n = 103 \cdot S_r / Q_{\text{РН}} = 103 \cdot 0,38 / 26177 = 0,0145$ . По графику на рис. 1. определяем  $\eta_{\text{SO}_2} = 0,12$ . Подставляя все значения в формулу 1.2, получим:

Количество оксидов углерода (г/с, т/год), выбрасываемое в атмосферу с дымовыми газами при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива, вычисляется по формуле:

$$(1.3)$$

$CCO$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т, кг/тыс. м<sup>3</sup>;

$q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, % (табл. 1 в приложении).

Выход оксида углерода определяется по формуле

$$(1.4)$$

где  $R$  – коэффициент, учитывающий долю потерь теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную содержанием  $\text{CO}$  в продуктах сгорания;  $R$  принимает равным: для твердого топлива – 1,0; для газа – 0,5; для мазута – 0,65;

$q_3$  – потери тепла от недожога, % (табл. 1 в приложении).

Рис. 1. Зависимость степени улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях от приведенной сернистости топлива и щелочности орошаемой воды.

Щелочность орошаемой воды: 1 – 10 мг-экв./л; 2 – 5 мг-экв./л; 3 – 0 мг-экв./л.

Пример 5. Определить количество оксида углерода (в г/с), которое образуется при сжигании 20 тонн за час каменного угля марки АС Донецкого бассейна (табл. 2 в приложении) в камерной топке.

Решение.

1. Определим выход оксида углерода по формуле 1.4:

2. По формуле 1.3 определим массу оксида углерода:

Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива), выбрасываемое в атмосферу с дымовыми газами при отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючих частиц в уносе, рассчитывается по формуле:

$$(1.5)$$

Количество летучей золы, выбрасываемой в атмосферу с дымовыми газами от теплогенератора при сжигании твердого и жидкого топлива, рассчитывается из соотношения:

$$(1.6)$$

При отсутствии необходимости в более точных расчетах количества летучей золы можно воспользоваться более краткой формулой:

$$(1.7)$$

В формулах 1.5-1.7:

$V$  – расход топлива (т/год, т/ч, г/с);

– зольность топлива, % (табл. 1 в приложении);

$Q_{\text{РН}}$  – низшая теплота сгорания, кДж/кг (табл. 2 в приложении);

$q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, % (табл. 1 в приложении);

$\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителе, зависит от типа золоуловителя, марки топлива и мощности ТЭС. Для ТЭС мощностью 500 МВт и выше  $\eta_3$  равна 0,99–0,995, при меньших мощностях  $\eta_3 = 0,93–0,97$  (большие цифры относятся к многозольным топливам).

$Q_{\text{УН}}$  – доля золы, уносимой из котла, зависит от конструкции топки: для топок с твердым шлакоуловителем

составляет 0,95 и 0,70–0,75 для открытых и полуоткрытых топок с жидким шлакоудалением (табл. 1 в приложении).

– доля золы, уносимой дымовыми газами. Зависит от вида, марки топлива и от типа топки. Для угольных топок



колеблется в интервале 0,002–0,008. В случае мазутных топок составляет 0,02.

Количество твердых частиц несгоревшего топлива МНТ, т/год, г/с, образующихся в топке в результате механического недожога топлива (несгоревшее топливо) и выбрасываемых в атмосферу в виде коксовых остатков (при сжигании твердого топлива) или в виде сажи (при сжигании мазута), определяют по формуле:

$$\text{МНТ} = \text{МТ} - \text{МЛЗ} \quad (1.8)$$

Пример 6. Рассчитать количество летучей золы (в г/с), выбрасываемой в атмосферу с дымовыми газами от котельной при сжигании 130 т/час высокосернистого мазута.

Решение.

Пересчитаем расход топлива из т/час в г/с:  $V = 130 \text{ т/час} = 36,11 \cdot 10^3 \text{ г/с}$ .

Для мазутных топок  $\beta = 0,02$ ; по табл. 1 зольность топлива  $A_p = 0,02$

Определим количество летучей золы (в г/с) в дымовых газах котельной по формуле 1.7:

$$= 36,11 \cdot 10^3 \cdot 0,02 \cdot 0,02 = 14,44 \text{ г/с}$$

Для веществ, обладающих суммацией вредного действия, аналогично рассчитывается суммарный выброс  $M_{\text{сум}}$ , (г/с), условно приведенный к выбросу одного из них:

$$, \quad (1.9)$$

– мощности выброса каждого из  $n$  веществ;

ПДК<sub>1</sub>, ПДК<sub>2</sub>, ..., ПДК<sub>n</sub> – максимальные разовые предельно допустимые концентрации этих веществ.

К вредным веществам, обладающим суммацией действия, относятся, как правило, близкие по химическому строению и характеру влияния на организм человека, например:

- диоксид серы и аэрозоль серной кислоты;
- диоксид серы и сероводород;
- диоксид серы и диоксид азота;
- диоксид серы и фенол;
- диоксид серы и фтористый водород;
- диоксид и триоксид серы, аммиак, оксиды азота;
- диоксид серы, оксид углерода и диоксид азота.

Пример 7. Котельный агрегат работает на высокосернистом мазуте. Расход топлива составляет 10,5 т/час.

Основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми теплогенератором, являются диоксид серы и диоксид азота. Коэффициент избытка воздуха равен 1,23. Рассчитать суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

Определить долю каждого загрязняющего вещества в приведенных выбросах.

Решение. Диоксид серы и диоксид азота относятся к одному ЛПВ, следовательно, обладают суммацией вредного воздействия. Определим суммарный выброс этих веществ, условно приведенный к выбросу диоксида серы по формуле (1.9)

=

$$\text{ПДК}(\text{NO}_2) = 0,2 \text{ мг/м}^3, \text{ ПДК}(\text{SO}_2) = 0,5 \text{ мг/м}^3$$

Определим секундный выброс  $\text{SO}_2$  при сжигании 10,5 т/час высокосернистого мазута:

$$M(\text{SO}_2) = 0,02 \cdot 2,8 \cdot (1 - 0,02) = 160,25 \text{ г/с}$$

$$(S_r = 2,8 \%, \eta(\text{SO}_2) = 0,02 \text{ из табл. 1 и 2})$$

Определим секундный выброс  $\text{NO}_2$ , принимая, что в каждом м<sup>3</sup> дымовых газов содержится 200 мг  $\text{NO}_2$ .

$$M(\text{NO}_2) = (12,10 + 10,46(1,23 - 1)) \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 8,47 \text{ г/с}$$

$$= 160,25 + 8,47 \cdot = 181,425 \text{ г/с}$$

Доля  $\text{SO}_2$ , содержащаяся в условно приведенных выбросах, составляет:

=

Доля  $\text{NO}_2$ :

.

Задачи к практической работе № 2 для самостоятельного решения  
(на выбор 6 задач, по две задачи из группы задач 1–9, 10–17, 18–27)

1. Рассчитать теоретически возможную массу  $\text{SO}_2$  (в г/с), образующегося при полном сгорании 160 т/ч каменного угля Кузнецкого бассейна.
2. Рассчитать теоретически возможную массу  $\text{SO}_2$  (в г/с), образующегося при полном сгорании 76 т/ч каменного угля Подмосковского бассейна.
3. Рассчитать теоретически возможную массу  $\text{SO}_2$  (в г/с), образующегося при полном сгорании 132 т/ч каменного угля Экибастузского бассейна марки СС.
4. Рассчитать теоретически возможную массу  $\text{SO}_2$  (в г/с), образующегося при полном сгорании 95 т/ч каменного



угля Донецкого бассейна марки Д.

5. Какой объем дымовых газов образуется при сгорании 1700 кг угля Кузнецкого бассейна, если коэффициент избытка воздуха равен 1,2?
6. Какой объем дымовых газов образуется при сгорании 1950 кг угля Экибастузского бассейна, если коэффициент избытка воздуха равен 1,17?
7. Какой объем дымовых газов образуется при сгорании 1400 кг высокосернистого мазута, если коэффициент избытка воздуха равен 1,1?
8. Какой объем дымовых газов образуется при сгорании 2100 кг угля Донецкого бассейна марки АШ, если коэффициент избытка воздуха равен 1,21?
9. Какой объем дымовых газов образуется при сгорании 1800 кг высокосернистого мазута, если коэффициент избытка воздуха равен 1,15?
10. Определить массовую долю, образовавшихся газов ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ) в продуктах сгорания при сжигании 25 т/час угля Кузнецкого бассейна марки Д (табл. 1) в камерной топке с твердым шлакоудалением. Коэффициент избытка воздуха 1,2.
11. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 1,7 т высокосернистого мазута, если коэффициент избытка воздуха равен 1,16.
12. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 1500 кг угля Донецкого бассейна марки Д, если коэффициент избытка воздуха равен 1,3.
13. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 1,65 т угля Подмосковского бассейна, если коэффициент избытка воздуха равен 1,21.
14. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 2500 кг угля Кузнецкого бассейна, если коэффициент избытка воздуха равен 1,2.
15. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 1,46 т угля Экибастузского бассейна, если коэффициент избытка воздуха равен 1,18.
16. Рассчитать массу  $NO_2$ , содержащегося в продуктах сгорания 1,9 т ставропольского природного газа, если коэффициент избытка воздуха равен 1,1.
17. Рассчитать массу  $NO$ , первоначально образующегося при сгорании 1,25 т угля Подмосковского бассейна.
18. Котельная сжигает 80 т/сут. угля Подмосковского бассейна, коэффициент избытка воздуха равен 1,14. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на высокосернистый мазут с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
19. Котельная сжигает 135 т/сут. высокосернистого мазута, коэффициент избытка воздуха равен 1,1. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на уголь Донецкого бассейна марки Д с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
20. Котельная сжигает 110 т/сут. угля Кузнецкого бассейна, коэффициент избытка воздуха равен 1,16. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на высокосернистый мазут с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
21. Котельная сжигает 95 т/сут. угля Донецкого бассейна марки АШ, коэффициент избытка воздуха равен 1,1. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на высокосернистый мазут с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
22. Котельная сжигает 70 т/сут. угля Кузнецкого бассейна марки Д, коэффициент избытка воздуха равен 1,5. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на уголь Кузнецкого бассейна марки Г с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
23. Котельная сжигает 115 т/сут. высокосернистого мазута, коэффициент избытка воздуха равен 1,22. Оценить с экологической точки зрения целесообразность замены топлива на уголь Кузнецкого бассейна с сохранением производственной мощности котельной (сравнить только по  $SO_2$ ).
24. В два котельных агрегата подается одинаковое количество (по массе) топлива: в один – мазут малосернистый, в другой – уголь Подмосковского бассейна. В каком из агрегатов объем дымовых газов будет меньше? Коэффициент избытка воздуха, подаваемого на горение – одинаков.
25. Какая марка угля, из добываемых в разрезе «Изыхский» Кузнецкого бассейна (табл. П 2), будет являться наиболее экологичной с точки зрения образования оксидов серы и золы (для использования на ТЭС)?
26. Определить количество твердых частиц несгоревшего топлива и летучей золы при сжигании угля Подмосковского бассейна в количестве 50 т/час.
27. Определить какое топливо будет более экологичным с точки зрения образования оксидов углерода: мазут высокосернистый или уголь Донецкого бассейна марки АШ при использовании в камерной топке. Каким количеством мазута можно заменить указанный уголь, если его требуется 30 т/час.



