

**ЭКОЛОГИЯ СРЕДЫ  
ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Издательство ТГТУ**

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**ЭКОЛОГИЯ СРЕДЫ  
ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Лабораторные работы**  
для студентов 2 и 4 курсов дневного отделения  
специальности 330200

**Тамбов**  
**Издательство ТГТУ**  
**2003**

УДК 631.95  
ББК П:61.я73  
К12

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент  
Кандидат технических наук, доцент,  
*Е.В. Хабарова*

К12 Экология среды обитания человека: Лаб. раб. / Сост. В.П. Капустин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн ун-та, 2003. 32 с.

Лабораторные работы содержат методические указания, правила выполнения и оформления лабораторных работ по определению коэффициентов загрязненности воздуха, воды и характеристик речного стока воды реки.

Предназначены для студентов 2 и 4 курсов дневного и заочного отделений специальности 330200.

УДК 631.95  
ББК П:61.я73

Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2003

**Учебное издание**

**ЭКОЛОГИЯ СРЕДЫ  
ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Лабораторные работы**

Составитель: **Капустин** Василий Петрович

Редактор В.Н. Митрофанова  
Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано к печати 28.05.2003  
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная  
Объем: 1,86 усл. печ. л.; 1,82 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 375

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## Введение

В современную эпоху деятельность человека оказывает огромное влияние на природные условия всей планеты, ее фауну и флору. За последние 300 – 400 лет исчезли из биосферы около 130 видов млекопитающих и птиц, около 500 занесены в красную книгу.

Благодаря достижениям науки и техники человек получил в свои руки мощные орудия воздействия на природу. Научно-технический прогресс за последние четверть века чрезвычайно обострил экологические проблемы. Из-за несовершенства технологических и энергетических установок в лучшем случае используется 25 – 30 % вещества и энергии, остальное в различных формах рассеивается в окружающей среде, в основном, в биосфере.

Растущие нагрузки уже во многих случаях превосходят возможность естественного самоочищения почвы, воздуха, воды.

Перерасход природных ресурсов приводит к ухудшению здоровья населения, загрязнению воды, потере природных ландшафтов, ценных для отдыха людей, к утрате экономических и культурных ценностей.

Инженерная экология – это наука о всеобщих законах формулирования природно-технических систем и методах обеспечения их экологической безопасности. Под экологической безопасностью понимают меру разумности трудовой деятельности человека. В связи с этим лабораторные работы предназначены для прямого усвоения и закрепления теоретических основ воздействия различных производств на состав окружающего воздуха, воды и человека т.е. окружающую среду.

## Лабораторная работа № 1

### *Определение степени загрязнения окружающей среды (воздуха)*

*Цель работы:* изучить методику определения показателя загрязнения окружающей среды.

*Оборудование рабочего места и инструмент:* методика определения показателей загрязнения окружающей среды, линейка, микрокалькулятор, пишущий инструмент, бумага.

#### **Задание**

- 1 Изучить методику определения показателей степени загрязнения окружающей среды (воздуха).
- 2 Определить коэффициент загрязнения воздуха атмосферы.
- 3 Произвести вербальную (словесную) оценку степени загрязнения окружающей среды (воздуха).
- 4 Определить минимальное число загрязнителей и их количество, при которых не происходит отрицательное воздействие на окружающую среду.
- 5 Изучить предельно-допустимые концентрации ПДК загрязнителей (поллютантов) воздуха в городе, на заводе, в животноводческом помещении.

#### Методические указания

- 1 По изученной методике определить коэффициент загрязнения воздуха атмосферы, используя таблицу прил. 1П.
- 2 Провести анализ полученных данных и сделать вербальную (словесную) оценку степени загрязнения воздуха.
- 3 Наметить пути снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.
- 4 Определить минимальное число загрязнителей и их количество, при котором не происходит отрицательного воздействия на экологическую среду.
- 5 Изучить предельно-допустимые концентрации загрязнителей воздуха в промышленных городах, на заводе, животноводческом помещении.

6 Назовите классы опасности и вещества, входящие в каждый класс.

### **Содержание отчета**

Цель работы, задание, значение вычисленного коэффициента загрязнения воздуха, анализ полученных данных и их сравнение с предельно-допустимой концентрацией (ПДК), пути снижения загрязнения воздуха, значение ПДК загрязнителей воздуха.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие вещества относятся к загрязнителям воздуха?
- 2 Как определяется нормирующая функция  $F(j)$ .
- 3 Как определяется приведенное значение числа загрязнителей  $m_p$ ?
- 4 Численные значения относительной функции, полученные по формуле Лапласа.
- 5 Назовите число классов опасности, и какие вещества относятся к каждому классу (ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу).
- 6 Что такое ПДК? Назовите значение ПДК основных веществ (ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны).