Приложение 1

Таблица 1 – Расчетные характеристики топок

| Вид и марка топлива                      | Коэффициент избытка воздуха, $\alpha$ |           |         | Потери тепла от недожога топлива | Доля |
|--|---------------------------------------|-----------|---------|----------------------------------|------|
| уноса золы из топки $Q_{ун}$             | $q_3, \%$                             | $q_4, \%$ |         |                                  |      |
| Камерные топки с твердым шлакоудалением  |                                       |           |         |                                  |      |
| Антрациты – А, АШ, АМ, АС                | 1,20-1,25                             | 0,5       | 6-4     | 0,95                             |      |
| Каменные угли – Д, Т, Г                  | 1,20                                  | 0,5       | 1,0-1,5 | 0,95                             |      |
| Бурые угли – Б и сланцы                  | 1,20                                  | 0,5       | 0,5-1,0 | 0,95                             |      |
| Камерные топки с жидким шлакоудалением   |                                       |           |         |                                  |      |
| Антрациты – А, АШ, АМ, АС                | 1,20-1,25                             | 0,5       | 3-4     | 0,85                             |      |
| Каменные угли – Д, Т, Г                  | 1,20-1,25                             | 0,5       | 0,5     | 0,80                             |      |
| Бурые угли - Б                           | 1,20                                  | 0,5       | 0,5     | 0,70-0,80                        |      |
| Камерные топки                           |                                       |           |         |                                  |      |
| Мазут                                    | 1,1                                   | 0,2       | -       |                                  |      |
| Природный газ                            | 1,1                                   | 0,2       | 0       | -                                |      |
| Топки с пневмомеханическим забрасыванием |                                       |           |         |                                  |      |
| Донецкий антрацит                        | 1,2-1,3                               | 0,5-1,0   | 13,5    |                                  |      |
| Бурые угли                               | 1,2-1,3                               | 0,5-1,0   | 7,5     |                                  |      |
| Каменные угли – Д, Т, Г                  | 1,2-1,3                               | 0,5-1,0   | 5,5     |                                  |      |

Таблица 2 – Технические характеристики некоторых марок угля  
Марка Содержание серы, сред. % Содерж. золы, сред., %  
веществ, (сред. значение), % Низшая теплота сгорания кДж/кг

| Уголь                                | Донецкого бассейна |           |           | Содерж. влаги, сред, % | Выход летучих |
|--------------------------------------|--------------------|-----------|-----------|------------------------|---------------|
| АШ                                   | 1,6                | 27,0      | 9,0       | 4,0                    | 23032         |
| АС                                   | 1,6                | 13,0      | 6,5       | 4,0                    | 30151         |
| АМ                                   | 1,1                | 7,8       | 5,5       | 3,5                    | 30988         |
| АО                                   | 1,1                | 6,0       | 5,5       | 3,5                    | 31825         |
| АК                                   | 1,1                | 5,5       | 5,5       | 3,5                    | 30570         |
| Д                                    | 0,5                | 9,0       | 7,0       | 26,0                   | 23450         |
| Г                                    | 0,7                | 12,0      | 12,0      | 34,0                   | 25125         |
| Кузнецкий бассейн, разрез «Изыхский» |                    |           |           |                        |               |
| ДР                                   | 0,6                | 24,0      | 18,0      | 42,2                   | 29732         |
| ДСШ                                  | 0,5                | 30,0      | 19,0      | 39,9                   | 29313         |
| ДОМСШ                                | 1,0                | 28,5      | 19,0      | 39,9                   | 30235         |
| ДПК                                  | 0,5                | 24,9      | 17,5      | 39,0                   | 29941         |
| ДОМ                                  | 0,5                | 28,0      | 19,0      | 39,0                   | 29732         |
| Кузнецкий бассейн, Хакасразрезуголь  |                    |           |           |                        |               |
| ДР                                   | 0,5                | 24,0      | 18,6      | 43,5                   | 21608-31198   |
| ДСШ                                  | 0,5                | 24,0      | 19,0      | 43,7                   | 20519         |
| ДПК                                  | 0,5                | 20,5      | 18,6      | 43,1                   | 22194-31826   |
| ДОМ                                  | 0,5                | 20,5      | 18,6      | 42,7                   | 22069         |
| Уголь Кузбасского бассейна           |                    |           |           |                        |               |
| ДР                                   | 0,3                | 12,0-16,0 | 12,0-16,0 | 41,4                   | 20938         |
| ДРОК                                 | 0,3                | 17,2-19,2 | 19,0-21,2 | 40,5                   | 18007         |
| ДМСШ                                 | 0,2                | 11,0-13,0 | 12,0-15,0 | 41,5                   | 21775         |
| ДКОМ                                 | 0,2                | 15,0-17,0 | 9,0-11,0  | 45,7                   | 23032         |
| ДПК                                  | 0,4                | 9,5-11,0  | 13,0-16,0 | 43,0                   | 22822         |



|                            |      |           |           |      |       |
|----------------------------|------|-----------|-----------|------|-------|
| ДГР                        | 0,3  | 15,0-18,0 | 11,0-13,0 | 38,8 | 22613 |
| ТР                         | 0,3  | 18,0-19,0 | 6,0-8,0   | 14,0 | 26256 |
| ТПК                        | 0,3  | 16,0-19,0 | 5,0-7,0   | 14,0 | 27261 |
| ССПК                       | 0,4  | 5,5-7,5   | 5,2-6,2   | 24,8 | 30528 |
| СССШ                       | 0,3  | 14,0-16,0 | 9,5-10,5  | 24,6 | 26800 |
| Печорский угольный бассейн |      |           |           |      |       |
| АМСШ                       | 0,09 | 18,5      | 8,3       | 4,2  | 29104 |
| ДКО                        | 0,27 | 10,0      | 15,8      | 43,6 | 27910 |
| Д                          | 0,38 | 13,9      | 17,9      | 41,8 | 26177 |
| ТОМСШ                      | 0,3  | 17,0      | 14,0      | 17,0 | 25125 |
| ТОМ                        | 0,3  | 10,0      | 12,0      | 16,0 | 25125 |
| ТПК                        | 0,3  | 12,0      | 12,0      | 16,0 | 25544 |
| ССПК                       | 0,5  | 9,8       | 5,8       | 27,1 | 33132 |
| ССр                        | 0,23 | 23,6      | 10,6      | 26,5 | 31344 |
| 2Бр                        | 0,75 | 11,9      | 35,8      | 48,6 | 20335 |
| КОр                        | 0,37 | 20,4      | 7,8       | 27,9 | 35134 |

### Практическая работа № 3. Загрязняющие вещества в атмосфере и плата за загрязнение

#### Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ

Газовые выбросы на определенном расстоянии от трубы достигают земли. Приземная концентрация быстро растет до максимальной величины и затем по мере отдаления от трубы медленно убывает. Схема распространения загрязняющих веществ от одиночного источника приведена на рис. 1.

#### Рис.1. Аксонометрическая схема изменения приземной концентрации загрязняющего вещества для одиночного источника выбросов

Максимальное значение приземной концентрации загрязняющего вещества при выбросе газовой смеси из одиночного источника достигается на расстоянии  $X_m$ (м) от источника и определяется по формуле:

$$C_{max} = \frac{M}{\pi H^2} \cdot \frac{A}{1 + \frac{H}{x}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \quad (1.1)$$

$A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (рис. П 1);

$M$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе.

Значение безразмерного коэффициента  $F$  для газообразных вредных веществ и аэрозолей, у которых скорость упорядоченного оседания близка к нулю, принимается равной 1, а для пыли и золы при отсутствии очистки – 3.

$m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

$H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м;

$\square$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности. В случае ровной или слабопересеченной местности  $\square = 1$ ;

$\Delta T$  – разность между температурой выбросных (дымовых) газов на уровне устья трубы  $t_{уст.}$  и средней максимальной температурой наружного воздуха наиболее жаркого месяца года в данной местности  $t_{ср. макс.}$  (табл. П 1);

$V$  – секундный объем выбросных (дымовых) газов, приведенный к температуре на уровне устья трубы, м<sup>3</sup>/с.

Расстояние  $x_m$  (м) от источника выбросов, для которого приземная концентрация достигает максимального значения  $C_m$ , находится по формуле:

$$x_m = \frac{M}{\pi H^2} \cdot \frac{A}{1 + \frac{H}{x}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \quad (1.2)$$

где безразмерный коэффициент  $d$ , в свою очередь, при  $f < 100$  определяется из соотношений:

$$d = \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \quad (1.3)$$

$$d = \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \quad (1.4)$$

$$d = \frac{1}{1 + \frac{H}{x}} \quad (1.5)$$

При  $f < 100$  или  $\Delta T \gg 0$  значение  $d$  находится по формулам:

, если

, если

, если

где параметр .

Приземная концентрация в любой точке, расположенной с подветренной стороны от трубы  $C$  (мг/м<sup>3</sup>), определяется



по формуле

(1.6)

Здесь – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение приземной концентрации вдоль ветровой оси, проходящей через источник выброса загрязняющих веществ. Зависит от отношения расстояния  $x$  до расчетной точки от источника к расстоянию  $x_M$ , от источника до точки, где наблюдается максимальная концентрация ( $x/x_M$ ).

Определяется по формулам:

при  $x/x_M \leq 1$  (1.7)

при  $1 < x/x_M \leq 8$

(1.8)

при  $x/x_M > 8$  (1.9)

– безразмерный коэффициент уменьшения приземной концентрации на расстоянии  $y$  от ветровой оси на линии, перпендикулярной этой оси. Определяется по рис. 2 в зависимости от расчетной скорости ветра ( $U$ , м/с), и отношения по аргументу

при

при

Пример 1. Приземная концентрация  $SO_2$  достигает максимального значения на расстоянии 500 м от теплогенератора по ветровой оси. На каком расстоянии от источника выброса приземная концентрация летучей золы достигнет максимального значения?

Решение. Расстояние от источника выброса, на котором приземная концентрация достигает максимального значения, определяется по формуле (1.2):

Для газообразных веществ  $F = 1$ , следовательно,  $x_M = dH = dH$ .

Для летучей золы  $F = 3$ , тогда  $x_M = dH = dH$ .

Следовательно, расстояние, на котором приземная концентрация летучей золы достигнет максимального значения в 2 раза меньше, чем таковое расстояние для газообразных веществ, т.е.  $500/2 = 250$  м.

Рис. 2. Безразмерный коэффициент  $S_2$ .

Пример 2. Из дымовой трубы выбрасываются в единицу времени равные количества  $NO_2$  и летучей золы. Как будут отличаться максимальные приземные концентрации ( $C_M$ ) для этих веществ?

Решение. Исходя из уравнения 1.1, учитывая, что указанные загрязняющие вещества выбрасываются в одинаковом количестве ( $M_{NO_2} = M_{л.з.}$ ) и из одного и того же источника загрязнения, т.е. имеет одинаковые природно-климатические условия ( $A, \Delta T, \eta$ ) и технические характеристики источника загрязнения ( $H, V, m, n$ ), имеем:

для  $NO_2$

для летучей золы

Как следует из формулы 1.1, исходя из агрегатного состояния указанных загрязняющих веществ, для диоксида азота коэффициент  $F = 1$ , а для летучей золы 3. Приравняв оба полученных уравнения и сократив равные члены, получим, что концентрация летучей золы в 3 раза больше концентрации диоксида азота.

Пример 3. Максимальная приземная концентрация  $NO_2$ , равная  $0,35$  мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 450 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация на удалении 200 м?

Решение. Так как на расстоянии 450 м максимальная приземная концентрация  $NO_2$  равна  $0,35$  мг/м<sup>3</sup>, то на расстоянии 200 м приземная концентрация  $NO_2$  – равна  $CX$  мг/м<sup>3</sup>. Учитывая, что концентрация в любой точке вдоль ветровой оси определяется из формулы 1.6:

учитывая, что отношение  $X/X_M < 1$  коэффициент находим по формуле 1.7:

$CX = 0,35 \cdot 0,6 = 0,21$  мг/м<sup>3</sup>.

Определение предельно допустимых выбросов

Основным средством для соблюдения предельно допустимых концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы является установление нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу. ПДВ устанавливаются таким образом, чтобы выбросы вредных веществ от данного источника в данном районе с учетом перспективы его развития и рассеивания вредных веществ в атмосфере не создавали приземные концентрации, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДКм.р.).

Нормативы предельно допустимых выбросов устанавливаются на основании расчета приземных концентраций (т.е. расчета  $C_m$  – максимальной приземной концентрации) и сопоставления результатов расчета с предельно допустимыми концентрациями. Величина ПДВ определяется в виде массы выбросов в единицу времени, в граммах в



секунду. Для одиночного источника с круглым устьем рекомендуется формула

$$(1.10)$$

$S_f$  – фоновая концентрация, которая характеризует загрязнение атмосферы в населенном пункте, создаваемое другими источниками, исключая, данный. Фоновая концентрация относится к тому же интервалу осреднения воздействия ( $\square$  20 минут), что и максимальная разовая ПДК. В общем случае должно соблюдаться условие  $C + S_f \square ПДК_{мр}$ .

Для группы веществ, обладающих суммацией вредного действия, значения концентраций всех этих веществ приводятся условно к концентрации одного из них:

$$(1.11)$$

– приведенная суммарная концентрация;

$C_1$  и  $ПДК_1$  – концентрация и предельно допустимая концентрация вещества, к которому осуществляется приведение;

$C_2, \dots, C_n$  и  $ПДК_2, \dots, ПДК_n$  – концентрации и предельно допустимые концентрации других веществ, входящих в рассматриваемую группу суммации.

Соответственно для них рассчитывается суммарное приведенное ПДВ по формуле 1.9 с учетом суммарной приведенной фоновой концентрацией этих веществ (см. формулу 1.10).

Полученное значение суммарного приведенного ПДВ будет включать в себя:

$ПДВ_1$  – предельно допустимый выброс вещества, к которому осуществляется приведение;

– предельно допустимые выбросы остальных веществ, приведенные к одному и тому же веществу.

Для нахождения истинных значений предельно допустимых выбросов остальных веществ необходимо величину трансформировать, совершив операцию, обратную приведению:

$ПДВ_n$  и  $ПДК_n$  – предельно допустимый выброс и предельно допустимая концентрация n-ного вещества из группы суммации;

– предельно допустимый выброс n-ного вещества, приведенный к одному из веществ;

$ПДК_1$  – предельно допустимая концентрация вещества, к которому осуществляется приведение.

Расчёт платежей за нормативный и сверхнормативный выброс

Плата за негативное воздействие на окружающую среду выбросами от энергетических установок подразделяется на:

- плату за допустимые выбросы;

- плату за выбросы, превышающие допустимые;

Плата за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов (ПДВ), исчисляется по формуле:

$$(1.12)$$

– фактический выброс i-того загрязняющего вещества, т;

– предельно допустимый выброс (ПДВ) i-того загрязняющего вещества, т;

– ставка платы за выброс 1 тонны i-того загрязняющего вещества в пределах ПДВ, руб., соответствующая – (табл. 1.5), базовому нормативу платы за выброс 1 тонны i-того загрязняющего вещества в размерах, не превышающих ПДВ

Плата за выбросы загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов (ВСВ):

при  $V_i \leq V_{\text{ПДВ}}$  (1.13)

– фактический выброс i-того загрязняющего вещества, т;

– предельно допустимый выброс (ПДВ) i-того загрязняющего вещества, т;

– выброс загрязняющих веществ в пределах установленного лимита, т;

– ставка платы за выбросы 1 тонны i-того загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов, в рублях, причем

Плата за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ в атмосферу:

при  $V_i > V_{\text{ПДВ}}$  (1.14)

– ставка платы за выбросы 1 тонны i-того загрязняющего вещества сверх установленных лимитов, в рублях,

при соотношении  $V_i / V_{\text{ПДВ}}$ .

Плата за загрязнение атмосферного воздуха отдельно взятым веществом может быть представлена в следующем виде:

$$(1.15)$$

Общая плата за загрязнение атмосферного воздуха определяется по формуле:

$$(1.16)$$

– коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в рассматриваемом регионе (табл. П 2);

КИ – коэффициент индексации платы (коэффициент индексации платы в 2010 году составляет 1,79 к уровню 2003 г.



и 1,46 к уровню 2005 г., для диоксида серы установлен понижающий коэффициент – 1,21).

Таблица 1 – Нормативы платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

| Наименование<br>загрязняющих веществ                          | Норматив платы за выброс 1 тонны<br>вещества, руб. |          |
|---|--|----------|
| в пределах ПДВ,   |  |          |
| Нбнi в пределах установленных лимитов, Нблi                   |  |          |
| Аммиак NH <sub>3</sub>  | 52   | 260      |
| Бенз(а)пирен  | 2049801  | 10249005 |
| Бензин (нефтяной, малосернистый в пересчете на углерод)       | 1,2  | 6,0      |
| Бензол  | 21   | 105      |
| Диоксид азота NO <sub>2</sub>                                 | 52   | 260      |
| Диоксид серы* SO <sub>2</sub>                                 | 21   | 105      |
| Летучая зола*   |  |          |
| - углей Подмосковского, Кузнецкого и Экибастузского бассейнов |  |          |
| - прочих углей  |  |          |
| 7   |  |          |
| 103   |  |          |
| 35  |  |          |
| 515   |  |          |
| Мазутная зола в пересчете на ванадий MV ≈ 0,5•МЛ.З.*          | 1025   | 5125     |
| Оксид углерода (CO)   | 0,6  | 3        |
| Сажа без примесей   | 41   | 205      |
| Сероводород (H <sub>2</sub> S)                                | 257  | 1285     |
| Фенол   | 683  | 3415     |
| Фтороводород (HF)   | 410  | 2050     |

Помимо основных коэффициентов при учете платежей вводится дополнительный коэффициент 1,2 при выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и дополнительный коэффициент 2 для особо охраняемых природных территорий, в том числе лечебно-оздоровительных местностей и курортов, а также для районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, Байкальской природной территории и зон экологического бедствия.

Пример 1. Выбросы Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС) по оксиду серы SO<sub>2</sub> в среднем составляют 70 000 т/год.

Определите плату за выброс из предположения, что выбросы не превышают размеров ПДВ.

Решение. Учитывая, что коэффициент экологической ситуации и экологической значимости для Северо-Кавказского экономического региона составляет 1,6 (из табл. Приложения 2), а коэффициент индексации платы для диоксида серы равен 1,21, производим вычисления в соответствии с формулой 1.16:

$$П = 70\,000\text{ т} \cdot 21\text{ руб./т} \cdot 1,21 \cdot 1,6 = 2845920\text{ руб.}$$

Пример 2. Выбросы предприятия оборонного промышленного комплекса (ОПК), расположенного в Московской области, фактически составили: по диоксиду серы – 15 т/год; по диоксиду азота – 8 т/год; по летучей золе – 36 т/год; по бенз(а)пирену – 1,5 кг/год. Предприятию установлены ПДВ по диоксиду серы – 10 т/год; по диоксиду азота - 5 т/год; по летучей золе - 45 т/год; по бенз(а)пирену - 1 кг/год. Превышение предельно допустимых величин является временно согласованным нормативом для указанного предприятия. Определить платежи по каждому загрязнителю отдельно и общую плату за негативное воздействие на ОПС.

Решение. Воспользуемся формулой 1.15:

$$П(SO_2) = (21 \cdot 10 + 5 \cdot 105) \cdot 1,9 \cdot 1,21 = 1689,77\text{ руб.}$$

$$П(NO_2) = (52 \cdot 5 + 3 \cdot 260) \cdot 1,9 \cdot 1,79 = 3537,04\text{ руб.}$$

$$П(л.з.) = 36 \cdot 103 \cdot 1,9 \cdot 1,46 = 10285,99\text{ руб.}$$

$$П(б(а)п) = (2049801 \cdot 0,001 + 10249005 \cdot 0,005) \cdot 1,9 \cdot 1,46 = 147839,85\text{ руб.}$$

$$П\text{ общ.} = 1689,77 + 3537,04 + 10285,99 + 147839,85 = 163352,65\text{ руб.}$$



Задачи к практической работе № 3 для самостоятельного решения  
(6 задач на выбор)

1. Максимальная приземная концентрация  $SO_2$  зафиксирована на расстоянии 570 м от источника выбросов по ветровой оси. На каком расстоянии следует ожидать максимальную приземную концентрацию летучей золы, выбрасываемой тем же источником?
2. Максимальная приземная концентрация летучей золы зафиксирована на расстоянии 270 м от источника выбросов по ветровой оси. На каком расстоянии следует ожидать максимальную приземную концентрацию  $NO_2$ , выбрасываемого тем же источником?
3. Как будут отличаться максимальные приземные концентрации диоксида серы и летучей золы, которые поступают в атмосферу из одного источника загрязнения, учитывая, что масса летучей золы в 3 раза превышает массу диоксида серы?
4. Из дымовой трубы выбрасываются в единицу времени равные количества  $SO_2$  и летучей золы. Как будут отличаться максимальные приземные концентрации (СМ) для этих веществ: 1) будут одинаковыми; 2) для  $SO_2$  будет в 2 раза больше; 3) для  $SO_2$  будет в 2 раза меньше; 4) для  $SO_2$  будет в 3 раза больше; 5) для  $SO_2$  будет в 3 раза меньше?
5. Максимальная приземная концентрация, равная 0,54 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 510 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация на удалении 300 м?
6. Максимальная приземная концентрация, равная 0,63 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 660 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация на удалении 450 м?
7. Максимальная приземная концентрация, равная 0,34 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 400 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация на удалении 500 м?
8. Как будут отличаться максимальные концентрации загрязняющих веществ от идентичных источников выбросов, расположенных в Калужской и Читинской областях?
9. Из дымовой трубы выбрасываются в единицу времени равные количества  $NO_2$  и  $SO_2$ . Как будут отличаться максимальные приземные концентрации (СМ) для этих веществ?
10. Максимальная приземная концентрация  $NO_2$ , равная 0,74 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 300 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация  $NO_2$  в точке, расположенной на линии, перпендикулярной ветровой оси с координатами  $x = 200$  м,  $y = 30$  м? Опасная скорость ветра составляет 3,5 м/с.
11. Максимальная приземная концентрация  $SO_2$ , равная 0,61 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 460 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация  $SO_2$  в точке, расположенной на линии, перпендикулярной ветровой оси с координатами  $x = 600$  м,  $y = 25$  м? Скорость ветра – 3,2 м/с.
12. Максимальная приземная концентрация  $NO_2$ , равная 0,59 мг/м<sup>3</sup>, зафиксирована на расстоянии 500 м от источника выброса по ветровой оси. Какой будет приземная концентрация  $NO_2$  в точке, расположенной на линии, перпендикулярной ветровой оси с координатами  $x = 350$  м,  $y = 40$  м? Скорость ветра – 4,2 м/с.
13. Содержание  $SO_2$  и  $NO_2$  в атмосферном воздухе составляет соответственно 0,26 мг/м<sup>3</sup> и 0,08 мг/м<sup>3</sup>. Время воздействия 20 минут. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
14. Содержание  $NO_2$  и летучей золы в атмосферном воздухе составляет соответственно 0,22 мг/м<sup>3</sup> и 0,18 мг/м<sup>3</sup>. Время воздействия 20 минут. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
15. Содержание  $SO_2$  и летучей золы в атмосферном воздухе составляет соответственно 0,45 мг/м<sup>3</sup> и 0,31 мг/м<sup>3</sup>. Время воздействия 20 минут. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
16. Содержание фенола и  $SO_2$  в атмосферном воздухе составляет соответственно 0,0047 мг/м<sup>3</sup> и 0,25 мг/м<sup>3</sup>? Время воздействия 20 минут. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
17. Какие вещества, выходя из устья дымовой трубы, быстрее достигают поверхности земли: 1) диоксид серы; 2) монооксид углерода; 3) диоксид азота; 4) летучая зола; 5) угольная пыль?
18. При каком коэффициенте избытка воздуха достигается наиболее полное сгорание топлива: 1) 0,2; 2) 0,5; 3) 0,9; 4)



1,0; 5) 1,3?

19. Чему будет равно СПДВМ, если  $CФ = ПДКМ.Р$ ?

20. Определить ПДВ для диоксида серы и диоксида азота, которые планируется выбрасывать без очистки через трубу высотой 50 м с диаметром устья 2 м. Объем отходящих газов, приведенный к их температуре составляет 45 м<sup>3</sup>/с. Температура отходящих газов 110оС, их скорость на выходе из устья трубы составляет 15 м/с. Массовые доли загрязняющих веществ соответственно 70 и 30 %. Предприятие расположено в г. Воронеже на ровной слабопересеченной местности. Фоновая концентрация диоксида серы соответствует 0,6ПДКС.С., а диоксида азота – ПДКС.С..

21. В какое время года наблюдается наибольшая приземная концентрация загрязняющего вещества от одиночного источника выбросов при всех прочих равных условиях: 1) в середине зимы; 2) весной; 3) в середине лета; 4) осенью; 5) от сезона не зависит?

22. Выбросы предприятия фактически составили: по диоксиду серы – 35 т/год; по диоксиду азота – 38 т/год; по летучей золе – 106 т/год; по аммиаку – 0,8 кг/год. Предприятию установлены ПДВ по диоксиду серы – 15 т/год; по диоксиду азота – 25 т/год; по летучей золе – 59 т/год; по аммиаку – 0,1 кг/год. Определить платежи по каждому загрязнителю отдельно и общую плату за негативное воздействие на ОПС.

23. Выбросы предприятия фактически составили: по диоксиду серы – 23 т/год; по диоксиду азота – 7 т/год; по летучей золе – 69 т/год; по оксиду углерода – 89 т/год. Предприятию установлены ПДВ по диоксиду серы – 8 т/год; по диоксиду азота – 4 т/год; по летучей золе – 45 т/год; по оксиду углерода – 18 т/год. Определить платежи по каждому загрязнителю отдельно и общую плату за негативное воздействие на ОПС.

#### Приложения

Рисунок 1. Определения коэффициента температурной стратификации атмосферы, А.

Таблица 1 - Средние температуры в 13 часов наиболее жаркого месяца года в различных пунктах РФ

| Наименование пункта | Температура оС | Наименование пункта | Температура оС |
|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Архангельск         | 18,6           | Иваново             | 22,2           |
| Астрахань           | 29,5           | Якутск              | 23,0           |
| Белгород            | 24,8           | Калуга              | 22,4           |
| Брянск              | 22,5           | Кемерово            | 21,8           |
| Владивосток         | 23,6           | Хабаровск           | 24,1           |
| Владимир            | 21,4           | Тихорецк            | 28,0           |
| Волгоград           | 28,6           | Красноярск          | 22,5           |



|                 |      |                 |      |
|-----------------|------|-----------------|------|
| Вологда         | 21,1 | Санкт-Петербург | 20,6 |
| Воронеж         | 24,2 | Москва          | 22,3 |
| Екатеринбург    | 20,7 | Кострома        | 21,1 |
| Краснодар       | 28,3 | Ставрополь      | 27,1 |
| Нижний Новгород | 21,2 | Новгород        | 20,8 |
| Новосибирск     | 22,7 | Самара          | 24,3 |

Таблица 2 – Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы по территориям экономических районов РФ

| Экономические районы РФ | Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы |         |
|-------------------------|---|---------|
|                         | атмосферный воздух*   | почвы** |
| Северный                | 1,4   | 1,4     |
| Северо-Западный         | 1,5   | 1,3     |
| Центральный             | 1,9   | 1,6     |
| Волго-Вятский           | 1,1   | 1,5     |
| Центрально-Черноземный  | 1,5   | 2,0     |
| Поволжский              | 1,9   | 1,9     |
| Северо-Кавказский       | 1,6   | 1,9     |
| Уральский               | 2,0   | 1,7     |
| Западно-Сибирский       | 1,2   | 1,2     |
| Восточно-Сибирский      | 1,4   | 1,1     |
| Дальневосточный         | 1,0   | 1,1     |
| Калининградская область | 1,5   | 1,3     |

\*Применяется с дополнительным коэффициентом 1,2 при выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов.

\*\* Применяется при взимании платы за размещение отходов.

#### Практическая работа № 4. Нормирование качества природных водных объектов

Условия выпуска сточных вод в водоемы

Условия выпуска сточных вод в водоемы определяются Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Согласно этим правилам для веществ, загрязняющих водные объекты, установлено раздельное нормирование в зависимости от категории водопользования.

Существует два основных типа водопользования: 1) для нужд населения (I категория – хозяйственно-питьевых нужд, пищевой промышленности и II категория – для коммунально-бытовых целей, т.е. плавание, занятие спортом и т.п.); 2) для рыбохозяйственных нужд (I категория – для обеспечения сохранения и воспроизводства особо ценных пород рыб, чувствительных к содержанию кислорода в воде и II категория – для других видов рыб и водных промысловых организмов).

Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приводятся в табл. 1.

Таблица 1 - Допустимые изменения состава воды в водоемах после выпуска в них сточных вод

| Показатели<br>воды после выпуска в них сточных вод | Требования к составу воды в водоеме                    |      |                               |    |
|--|--|------|-------------------------------|----|
|  | Хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения |      | Рыбохозяйственного назначения |    |
|  | Категории  |      | Категории                     |    |
|  | I  | II   | I                             | II |
| Взвешенные вещества, мг/л                          | Допускается увеличение не более, чем на                |      |                               |    |
| 0,25   | 0,75   | 0,25 | 0,75                          |    |
| Растворенный кислород, мг/л                        |  |      |                               |    |
| □ 4  |  |      | □ 6                           |    |
| БПК*, мг/л   | Не должно превышать                                    |      |                               |    |
| 3  | 6  | 3    | 6                             |    |

\*БПК – биохимическое потребление кислорода. Служит количественным показателем загрязненности воды органическими веществами, которые способны к биохимическому окислению в присутствии растворенного кислорода. БПК не эквивалентна общей концентрации органического вещества в воде. Такой концентрации эквивалентна химическая потребность воды в кислороде (ХПК) и только в том случае, если данное вещество может окисляться бихроматом. БПК составляет лишь часть ХПК: для одних веществ, большую, для других - меньшую. Для



веществ, не способных к биохимическому окислению (биохимически жестких), БПК вообще равна нулю при достаточной большой ХПК.

Предельно допустимая концентрация того или иного вещества в водоеме устанавливается по тому признаку вредного действия (влияние на здоровье населения, на органолептическое или общесанитарное состояние водоема), который характеризуется меньшей пороговой концентрацией. Так как этот признак вредности определяет характер наиболее вероятного неблагоприятного действия наименьших концентраций вещества, он получил название лимитирующего признака вредности (ЛПВ). Лимитирующий признак вредности должен всегда сопровождать предельно допустимую концентрацию, характеризуя ее с основной качественной стороны (табл. 2 и 3).

Таблица 2 - Предельно допустимые концентрации вредных химических веществ в воде водных объектов, используемых для нужд населения (ГН 2.1.5.1315-03)

| Наименование ингредиента                      | ЛПВ                         | ПДК, мг/л | Класс опасности   |      |   |
|---|-----------------------------|-----------|-------------------|------|---|
| Нефтепродукты (нефть многосернистая)          |                             |           | Органолептический | 0,1  | 4 |
| Железо (Fe <sup>2+</sup> )                    | ----"----                   | 0,3       |                   | 3    |   |
| Медь (Cu <sup>2+</sup> )                      | ----"----                   | 1,0       |                   | 3    |   |
| Марганец (Mn <sup>2+</sup> )                  | ----"----                   | 0,1       |                   | 3    |   |
| СПАВ (алкилсульфонаты)                        | ----"----                   | 0,5       |                   | 3    |   |
| Хром (Cr <sup>3+</sup> )                      | Санитарно-токсикологический |           |                   | 0,5  | 3 |
| Фенол   | Органолептический           | 0,001     |                   |      |   |
| Кобальт (Co <sup>2+</sup> )                   | Санитарно-токсикологический |           |                   | 0,1  | 2 |
| Никель (Ni <sup>2+</sup> )                    | ----"----                   | 0,02      |                   | 2    |   |
| Метанол                                       | ----"----                   | 3,0       |                   | 2    |   |
| Азот нитратов (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | ----"----                   | 45        |                   | 3    |   |
| Свинец (Pb <sup>2+</sup> )                    | ----"----                   | 0,01      |                   | 2    |   |
| Формальдегид                                  | ----"----                   | 0,05      |                   | 2    |   |
| Азот аммиака                                  | Органолептический           | 1,5       |                   | 4    |   |
| Цинк (Zn <sup>2+</sup> )                      | Общесанитарный              | 1,0       |                   | 3    |   |
| Молибден                                      | Санитарно-токсикологический |           |                   | 0,25 | 2 |
| Мышьяк  | ----"----                   | 0,01      |                   | 1    |   |
| Натрий  | ----"----                   | 200       |                   | 2    |   |
| Азот нитритов (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) | ----"----                   | 3,3       |                   | 2    |   |
| Пероксид водорода                             | ----"----                   | 0,1       |                   | 2    |   |
| Ртуть   | ----"----                   | 0,0005    |                   | 1    |   |
| Кадмий  | ----"----                   | 0,001     |                   | 2    |   |
| Сульфаты                                      | Органолептический           | 500       |                   | 4    |   |
| Хлориды                                       | ----"----                   | 350       |                   | 4    |   |

Таблица 3 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей

| Наименование ингредиента    | ЛПВ                         | ПДК, мг/л |  |      |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--|------|
| Азот аммиака                | Токсикологический           | 0,05      |  |      |
| Азот нитритов               | ----"----                   | 0,08      |  |      |
| Кобальт (Co <sup>2+</sup> ) | ----"----                   | 0,01      |  |      |
| Медь (Cu <sup>2+</sup> )    | ----"----                   | 0,001     |  |      |
| Железо (общее)              | ----"----                   | 0,1       |  |      |
| Никель (Ni <sup>2+</sup> )  | ----"----                   | 0,01      |  |      |
| Цинк (Zn <sup>2+</sup> )    | ----"----                   | 0,01      |  |      |
| Марганец                    | ----"----                   | 0,01      |  |      |
| Метанол                     | ----"----                   | 0,1       |  |      |
| Свинец                      | ----"----                   | 0,1       |  |      |
| Формальдегид                | ----"----                   | 0,1       |  |      |
| СПАВ (алкилсульфонаты)      | ----"----                   | 0,5       |  |      |
| Сульфаты                    | ----"----                   | 100       |  |      |
| Хром (III)                  | ----"----                   | 0,07      |  |      |
| Азот нитратов               | Санитарно-токсикологический |           |  | 40   |
| Хлориды                     | Санитарно-токсикологический |           |  | 300  |
| Нефтепродукты               | Рыбохозяйственный           |           |  | 0,05 |



Научно обоснован принцип гигиенического нормирования при одновременном присутствии в воде нескольких вредных веществ. Вещества одного ЛПВ проявляют аддитивное действие. Это означает, что общее воздействие двух или нескольких веществ одного ЛПВ (содержащихся в предельно допустимой концентрации каждое) будет таким же, как если бы какое-нибудь из них, присутствуя в воде в единственном числе, содержалось в двух или нескольких ПДК.

Для веществ одного ЛПВ, относящихся к 1 и 2 классам опасности при хозяйственно-питьевом и коммунально-бытовом водопользовании, сумма отношений концентраций ( $C_1, C_2 \dots C_n$ ) каждого из веществ в контрольном створе к соответствующим ПДК не должна превышать единицы. Для всех нормированных веществ при рыбохозяйственном водопользовании при поступлении в водные объекты нескольких веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности и с учетом примесей, поступающих в водный объект от вышерасположенных источников, сумма отношений концентраций ( $C_1, C_2 \dots C_n$ ) каждого из веществ в контрольном створе к соответствующим ПДК не должна превышать единицы, т. е.:

Выше перечисленные состав и свойства воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования должны соответствовать нормативным требованиям в створе, расположенном на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания организованного отдыха, территория населенного пункта и т. д.). Состав и свойства воды рыбохозяйственных водоемов должны удовлетворять рыбохозяйственным требованиям в створе, определяемом в каждом конкретном случае органами рыбоохраны, но не далее, чем в 500 м от места выпуска сточных вод.

Пример. В воде водного объекта рыбохозяйственного назначения обнаружены нефтепродукты в концентрации 0,125 мг/л и СПАВ в количестве 0,215 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?

Решение. Из табл. 3. очевидно, что нефтепродукты и СПАВ не относятся к одному ЛПВ.  $ПДК(нефт.) = 0,05$  мг/л,  $ПДК(СПАВ) = 0,5$  мг/л. При поступлении в водоем загрязняющих веществ, не относящихся к одному ЛПВ, отношение концентраций каждого из веществ в расчетном створе к соответствующим ПДК не должно превышать единицы, т.е.  $C(нефт.)/ПДК(нефт.) \leq 1$  и  $C(СПАВ)/ПДК(СПАВ) \leq 1$ .

Проверим, выполняется ли это условие:

$$C(нефт.)/ПДК(нефт.) = 0,125/0,05 = 2,5.$$

$$C(СПАВ)/ПДК(СПАВ) = 0,215/0,5 = 0,43.$$

Следовательно, такое содержание примесей нефтепродуктов с точки зрения санитарно-гигиенических требований недопустимо, а содержание примесей СПАВ – допустимо.



Задачи к практической работе № 4 для самостоятельного решения  
(3 задачи на выбор)

1. В воде водного объекта, используемого для рыбохозяйственных целей, обнаружены цинк в концентрации 0,007 мг/л и азот аммиака в концентрации 0,0012 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
2. В воде водного объекта хозяйственно-питьевого назначения обнаружены азот нитритов в концентрации 1,5 мг/л и СПАВ в количестве 0,5 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
3. В воде водного объекта хозяйственно-питьевого назначения обнаружены железо в концентрации 0,15 мг/л и медь в концентрации 0,65 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
4. В воде водного объекта, используемого для рыбохозяйственных целей, обнаружены азот нитритов в концентрации 0,007 мг/л и азот аммиака в концентрации 0,0025 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
5. В водоем сбрасываются сточные воды, содержащие СПАВ и медь с одинаковой концентрацией. Каким будет соотношение концентраций этих веществ в створе полного смешения?
6. В воде водного объекта, используемого для рыбохозяйственных целей, обнаружены марганец в концентрации 0,005 мг/л и железо в концентрации 0,045 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
7. В воде водного объекта хозяйственно-питьевого назначения обнаружены железо в концентрации 0,2 мг/л и медь в концентрации 0,75 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
8. В воде водного объекта, используемого для рыбохозяйственных целей, обнаружены формальдегид в концентрации 0,047 мг/л и метанол в концентрации 0,025 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
9. В воде водного объекта хозяйственно-питьевого назначения обнаружены железо в концентрации 0,07 мг/л, марганец в концентрации 0,04 мг/л и медь в концентрации 0,75 мг/л. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?
10. ПДК нефтепродуктов для водоемов хозяйственно-питьевого назначения составляет 0,1 мг/л, при какой концентрации нефтепродуктов в водном объекте уровень экологического риска для здоровья людей будет минимальный: 1) 1,0 мг/л; 2) 10,0 мг/л; 3) 0,1 мг/л; 4) 0,05 мг/л; 5) 0,01 мг/л?

Практическая работа № 5. Оценка качества воды

Существует несколько способов оценки качества воды в зависимости от вида водопользования: оценка состояния поверхностных вод, гигиеническая классификация поверхностных водных объектов культурно-бытового назначения по степени загрязнения, гигиеническая классификация подземных вод по степени влияния техногенного фактора и правила таксации вод для установления их рыбохозяйственной ценности.

Индекс загрязнения воды (ИЗВ) применяется для оценки состояния поверхностных водных объектов в системе Росгидромета. Оценка базируется на анализе нормированных к ПДК значений содержания загрязняющих веществ в воде. При расчете индекса используется шесть компонентов загрязнителей. В качестве обязательных показателей рассматриваются биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК5) и содержание растворенного кислорода. Кроме этих двух показателей в расчет включаются четыре загрязняющих вещества с максимальными значениями нормированных показателей.

Расчет по БПК5 и растворенному кислороду проводится на основе специальных норм, которые применяются в зависимости от значений биохимического потребления кислорода или содержания растворенного кислорода в воде.

Нормы по БПК5 следующие:

|                               |                           |                                 |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| норма 1                       | норма 2                   | норма 3                         |
| более 15 мг O <sub>2</sub> /л | 3-15 мг O <sub>2</sub> /л | не более 3 мг O <sub>2</sub> /л |

При расчете нормированной величины значение БПК делится на соответствующую норму.

Нормы содержания растворенного кислорода следующие:

|              |          |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| норма 6      | норма 12 | норма 20 | норма 30 | норма 40 | норма 50 | норма 60 |
| более 6 мг/л | 6-5 мг/л | 5-4 мг/л | 4-3 мг/л | 3-2 мг/л | 2-1 мг/л | 1-0 мг/л |

При расчете нормированной величины норма делится на содержание кислорода.

Вычисление ИЗВ проводится по соотношению:

$ИЗВ = \frac{C_i}{N_i}$ ,

где  $C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го вещества (для БПК5 и растворенного кислорода в формулу вводятся



нормированные величины, полученные приведенными выше способами).  
Необходимо иметь в виду, что ПДК загрязняющего вещества, применяемая в расчете, зависит от назначения водоема (рыбохозяйственного назначения или для нужд населения). В результате вычисления по формуле средней нормированной величины по шести компонентам получаем индекс загрязнения воды (ИЗВ), который в зависимости от численного значения соответствует одному из семи классов загрязнения воды (табл. 1.).

Таблица 1 - Классификация загрязненных пресных и морских вод по ИЗВ

| Класс<br>загрязнения       | Характеристика<br>Значение ИЗВ |              |
|----------------------------|--------------------------------|--------------|
|                            | Пресные воды                   | Морские воды |
| I                          |                                |              |
| II                         |                                |              |
| III                        |                                |              |
| IV                         |                                |              |
| V                          |                                |              |
| VI                         |                                |              |
| VII                        | Очень чистая вода              |              |
| Чистая вода                |                                |              |
| Умеренно загрязненная вода |                                |              |
| Загрязненная вода          |                                |              |
| Грязная вода               |                                |              |
| Очень грязная вода         |                                |              |
| Чрезвычайно грязная вода   | < 0,3                          |              |
| 0,3-1,0                    |                                |              |
| 1,0-2,5                    |                                |              |
| 2,5-4,0                    |                                |              |
| 4,0-6,0                    |                                |              |
| 6,0-10,0                   |                                |              |
| > 10,0                     | < 0,25                         |              |
| 0,25-0,74                  |                                |              |
| 0,75-1,24                  |                                |              |
| 1,25-1,74                  |                                |              |
| 1,75-3,0                   |                                |              |
| 3,1-6,0                    |                                |              |
| > 6,0                      |                                |              |

Недостатки использования ИЗВ определяются зависимостью его величины от перечня изученных компонентов-загрязнителей вод.

Пример. В результате физико-химического анализа природной воды из природного водоема культурно-бытового назначения получены следующие данные: нефтепродукты 0,05 мг/л; БПК<sub>5</sub> – 1,08 мг/л; растворенный кислород – 7,52 мг/л; натрий – 99,13 мг/л; железо (общ.) – 0,2 мг/л; марганец – 0,07 мг/л; нитриты – 0,1 мг/л; нитраты 3,55 мг/л. Дать характеристику загрязнения воды.

Решение.

Определим нормированные к ПДК значения содержания загрязняющих веществ в воде водоема из соотношения  $C_i/PДК_i$ . ПДК компонентов берем из табл. 2.2.

Нефтепродукты  $0,05/0,1 = 0,5$

Натрий  $99,13/200 = 0,49$

Железо (общ.)  $0,2/0,3 = 0,66$

Марганец  $0,07/0,1 = 0,7$

Нитриты  $0,1/3,3 = 0,03$

Нитраты  $3,55/45 = 0,08$

Для расчета ИЗВ берем четыре компонента с максимальными нормированными значениями: марганец, железо (общ.), нефтепродукты, натрий.

БПК<sub>5</sub> – 1,08 мг/л, следовательно, норма по БПК<sub>5</sub> – 3.

Нормированная величина БПК  $1,08/3 = 0,36$ .

Содержание растворенного кислорода 7,52 мг/л, следовательно, ему соответствует норма 6. Нормированная величина растворенного кислорода  $6/7,52 = 0,798$ .



Рассчитаем индекс загрязнения воды:

$$\text{ИЗВ} = 0,58.$$

Значение ИЗВ лежит в интервале 0,3-1,0 (по табл. 1), следовательно, вода в водоеме характеризуется как чистая, класс загрязнения II.

Задачи к практической работе № 5 для самостоятельного решения

(3 задачи на выбор)

1. Химический анализ воды из водоема хозяйственно-питьевого назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
| 1 |                          |                            |
| 2 |                          |                            |
| 3 |                          |                            |
| 4 |                          |                            |
| 5 |                          |                            |
| 6 |                          |                            |
| 7 |                          |                            |
| 8 |                          |                            |
| 9 | Взвешенные вещества      |                            |
|   | Нефтепродукты            |                            |
|   | БПК5                     |                            |
|   | Растворенный кислород    |                            |
|   | Медь                     |                            |
|   | Цинк                     |                            |
|   | Свинец                   |                            |
|   | Хлориды                  |                            |
|   | сульфаты                 | 9,8                        |
|   |                          | 0,09                       |
|   |                          | 2,5                        |
|   |                          | 8,7                        |
|   |                          | 0,002                      |
|   |                          | 0,05                       |
|   |                          | 0,0005                     |
|   |                          | 113,68                     |
|   |                          | 188,16                     |

Дать характеристику загрязнения воды.

2. Химический анализ воды из водоема хозяйственно-питьевого назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
| 1 |                          |                            |
| 2 |                          |                            |
| 3 |                          |                            |
| 4 |                          |                            |
| 5 |                          |                            |
| 6 |                          |                            |
| 7 |                          |                            |
| 8 | Взвешенные вещества      |                            |
|   | Нефтепродукты            |                            |
|   | БПК5                     |                            |
|   | Растворенный кислород    |                            |
|   | Молибден                 |                            |
|   | Хром                     |                            |
|   | Железо (общ.)            |                            |
|   | Азот аммиака             | 11,3                       |
|   |                          | 0,03                       |
|   |                          | 3,1                        |
|   |                          | 3,6                        |
|   |                          | 0,0025                     |



0,003  
0,16  
0,27

Дать характеристику загрязнения воды.

3. Химический анализ воды из водоема рыбохозяйственного назначения (1 категории) показал следующее:

| №  | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|----|--------------------------|----------------------------|
| 1  |                          |                            |
| 2  |                          |                            |
| 3  |                          |                            |
| 4  |                          |                            |
| 5  |                          |                            |
| 6  |                          |                            |
| 7  |                          |                            |
| 8  |                          |                            |
| 9  |                          |                            |
| 10 | Взвешенные вещества      |                            |
|    | Нефтепродукты            |                            |
|    | БПК5                     |                            |
|    | Растворенный кислород    |                            |
|    | СПАВ                     |                            |
|    | Азот аммонийный          |                            |
|    | Железо (общ.)            |                            |
|    | Медь                     |                            |
|    | Цинк                     |                            |
|    | Хлориды                  | 16                         |
|    |                          | 0,04                       |
|    |                          | 1,22                       |
|    |                          | 9,48                       |
|    |                          | 0,015                      |
|    |                          | 0,12                       |
|    |                          | 0,1                        |
|    |                          | 0,002                      |
|    |                          | 0,004                      |
|    |                          | 109,54                     |

Дать характеристику загрязнения воды.

4. Химический анализ воды из водоема культурно-бытового назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
| 1 |                          |                            |
| 2 |                          |                            |
| 3 |                          |                            |
| 4 |                          |                            |
| 5 |                          |                            |
| 6 |                          |                            |
| 7 | Взвешенные вещества      |                            |
|   | БПК5                     |                            |
|   | Растворенный кислород    |                            |
|   | СПАВ                     |                            |
|   | Натрий                   |                            |
|   | Хлориды                  |                            |
|   | Сульфаты                 | 26,5                       |
|   |                          | 1,72                       |
|   |                          | 11,4                       |
|   |                          | 0,012                      |
|   |                          | 141,2                      |
|   |                          | 136,77                     |



307,2

Дать характеристику загрязнения воды.

5. Химический анализ воды из водоема хозяйственно-питьевого назначения показал следующее:

| №  | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|----|--------------------------|----------------------------|
| 1  |                          |                            |
| 2  |                          |                            |
| 3  |                          |                            |
| 4  |                          |                            |
| 5  |                          |                            |
| 6  |                          |                            |
| 7  |                          |                            |
| 8  |                          |                            |
| 9  |                          |                            |
| 10 | Взвешенные вещества      |                            |
|    | Фенолы                   |                            |
|    | БПК5                     |                            |
|    | Растворенный кислород    |                            |
|    | Натрий                   |                            |
|    | Азот аммонийный          |                            |
|    | Железо (общ.)            |                            |
|    | Мышьяк                   |                            |
|    | Кадмий                   |                            |
|    | Никель                   | 12                         |
|    |                          | 0,0006                     |
|    |                          | 1,94                       |
|    |                          | 12,6                       |
|    |                          | 126,6                      |
|    |                          | 0,54                       |
|    |                          | 0,11                       |
|    |                          | 0,006                      |
|    |                          | 0,0008                     |
|    |                          | 0,005                      |

Дать характеристику загрязнения воды.

6. Химический анализ воды из водоема рыбохозяйственного назначения (II категории) показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
| 1 |                          |                            |
| 2 |                          |                            |
| 3 |                          |                            |
| 4 |                          |                            |
| 5 |                          |                            |
| 6 |                          |                            |
| 7 |                          |                            |
| 8 |                          |                            |
| 9 | Взвешенные вещества      |                            |
|   | Нефтепродукты            |                            |
|   | БПК5                     |                            |
|   | Растворенный кислород    |                            |
|   | СПАВ                     |                            |
|   | Азот аммонийный          |                            |
|   | Нитриты                  |                            |
|   | Хлориды                  |                            |
|   | Сульфаты                 | 8,0                        |
|   |                          | 0,02                       |
|   |                          | 1,48                       |



9,22  
0,001  
0,23  
0,062  
107,7  
211,4

Дать характеристику загрязнения воды.

7. Химический анализ воды из водоема хозяйственно-питьевого назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
|---|--------------------------|----------------------------|

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

10 Взвешенные вещества

БПК5

Растворенный кислород

Натрий

Медь

Цинк

Свинец

Марганец

Нитриты

Нитраты 19,5

2,18

13,0

236,44

0,003

0,01

0,0005

0,024

0,12

9,46

Дать характеристику загрязнения воды.

8. Химический анализ воды из водоема культурно-бытового назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
|---|--------------------------|----------------------------|

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

10

11 Взвешенные вещества

Нефтепродукты

Фенолы



БПК5

Растворенный кислород

СПАВ

Железо (общ.)

Мышьяк

Кадмий

Никель

Хром 4

0,02

0,003

0,82

6,26

0,05

0,7

0,003

0,001

0,02

0,3

Дать характеристику загрязнения воды.

9. Химический анализ воды из водоема хозяйственно-питьевого назначения показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
|---|--------------------------|----------------------------|

1

2

3

4

5

6

7

8

9 Взвешенные вещества

Нефтепродукты

БПК5

Растворенный кислород

Железо (общ.)

Марганец

Хлориды

Сульфаты

Нитраты 11,5

0,08

1,68

15,1

0,1

0,06

121,5

216

4,24

Дать характеристику загрязнения воды.

10. Химический анализ воды из водоема рыбохозяйственного назначения (I категории) показал следующее:

| № | Наименование показателей | Значение показателей, мг/л |
|---|--------------------------|----------------------------|
|---|--------------------------|----------------------------|

1

2

3

4

5



6  
7  
8  
9  
10 Взвешенные вещества

Фенолы

БПК5

Растворенный кислород

СПАВ

Азот аммонийный

Нитриты

Нитраты

Медь

Цинк 6,05

0,003

1,34

8,53

0,015

0,173

0,062

2,78

0,002

0,005

Дать характеристику загрязнения воды.

Практическая работа № 6. Разбавление сточных вод, поступающих в водоем

Разбавление является одним из основных факторов обезвреживания сточных вод, поступивших в водоем. Хотя при разбавлении общее количество поступившего в водоем загрязняющего вещества не изменяется, его обезвреживающий эффект несомненен. Если в водоем поступила какая-то сточная жидкость, то дальше она всегда



будет смешиваться с водой водоема. Разбавление действует одинаково как на консервативные, так и на неконсервативные вещества.  
Разбавление какого-либо притока, например, сточной жидкости в речном потоке, обусловлено смешением загрязненных струй со смежными более чистыми струями под влиянием турбулентного (вихревого) перемешивания. Вследствие этого к поступившей в водоем сточной жидкости с расходом  $q$  (м<sup>3</sup>/с) присоединяется разбавляющая вода с расходом  $Q_c$  м (м<sup>3</sup>/с).

Под разбавлением  $n$  подразумевается отношение суммы расходов разбавляемой  $q$  и разбавляющей  $Q_c$  м воды к расходу разбавляемой воды:

$$(1.1)$$

Расход разбавляющей воды можно представить как часть полного расхода речного потока  $Q$ , т. е.

$$(1.2)$$

– коэффициент смешения, показывающий, какая часть речного расхода  $Q$  участвует в разбавлении сточной жидкости.

С учетом формулы (1.2) выражение (1.1) принимает вид

$$(1.3)$$

Пример 1. Расход сточных вод предприятия составляет 0,64 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 20 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,45. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение.

Кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования определяем по формуле:

$$= = 15,06$$

Коэффициент смешения рассчитывается по формуле:

$$(1.4)$$

– расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м;

– коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке и определяемый, в свою очередь, из соотношения

$$(1.5)$$

– коэффициент извилистости реки (или ее фарватера), равный отношению расстояния от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру к расстоянию между этими пунктами по прямой;

– коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод:

при выпуске у берега  $= 1$ , при выпуске в речной поток  $= 1,5$ ;

$D$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Коэффициент турбулентной диффузии определяется по формуле

$$(1.6)$$

– средняя скорость течения речного потока, м/с;

$H$  – средняя глубина речного потока, м.

Пример 2. Чему равен коэффициент смешения в створе полного смешения, если расход сточной жидкости составляет 0,24 м<sup>3</sup>/с, а расход речного потока – 12,8 м<sup>3</sup>/с?

Решение.

В створе полного смешения количество разбавляющей воды ( $Q_{см}$ ) станет равной количеству речного потока ( $Q$ ), при этом коэффициент смешения определяем по формуле: где  $Q_{см} = Q$ . Тогда формула 1.2 примет вид

Отсюда  $v = Q/Q = 12,8/12,8 = 1$ .

Пример 3. В водоем с расходом воды 26 м<sup>3</sup>/с сбрасывается 0,15 м<sup>3</sup>/с сточных вод. Какой объём речного стока смешивается со сточными водами в расчётном створе, в котором коэффициент смешения составляет 0,220?

Решение.

Используя формулу 1.2 определим какой объём речного потока смешивается со сточными водами в расчетном створе:

Пример 4. Расход сточных вод предприятия составляет 0,24 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 19,5 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,15 м/с, средняя глубина реки – 1,8 м. Коэффициент извилистости русла 1,17. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 750 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение.

Рассчитаем коэффициент турбулентной диффузии по формуле 1.6:

$$= = 0,00135$$

Для случая выпуска сточных вод в речной поток  $\xi = 1,5$ . Определим коэффициент, учитывающий гидравлические факторы смешения, по формуле (2.6.):



$$= 1,17 \cdot 1,5 = 0,312$$

Коэффициент смешения определим по формуле 1.4.:

$$= 0,163$$

Кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования определим по формуле 1.3:

$$= 14,25$$

Задачи к практической работе № 6 для самостоятельного решения

(5 задач на выбор)

1. Расход сточных вод предприятия составляет 0,47 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 19,5 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,63. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

2. Расход сточных вод предприятия составляет 0,52 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 14,7 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,84. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

3. Расход сточных вод предприятия составляет 0,86 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 26,5 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,74. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

4. В водоём с расходом воды 16 м<sup>3</sup>/с сбрасывается 0,25 м<sup>3</sup>/с сточных вод. Какой объём речного стока смешивается со сточными водами в расчётном створе, в котором коэффициент смешения составляет 0,1?

5. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчётного створа по фарватеру водоёма составляет 1 км, а расстояние между этими пунктами по прямой 500 м. Чему равен коэффициент извилистости водоёма?

6. Какое минимальное значение может быть у коэффициента извилистости реки: 1) 0; 2) 1; 3) 2; 4) 3; 5) 10?

7. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчётного створа по фарватеру водоёма составляет 0,5 км, а расстояние между этими пунктами по прямой – 500 м. Чему равен коэффициент извилистости водоёма: 1) 0; 2) 1; 3) 2; 4) 0,5; 5) 1,5?

8. В водоём с расходом 35 м<sup>3</sup>/с сбрасывается 0,15 м<sup>3</sup>/с сточных вод. Какой объём речного расхода смешивается со сточными водами в створе полного смешивания: 1) 5 м<sup>3</sup>/с; 2) 35 м<sup>3</sup>/с; 3) 3,5 м<sup>3</sup>/с; 4) 5,25 м<sup>3</sup>/с; 5) 0,15 м<sup>3</sup>/с?

9. Чему равен коэффициент смешения в створе полного смешения, если расход сточной жидкости составляет 0,76 м<sup>3</sup>/с, а расход речного потока – 28,5 м<sup>3</sup>/с?

10. Расход сточных вод составляет 0,778 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 21 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,3 м/с, средняя глубина реки – 1,2 м. Коэффициент извилистости русла 1,24. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 1100 м. Выпуск сточных вод предполагается у берега. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

11. Расход сточных вод предприятия составляет 0,39 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 34,1 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,18 м/с, средняя глубина реки – 2,2 м. Коэффициент извилистости русла 1,14. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 950 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

12. Расход сточных вод предприятия составляет 0,22 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 18,1 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,14 м/с, средняя глубина реки – 1,32 м. Коэффициент извилистости русла 1,21. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 500 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

13. Расход сточных вод предприятия составляет 0,4 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 26,8 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,19 м/с, средняя глубина реки – 1,8 м. Коэффициент извилистости русла 1,22. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 600 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

14. Расход сточных вод предприятия составляет 0,36 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 22,3 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,21 м/с, средняя глубина реки – 2,14 м. Коэффициент извилистости русла 1,35. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 750 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

15. Расход сточных вод предприятия составляет 0,68 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 26,4 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,11 м/с, средняя глубина реки – 2,5 м. Коэффициент извилистости русла 1,14. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 1000 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.



#### Практическая работа № 7. Оценка уровня химического загрязнения почв

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикаторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются: коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ), который определяется отношением его реального содержания в почве ( $C$ ) к фоновому или его предельно допустимой концентрации ( $C_f$ ):

$$K_c = C/C_f \quad (1.1)$$

и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ). Последний равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов и выражен следующей формулой:

$$Z_c = \left[ \sum_{i=1}^n K_c \right] - (n-1) \quad (1.2)$$

$n$  – число суммируемых элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю  $Z_c$ , отражающему дифференциацию загрязнения воздушного бассейна городов как металлами, так и другими, наиболее распространенными ингредиентами (пыль, оксид углерода, оксиды азота, сернистый ангидрид), проводится по оценочной шкале, приведенной в табл. 1. Градации оценочной шкалы разработаны на основе изучения показателей состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

Таблица 1 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ )

Степень

| загрязнения   | Величина ( $Z_c$ ) | Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения   |
|---------------|--------------------|---|
| Допустимая    | Менее 2            | Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений  |
| Слабая        | 2–8                | Увеличение общей заболеваемости   |
| Средняя       | 8–32               | Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы                    |
| Сильная       | 32–64              |   |
| Очень сильная | Более 64           | Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий) |

Пример. На территории населенного пункта расположено предприятие по производству фосфорных удобрений. Почвы населенного пункта загрязнены мышьяком, медью, цинком, валовое содержание которых составляет 25, 66 и 350 мг/кг соответственно, а также фтором с содержанием 13 мг/кг. Определить суммарный показатель загрязнения почв и оценить уровень их загрязнения.

Решение. По формуле (1.2) рассчитываем суммарный показатель загрязнения почв указанным комплексом загрязнителей:

$$Z_c = \left[ \sum K_c \right] - (n - 1) = Z_c = \left[ \sum C/ПДК \right] - (n - 1)$$
$$Z_c = ( ) - (4 - 1) = 17,79$$

По табл. 1 степень загрязнения почвы указанной территории средняя, так как показатель  $Z_c$  лежит в интервале 8–32. Для населения, проживающего на территории, где расположено данное предприятие, будет характерно увеличение общей заболеваемости, увеличение числа часто болеющих детей.



Задания для самостоятельной работы к практической работе № 7  
(4 задачи на выбор)

1. Почвы сельскохозяйственного назначения загрязнены цинком и медью, содержание подвижных форм которых составляет для цинка – 35 мг/кг, для меди – 2,7 мг/кг. Дать характеристику загрязненности почв рассматриваемой территории.
2. Почвы территорий сельскохозяйственного назначения загрязнены цинком, содержание подвижных форм которого составляют в первой пробе 27 мг/кг, во второй – 15 мг/кг. Дать характеристику загрязненности почв рассматриваемых территорий.
3. Почвы сельскохозяйственного назначения загрязнены: первая марганцем, валовое содержание которого составляет 1750 мг/кг, вторая нитратами, валовое содержание которых составляет 150 мг/кг. Дать характеристику загрязненности почв этих территорий.
4. Почвы сельскохозяйственного назначения загрязнены: первая хромом, валовое содержание которого составляет 40 мг/кг, вторая цинком, валовое содержание которого составляет 120 мг/кг. Дать характеристику загрязненности почв рассматриваемых территорий.
5. Почвы сельскохозяйственного назначения загрязнены: нитратами, валовое содержание которых составляет в первой 130 мг/кг, во второй – 225 мг/кг. Дать характеристику загрязненности почв рассматриваемых территорий.
6. На территории населенного пункта расположено предприятие по производству цветных металлов. Почвы населенного пункта загрязнены свинцом, цинком, медью, хромом, мышьяком, валовое содержание которых составляет 75, 460, 150, 80 и 30 мг/кг соответственно. Рассчитать суммарный показатель загрязнения почв и оценить уровень их загрязнения.
7. На территории населенного пункта расположено электрогенерирующее предприятие. Почвы населенного пункта загрязнены свинцом, марганцем, бенз(а)пиреном, бензолом, сернистыми соединениями (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), валовое содержание которых составляет 150, 2900, 0,5; 8,0 и 270 мг/кг соответственно. Рассчитать суммарный показатель загрязнения почв и оценить уровень их загрязнения.
8. На территории населенного пункта находится предприятие машиностроительной промышленности. Почвы населенного пункта загрязнены свинцом, цинком, никелем, хромом, медью, содержание подвижных форм которых составляют: 28; 160; 85; 120 и 55 мг/кг соответственно. Рассчитать суммарный показатель загрязнения почв и оценить уровень их загрязнения.

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЗАЧЕТА

##### 1.1. Санитарно-гигиеническое нормирование качества атмосферного воздуха

Предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест – гигиенический норматив, утверждаемый постановлением Главного санитарного врача Российской Федерации по рекомендации Комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе – это концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного воздействия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни.

Лимитирующий (определяющий) показатель вредности (ЛПВ) характеризует направленность биологического действия вещества: рефлекторное (рефл.) и резорбтивное (рез.). Под рефлекторным действием понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей – ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.д. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой (20–30–минутная) ПДК (ПДК<sub>р.</sub>). Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и длительности его вдыхания.

Помимо максимальной разовой предельно допустимой концентрации, временной интервал воздействия которой строго ограничен, разработаны так же среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>с.с.</sub>) и рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>). Предельно допустимая концентрация среднесуточная соответствует такой величине содержания загрязняющего вещества в воздухе населенных мест, при которой не оказывается негативного влияния на здоровье населения, на все его группы (половые, возрастные, здоровья) при неограниченной длительности вдыхания воздуха, содержащего указанные вещества. В рабочей же зоне находятся люди работоспособного возраста, прошедшие медицинское обследование, что позволяет им без вреда для собственного здоровья переносить более высокие концентрации загрязняющих веществ.

Таблица 1. ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов

| Вещество | Концентрация, |
|----------|---------------|
|----------|---------------|



мг/м<sup>3</sup>

| ЛПВ  | Класс опасности |          |                      | рефлекторный             |   |       |     |                          |
|--|-----------------|----------|----------------------|--------------------------|---|-------|-----|--------------------------|
|  | ПДКм.р.         | ПДКс.с.  | ПДКр.з.              |                          |   |       |     |                          |
| Азота оксид  | 0,4             | 0,06     | 3,0                  | рефлекторный             | 3 |       |     |                          |
| Азота диоксид  | 0,085           | 0,04     | 2,0                  | рефлекторно-резорбтивный | 2 |       |     |                          |
| Аммиак   | 0,2             | 0,04     | 20,0                 | - "                      | 4 |       |     |                          |
| Ацетальдегид   | 0,01            | -        | 5,0                  | резорбтивный             | 3 |       |     |                          |
| Бензол   | 1,5             | 0,8      | 5,0                  | - "                      | 2 |       |     |                          |
| Бенз(а)пирен   | -               | 0,000001 | 1,5•10 <sup>-4</sup> | - "                      | 1 |       |     |                          |
| Бензин нефтяной малосернистый (в пересчете на С)         |                 |          |                      |                          | 5 | 1,5   |     | рефлекторно-резорбтивный |
| Диоксид серы   | 0,5             | 0,05     | 10,0                 | рефлекторно-резорбтивный | 3 |       |     |                          |
| Мазутная зола теплоэлектростанций в пересчете на ванадий | -               | 0,002    | 0,5                  | - "                      | 1 | 0,002 | 0,5 | резорбтивный             |
| Пентоксид ванадия  | -               | 0,002    | 0,5                  | - "                      | 1 |       |     |                          |
| Пыль нетоксичная   | 0,5             | 0,15     | 6,0                  | - "                      | 3 |       |     |                          |
| Ртуть металлическая                                      | -               | 0,0003   | 0,01                 | - "                      | 1 |       |     |                          |
| Сероводород  | 0,008           | 0,008    | 10,0                 | рефлекторный             | 2 |       |     |                          |
| Серовуглерод   | 0,03            | 0,005    |                      | резорбтивный             | 2 |       |     |                          |
| Углерода оксид   | 5,0             | 3,0      | 20,0                 | - "                      | 4 |       |     |                          |
| Угольная зола теплоэлектростанций                        |                 |          | 0,05                 | 0,02                     | - | - "   | 2   |                          |
| Фенол  | 0,01            | 0,003    | 0,3                  | рефлекторно-резорбтивный | 2 |       |     |                          |
| Формальдегид   | 0,035           | 0,003    | 0,5                  | - "                      | 2 |       |     |                          |
| Фтороводород   | 0,02            | 0,005    | 0,5                  | - "                      | 2 |       |     |                          |
| Хлор   | 0,1             | 0,03     | 1,0                  | - "                      | 2 |       |     |                          |
| Этанол   | 5,0             | 5,0      | 1000                 | рефлекторный             | 4 |       |     |                          |

Оценка степени суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ проводится двумя часто используемыми способами: по индексу загрязнения атмосферы I (ИЗА) и комплексному показателю загрязнения атмосферного воздуха (Р).

Расчет ИЗА выполняется, как правило, для пяти веществ, нормированное содержание которых в атмосферном воздухе максимально. Расчет нормированного содержания для одного вещества проводится по формуле:

$$I_i = \frac{q_{ср.i}}{ПДК_{ср.i} \cdot k_i} \quad (1.1)$$

$q_{ср.i}$  – среднее содержание i-го вещества в атмосферном воздухе в пункте наблюдения, мг/м<sup>3</sup> ;

$ПДК_{ср.i}$  – предельно допустимая среднесуточная концентрация i-го вещества, мг/м<sup>3</sup> (табл. 1);

$k_i$  – безразмерный коэффициент, учитывающий принадлежность к разным классам опасности.

|                 |      |     |     |     |
|-----------------|------|-----|-----|-----|
| $k_i$           | 0,85 | 1,0 | 1,3 | 1,5 |
| Класс опасности | 4    | 3   | 2   | 1   |

Далее отбираются пять веществ с максимальными значениями нормированного параметра  $I_i$ . Расчет ИЗА проводится по этим веществам в соответствии с формулой:

$$ИЗА = \sum_{i=1}^5 I_i \quad (1.2)$$

В соответствии со значениями ИЗА установлена качественная характеристика загрязнения атмосферного воздуха:

менее 5 – удовлетворительная обстановка,

6–15 – относительно напряженная,

16–50 – существенно напряженная,

51–100 – критическая,

более 100 – катастрофическая обстановка.

Данный способ оценки качества атмосферного воздуха в достаточной степени условен и ориентирован в основном на получение сравнительных характеристик загрязнения.

При загрязнении воздуха чаще проявляется эффект неполной суммации, который следовало бы принимать во внимание при оценке качества воздуха. В расчете значений комплексного показателя загрязнения атмосферного воздуха (Р) эффект частичной суммации учитывается с помощью коэффициента  $\alpha$ , где  $n$  – число веществ в смеси.

Комплексный показатель Р рассчитывается следующим образом:

$$P = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n R_i^2} \quad (1.3)$$

– сумма квадратов концентраций, нормированных по ПДК и приведенных к концентрациям веществ 3-го класса опасности с использованием коэффициента изоэффективности  $R_i$ :

|                 |      |     |     |     |
|-----------------|------|-----|-----|-----|
| $R_i$           | 0,87 | 1,0 | 1,3 | 2,3 |
| Класс опасности | 4    | 3   | 2   | 1   |

При значениях  $K_i$  для 1-го класса опасности более 2,5; для 2-го – более 5, для 3-го – более 8 и для 4-го – более 11 приведение к 3-му классу осуществляется с применением других коэффициентов изоэффективности:



|                 |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| Ri              | 0,7 | 1,0 | 1,6 | 3,2 |
| Класс опасности | 4   | 3   | 2   | 1   |

Значение  $K_i$  определяется следующим образом:

$$K_i = \bullet R_i \quad (1.4)$$

$C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го вещества, мг/м<sup>3</sup>;

$R_i$  – коэффициент изоэффективности  $i$ -го вещества.

Степень загрязнения атмосферного воздуха по комплексному показателю оценивается в соответствии с табл. 2.

Таблица 2. Оценка степени среднегодового загрязнения атмосферы

Уровень загрязнения                      Показатель Р в зависимости от числа веществ

| 1 | 2-4 | 5-9 | 10-16 | 16-25 |
|---|-----|-----|-------|-------|
|---|-----|-----|-------|-------|

Допустимое

Слабое

Умеренное

Сильное

Зона чрезвычайной экологической ситуации

Зона экологического бедствия                       $\leq 1$

1-2

2-4

4-8

8-16

> 16                      2

2-4

4-8

8-16

16-32

> 32                      3

3-6

6-12

12-24

24-48

> 48                      4

4-8

9-16

16-32

32-64

> 64                      5

8-10

10-20

20-40

40-80

> 80

Пример. Рассчитайте ИЗА, если среднее содержание загрязнителей в атмосферном воздухе в пункте наблюдения



составило: диоксид азота – 0,056 мг/м<sup>3</sup>; бенз(а)пирен – 0,0008 мкг/м<sup>3</sup>; диоксид серы – 2,5 мг/м<sup>3</sup>; оксид углерода – 2,7 мг/м<sup>3</sup>; бензол 0,2 мг/м<sup>3</sup>; свинец 3,4•10<sup>-4</sup> мг/м<sup>3</sup>; пыль 0,63 мг/м<sup>3</sup>.

Решение.

Рассчитаем нормированное содержание для каждого загрязнителя по формуле

$I_i =$

$$= \frac{0,056}{0,05} = 1,12$$

$$= \frac{0,0008}{0,0001} = 0,8$$

$$= \frac{2,5}{2,5} = 1,0$$

$$= \frac{2,7}{2,7} = 1,0$$

$$= \frac{0,2}{0,2} = 1,0$$

$$= \frac{3,4 \cdot 10^{-4}}{3,4 \cdot 10^{-4}} = 1,0$$

$$= \frac{0,63}{0,63} = 1,0$$

Из рассчитанных нормированных параметров выбираем пять веществ с максимальным значением  $I_i$ , т.е. диоксид серы, свинец, диоксид азота, бензол и пыль, и рассчитываем ИЗА:

$$ИЗА = 1,0 + 1,0 + 1,12 + 1,0 + 1,0 = 5,12$$

В соответствии со значением ИЗА состояние загрязнения атмосферного воздуха – критическое, что отвечает зонам ЧЭС.

Задачи

1. Рассчитайте ИЗА, если среднее содержание загрязнителей в атмосферном воздухе в пункте наблюдения составило: сероводород – 5•10<sup>-3</sup> мг/м<sup>3</sup>; бенз(а)пирен – 0,0002 мкг/м<sup>3</sup>; диоксид серы – 0,37 мг/м<sup>3</sup>; оксид азота – 0,69 мг/м<sup>3</sup>; бензол 0,8 мг/м<sup>3</sup>; пыль 0,24 мг/м<sup>3</sup>.

Решение



2. Рассчитайте ИЗА, если среднее содержание загрязнителей в атмосферном воздухе в пункте наблюдения составило: диоксид серы – 0,5 мг/м<sup>3</sup>; оксид углерода – 1,2 мг/м<sup>3</sup>; бензол 0,002 мг/м<sup>3</sup>; свинец 0,7•10<sup>-4</sup> мг/м<sup>3</sup>; пыль 1,6 мг/м<sup>3</sup>; диоксид азота – 0,006 мг/м<sup>3</sup>; бенз(а)пирен – 0,0003 мкг/м<sup>3</sup>; оксид азота 0,022 мг/м<sup>3</sup>.

Решение

3. Максимальная разовая ПДК для аммиака составляет 0,2 мг/м<sup>3</sup>, какой будет среднесуточная концентрация этого вещества: 1) 0,3 мг/м<sup>3</sup>; 2) 0,5 мг/м<sup>3</sup>; 3) 0,04 мг/м<sup>3</sup>; 4) 1,0 мг/м<sup>3</sup>; 5) такая же?

Решение

4. Среднесуточная ПДК для СО составляет 3,0 мг/м<sup>3</sup> какой будет ПДК рабочей зоны для этого загрязняющего вещества: 1) 3,0 мг/м<sup>3</sup>; 2) 20,0 мг/м<sup>3</sup>; 3) 1,0 мг/м<sup>3</sup>; 4) 0,5 мг/м<sup>3</sup>; 5) 0,1 мг/м<sup>3</sup>?

Решение



## 2. Разбавление сточных вод, поступающих в водоем

Разбавление является одним из основных факторов обезвреживания сточных вод, поступивших в водоем. Хотя при разбавлении общее количество поступившего в водоем загрязняющего вещества не изменяется, его обезвреживающий эффект несомненен. Если в водоем поступила какая-то сточная жидкость, то дальше она всегда будет смешиваться с водой водоема. Разбавление действует одинаково как на консервативные, так и на неконсервативные вещества.

Разбавление какого-либо притока, например, сточной жидкости в речном потоке, обусловлено смешением загрязненных струй со смежными более чистыми струями под влиянием турбулентного (вихревого) перемешивания. Вследствие этого к поступившей в водоем сточной жидкости с расходом  $q$  (м<sup>3</sup>/с) присоединяется разбавляющая вода с расходом  $Q_c$  м (м<sup>3</sup>/с).

Под разбавлением  $n$  подразумевается отношение суммы расходов разбавляемой  $q$  и разбавляющей  $Q_c$  м воды к расходу разбавляемой воды:

$$(2.1)$$

Расход разбавляющей воды можно представить как часть полного расхода речного потока  $Q$ , т. е.

$$(2.2)$$

– коэффициент смешения, показывающий, какая часть речного расхода  $Q$  участвует в разбавлении сточной жидкости.

С учетом формулы (2.2) выражение (2.3) принимает вид

$$(2.3)$$

Пример 1. Расход сточных вод предприятия составляет 0,64 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 20 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,45. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение.

Кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования определяем по формуле:

$$= = 15,06$$

Коэффициент смешения рассчитывается по формуле

$$(2.4)$$

– расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м;

– коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке и определяемый, в свою очередь, из соотношения

$$(2.5)$$

– коэффициент извилистости реки (или ее фарватера), равный отношению расстояния от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру к расстоянию между этими пунктами по прямой;

– коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод: при выпуске у берега  $=1$ , при выпуске в речной поток  $=1,5$ ;

$D$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Коэффициент турбулентной диффузии определяется по формуле

$$(2.6)$$

– средняя скорость течения речного потока, м/с;

$H$  – средняя глубина речного потока, м.

Пример 2. Чему равен коэффициент смешения в створе полного смешения, если расход сточной жидкости составляет 0,24 м<sup>3</sup>/с, а расход речного потока – 12,8 м<sup>3</sup>/с?

Решение.

В створе полного смешения количество разбавляющей воды ( $Q_{см}$ ) станет равной количеству речного потока ( $Q$ ), при этом коэффициент смешения определяем по формуле: где  $Q_{см} = Q$ . Тогда формула 2.2 примет вид

$$\text{Отсюда } v = Q/Q = 12,8/12,8 = 1.$$

Пример 3. В водоем с расходом воды 26 м<sup>3</sup>/с сбрасывается 0,15 м<sup>3</sup>/с сточных вод. Какой объем речного стока смешивается со сточными водами в расчетном створе, в котором коэффициент смешения составляет 0,220?

Решение.

Используя формулу 2.2 определим какой объем речного потока смешивается со сточными водами в расчетном створе:

Пример 4. Расход сточных вод предприятия составляет 0,24 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 19,5 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,15 м/с, средняя глубина реки – 1,8 м.



Коэффициент извилистости русла 1,17. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 750 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение.

Рассчитаем коэффициент турбулентной диффузии по формуле (2.6):

$$= = 0,00135$$

Для случая выпуска сточных вод в речной поток  $\xi = 1,5$ . Определим коэффициент, учитывающий гидравлические факторы смешения, по формуле (2.5.):

$$= 1,17 \cdot 1,5 = 0,312$$

Коэффициент смешения определим по формуле (2.4.):

$$= = 0,163$$

Кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования определим по формуле (2.3):

$$= = 14,25$$

Задачи

1. Расход сточных вод предприятия составляет 0,47 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке составляет 19,5 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения составляет 0,63. Определить кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение

2. В водоём с расходом воды 16 м<sup>3</sup>/с сбрасывается 0,25 м<sup>3</sup>/с сточных вод. Какой объём речного стока смешивается со сточными водами в расчётном створе, в котором коэффициент смешения составляет 0,1?

Решение



3. Чему равен коэффициент смешения в створе полного смешения, если расход сточной жидкости составляет 0,76 м<sup>3</sup>/с, а расход речного потока – 28,5 м<sup>3</sup>/с?  
Решение

4. Расход сточных вод предприятия составляет 0,68 м<sup>3</sup>/с. Наименьший среднемесячный расход воды в реке



составляет 26,4 м<sup>3</sup>/с. Средняя скорость течения реки на расчетном участке = 0,11 м/с, средняя глубина реки – 2,5 м. Коэффициент извилистости русла 1,14. Расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно 1000 м. Выпуск сточных вод предполагается в речной поток. Определить коэффициент смешения и кратность разбавления сточных вод перед расчетным пунктом водопользования.

Решение

### 3. Расчет платы за размещение отходов производства

Размер платы за размещение отходов в пределах установленных природопользователю лимитов определяется по формуле:

при 
$$(3.1)$$

- фактическое размещение *i*-того отхода, т, куб. м;
- годовой лимит на размещение *i*-того отхода, т, куб. м;
- ставка платы за размещение 1 тонны *i*-того отхода в пределах установленных лимитов, руб., равная - базовому нормативу платы за размещение 1 тонны *i*-того отхода в пределах установленных лимитов, руб. (табл. 3).

Таблица 3 – Нормативы платы за захламливание земель несанкционированными свалками отходов НП

| Вид отхода (по классам опасности для окружающей среды) | Норматив платы за размещение 1 т отхода, руб./т |
|--|---|
| I класса опасности (чрезвычайно опасные)               | 1739,2  |
| II класса опасности (высокоопасные)                    | 745,4   |
| III класса опасности (умеренно опасные)                | 497   |
| IV класса опасности (малоопасные)                      | 248,4   |
| V класса опасности (практически неопасные):            |   |
| добывающей промышленности                              |   |
| перерабатывающей промышленности                        |   |
| прочие   |   |
| 0,4  |   |
| 15 (куб. метр)   |   |
| 8  |   |

Размер платы за сверхлимитное размещение токсичных и нетоксичных отходов:

, при 
$$(3.2)$$

- ставка платы за размещение 1 тонны *i*-того отхода сверх установленных лимитов, руб., причем .



Общая плата за размещение токсичных и нетоксичных отходов определяется по формуле:

$$(3.3)$$

– коэффициент экологической ситуации и экологической значимости почв в рассматриваемом регионе (табл. 4);  
КИ – коэффициент индексации платы (коэффициент индексации платы в 2020 году составляет 1,79 к уровню 2017 г. и 1,46 к уровню 2019 г.).

Таблица 4 – Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы по территориям экономических районов РФ

Экономические районы РФ Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы

|                         | атмосферный воздух* |     | почвы** |
|-------------------------|---------------------|-----|---------|
| Северный                | 1,4                 | 1,4 |         |
| Северо-Западный         | 1,5                 | 1,3 |         |
| Центральный             | 1,9                 | 1,6 |         |
| Волго-Вятский           | 1,1                 | 1,5 |         |
| Центрально-Черноземный  | 1,5                 | 2,0 |         |
| Поволжский              | 1,9                 | 1,9 |         |
| Северо-Кавказский       | 1,6                 | 1,9 |         |
| Уральский               | 2,0                 | 1,7 |         |
| Западно-Сибирский       | 1,2                 | 1,2 |         |
| Восточно-Сибирский      | 1,4                 | 1,1 |         |
| Дальневосточный         | 1,0                 | 1,1 |         |
| Калининградская область | 1,5                 | 1,3 |         |

\*Применяется с дополнительным коэффициентом 1,2 при выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов.

\*\* Применяется при взимании платы за размещение отходов.

При размещении токсичных отходов на специализированных по их обезвреживанию, захоронению и хранению полигонах плата с природопользователей за размещение не взимается, а природопользователи в установленном порядке могут осуществлять страхование размещаемых отходов в связи с экологическим риском.

При размещении отходов на территориях, принадлежащих природопользователям, базовый норматив платы умножается на коэффициент 0,3.

В случае размещения отходов на неотведенной для этой цели территории (несанкционированная свалка) размер платы определяется по формуле:

$$(3.4)$$

– фактическое количество размещаемого  $i$ -того отхода, т, куб. м;

КР – коэффициент, учитывающий место размещения отходов: при размещении отходов в границах городов, населенных пунктов, водоемов, рекреационных зон и водоохраных территорий применяется коэффициент 5, менее 3 км от границ вышеперечисленных объектов – коэффициент 3.

– ставка платы за размещение 1 тонны  $i$ -того отхода сверх установленных лимитов, руб., равная .

#### Задачи

1. Определить плату, которую взимают с предприятия, расположенного в Краснодарском крае, за размещение



отходов 5 класса опасности на санкционированной свале, а 3 и 4 на территории предприятия с целью дальнейшей утилизации.

| Наименование отхода  | Класс опасности | Количество отхода, т/год | Лимит на образование отхода, т/год |
|--|-----------------|--------------------------|------------------------------------|
| Отходы изолированных проводов и кабелей  | 5               | 0,6                      | 0,6                                |
| Электрические лампы накаливания отработанные и брак  | 5               | 0,04                     | 0,04                               |
| Мусор с защитных решеток при водозаборе  | 5               | 5,6                      | 5,0                                |
| Отходы (мусор) от уборки территории и помещений  | 5               | 11,3                     | 11,3                               |
| Отходы стеклолакоткани   | 4               | 4,6                      | 4,8                                |
| Шлам очистки трубопроводов и емкостей (бочек, контейнеров, цистерн, гидронаторов) от нефти | 3               | 28,4                     | 28,0                               |
| Обтирочный материал, загрязненный маслами  | 4               | 0,5                      | 0,5                                |
| Отходы затвердевшего поливинилхлорида и пенопласта   | 4               | 22,3                     | 22,5                               |
| Остатки дизельного топлива, потерявшего потребительские свойства                           | 3               | 4,7                      | 4,6                                |

Решение

2. Предприятие сбросило ТБО (5 класс опасности) в количестве 6,8 т в водоохраной зоне. Определить какую плату оно обязано будет заплатить за свой поступок (без учета административных штрафов), если предприятие располагается на территории Челябинской области.

Решение



3. Предприятие разместило 15 т токсичных отходов 2 класса опасности на специализированном полигоне по их обезвреживанию, захоронению и хранению на территории Тюменской области. Какую плату заплатит за это предприятие – природопользователь?  
Решение

4. Как будут отличаться платежи, которые должно будет заплатить предприятие в случае: 1) размещения отходов на специальном полигоне с целью их дальнейшего захоронения и на территории населенного пункта; 2) на территории предприятия и в водоохраной зоне? Состав и количество отходов принимается одинаковым.  
Решение

#### 6.4. Критерии оценивания



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Рабочая программа дисциплины "Избранные главы экологии" по направлению подготовки (специальности)  
44.04.01 "Педагогическое образование" направленности (профилю) Дополнительное экологическое  
образование ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 44

Оценка "отлично" - решены без ошибок все предложенные (12) задачи (оценка состояния атмосферного воздуха - 4 задачи, сбросы сточных вод - 4 задачи, платежи в сфере природопользования - 4 задачи).

Оценка "хорошо" - решены без ошибок не менее 10 задач

Оценка "удовлетворительно" - решены без ошибок не менее 8 задач

Оценка "неудовлетворительно" - решено менее 8 задач

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

|      | Авторы,   | Заглавие  | Издательство,                   | Ресурс |
|------|---|---|---------------------------------|--------|
| Л1.1 | Капица Е. А.  | Урбоэкология: учебное пособие для студентов направлений подготовки 05.03.06 «экология и природопользование», 35.03.01 «лесное дело» ( <a href="https://e.lanbook.com/book/94730">https://e.lanbook.com/book/94730</a> ) | Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2017 | ЭБС    |
| Л1.2 | Царев Ю. В., Царева С. А., Буймова С. А., Тростин А. Н. | Лабораторный практикум по курсу «Промышленная экология» ( <a href="https://e.lanbook.com/book/96108">https://e.lanbook.com/book/96108</a> )   | Иваново : ИГХТУ, 2016           | ЭБС    |

#### 7.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы,                          | Заглавие  | Издательство,               | Ресурс |
|------|----------------------------------|---|-----------------------------|--------|
| Л2.1 | Павлова Е. И., Новиков В. К.     | Экология: учебник и практикум для спо ( <a href="https://urait.ru/bcode/538289">https://urait.ru/bcode/538289</a> )                                 | Москва : Юрайт, 2024        | ЭБС    |
| Л2.2 | Карпенков С. Х.                  | Экология: учебник ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=707514">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=707514</a> ) | Москва : Директ-Медиа, 2024 | ЭБС    |
| Л2.3 | Ситаров В. А., Пустовойтов В. В. | Социальная экология: учебник и практикум для вузов ( <a href="https://urait.ru/bcode/535748">https://urait.ru/bcode/535748</a> )                    | Москва : Юрайт, 2024        | ЭБС    |

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1 Экологический центр "Экосистема": сайт [режим доступа: свободный] <https://ecosystema.ru/>

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

LMS Moodle

Adobe Reader

WinDjView

Microsoft Office Professional Plus 2010 (Лицензия Троицкого филиала)

Visual Studio 2010 Pro (Лицензия Троицкого филиала)

ABBYY FineReader 9.0 (Professional Edition) (Лицензия Троицкого филиала)

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

Экологический центр "Экосистема": сайт [режим доступа: свободный] <https://ecosystema.ru/>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Учебная аудитория № 207 с мультимедийным сопровождением

Авторская презентация к лекционному курсу (600 слайдов)

Авторский сборник практических заданий по прикладной экологии

Сборник задач для аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Работа на практических занятиях во многих случаях ведётся в отдельной тетради для практических занятий. Записи в тетради в некоторых случаях желательно выполнять карандашом, чтобы можно было внести исправления.

При подготовке презентаций по отдельным темам следует учитывать все требования, которые предъявляет преподаватель к оформлению и представлению материалов. Это касается дизайна, анимационных эффектов, расположения иллюстраций и шрифта презентаций. Обязательны ссылки на литературный и иной источник, который использовался для подготовки.



Задания для самостоятельной работы предусматривают изучение материала основных и дополнительных литературных источников, а также научной литературы и обычно выполняются перед аудиторными занятиями. Поскольку в ряде случаев требуется анализ иллюстративной информации, составление схем, планов, проведение экспериментов (опытов), студенты должны получить необходимые разъяснения заранее и заблаговременно приступить к выполнению подобных работ. Отчеты по самостоятельной работе предоставляются в сброшюрованной папке по каждому разделу и, обычно, сопровождаются оригинальными (первичными) данными и фотоматериалами (презентациями).

Индивидуальные консультации для студентов организуются в соответствии с учебным планом. Перед консультацией студент должен четко и ясно сформулировать вопросы, которые представляют трудность в понимании и изучении.

При применении обучения дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (указать способы, например: онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (указать способы, например: система дистанционного обучения Moodle, форумы, электронная почта и др.).

Большую часть времени обучающиеся самостоятельно работают с учебно-методическими материалами. Студенты имеют возможность консультироваться с преподавателем по всем вопросам, возникающим в ходе самостоятельной работы посредством электронной почты, социальных сетей и т.п. (дополнить при необходимости используемые Вами средства)

Доступ обучающегося к учебным ресурсам в режиме отложенного времени, самостоятельной работы осуществляется через сеть Интернет в удобном для него месте, времени и темпе".

#### **10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и голо информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося.

1. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения: портативный компьютер с вводом/выводом шрифтом Брайля с синтезатором речи «EIBraile-W14J G2»; ноутбуки с программной экранного доступа NVDA; электронные увеличители для удаленного просмотра; видеоувеличители портативные; тифлоплеер; цифровые диктофоны.

2. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями слуха: система свободного звукового поля со встроенной совместимостью с FM-устройствами; радиоклассы «Сонет-PCM» с передатчиком, заушным индуктором и индукционной петлей; система информационная для слабослышащих переносная «Исток» А2 со встроенным плеером – звуковым информатором; документ-камера; программируемые слуховые аппараты индивидуального пользования.

3. Ассистивные информационные технологии: программное обеспечение экранного доступа с синтезом речи NVDA; программы экранного увеличения; программы речевого синтеза для компьютеров и ноутбуков; программы речевого синтеза для мобильных устройств; экранная клавиатура; экранная лупа.

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации NVDA, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся инвалидов и обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах, с помощью специальных технических и программных средств (рабочее место для незрячего пользователя с программным обеспечением экранного доступа с синтезом речи NVDA, рабочее место с компьютерным роллером и клавиатурой Clevy с большими кнопками и с разделяющей клавиши накладкой).

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,



- в печатной форме шрифтом Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,

- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,

- в форме электронного документа,

- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий (Moodle, Adobe Connect Pro и пр.).

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья используется индивидуальная работа. Под индивидуальной работой подразумевается две формы взаимодействия с преподавателем: индивидуальная учебная работа (консультации), т.е. дополнительное разъяснение учебного материала и углубленное изучение материала с теми обучающимися, которые в этом заинтересованы, и индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальные консультации направлены на индивидуализацию обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или обучающимся с ограниченными возможностями здоровья.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине обеспечивается выполнение следующих дополнительных требований в зависимости от индивидуальных особенностей, обучающихся:

а) инструкция по порядку проведения процедуры оценивания предоставляется в доступной форме (устно, в письменной форме, в письменной форме шрифтом Брайля, устно с использованием услуг сурдопереводчика);

б) доступная форма предоставления заданий оценочных средств (в печатной форме, в печатной форме увеличенным шрифтом, в печатной форме шрифтом Брайля, в форме электронного документа, задания зачитываются ассистентом, задания предоставляются с использованием сурдоперевода);

в) доступная форма предоставления ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. Эти средства могут быть предоставлены ЧелГУ или могут использоваться собственные технические средства. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.