### **Методика определения коэффициента загрязнения воздуха атмосферы**

С целью выявления степени вреда, который наносит хозяйственная деятельность человека окружающей среде, необходимо пронормировать веса экологических объектов.

Основа для нормирования весов экологических объектов – их ранжирование. Принцип ранжирования – хозяйственная деятельность человека. Присвоив экологическим объектам номера, получим следующую ранжированную последовательность: человек ( $i_1$ , или  $i = 1$ ); домашние животные и культурные растения ( $i_2$ , или  $i = 2$ ); промышленные животные и дикорастущие растения ( $i_3$ , или  $i = 3$ ); доминирующие и массовые виды компонентов биоценоза ( $i_4$ , или  $i = 4$ ); малочисленные виды растений и животных, нейтральные в отношении хозяйственной деятельности человека ( $i_5$ , или  $i = 5$ ).  $i$  – номер экологического объекта.

В задачу входит «взвесить» экологические объекты по признаку значимости их для хозяйственной деятельности человека.

$$\varphi(i) = \frac{i}{a^{i-1}}, \quad \varphi(i) = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad i \geq 2. \quad (1)$$

Из сопоставления ранжированной последовательности и формулы (1) получим следующие значения весовой функции в зависимости от номера объекта в экологической последовательности, табл. 1.

$i = 1, \quad \varphi(i_1) = 2$  – по определению (особая точка);

$i = 2, \quad \varphi(i_2) = \frac{2}{2^1} = 1$ ;

$$i = 3, \quad \varphi(i_3) = \frac{3}{2^2} = 0,75;$$

$$i = 4, \quad \varphi(i_4) = \frac{4}{2^3} = 0,50;$$

$$i = 5, \quad \varphi(i_5) = \frac{5}{2^4} = 0,31.$$

## 1 Значение весов для основных экологических объектов

Код	Экологические объекты	Вес объекта в ранжированной последовательности $\varphi(i)$
$i_1$	Человек	2,0
$i_2$	Домашние животные и культурные растения	1,0
$i_3$	Промысловые животные и дикорастущие растения, используемые в хозяйственной деятельности человека	0,75
$i_4$	Массовые виды компонентов биоценоза, неиспользуемые в хозяйственной деятельности человека	0,50
$i_5$	Малочисленные виды компонентов биоценоза, нейтральные в отношении хозяйственной деятельности человека	0,31

Для качественной оценки степени загрязнения среды обитания необходимо найти критерий нормализации среды обитания. Руководствуясь им, можно выбрать технико-биологические средства защиты окружающей среды.

Для единичного объекта, очевидно, будет справедливо соотношение

$$\gamma_{\text{пр}} = \gamma_i \varphi(i),$$

где  $\gamma_i$  – оценка уровня токсичности (вредности);  $\varphi(i)$  – функция, нормирующая вес данного объекта в экосистеме;  $\gamma_{\text{пр}}$  – приведенная оценка токсичности данного объекта с учетом места, занимаемого им в экосистеме.

Характеристику всей системы  $q$  можно получить, если просуммировать элементарные состояния, т.е.

$$q = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \varphi(i),$$

где  $n$  – число экологических объектов.

Теоретически можно представить некоторое предельное состояние  $q_{\max}$  системы, когда величина  $\gamma_i$  достигает для всех экологических объектов максимально возможного уровня, т.е.

$$q_{\max} = \gamma_{\max} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i), \quad (2)$$

где  $q_{\max}$  – предельное состояние системы, когда величины  $\gamma_i$  достигают для всех экологических объектов максимально возможного уровня.

Критерий нормализации среды обитания  $B$

$$B = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \varphi(i)}{\gamma_{\max} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i)}. \quad (3)$$

Процедура определения критерия нормализации  $B$  – сопоставление конкретно сложившейся экологической ситуации с ГЭТ. В результате сопоставления находится текущее значение  $\gamma_i$  по каждому экологическому объекту. Значения  $\gamma_{\max}$  также определяется по ГЭТ (максимальные оценки).

Формула (3) и ГЭТ образуют алгоритм, позволяющий формализовать с помощью компьютера процесс определения критерия нормализации среды обитания.

Значение  $q_{\max}$  можно получить, просуммировав последнюю строку расчетной матрицы

$$q_{\max} = \gamma_{\max} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i) = 5 \cdot (2 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31) = 22,8.$$

Из формулы (3) следует, что максимальное значение нормализации равно единице, т.е.  $B_{\max} = 1$ . Такое состояние возникает тогда, когда конкретно сложившаяся экологическая ситуация соответствует пятой позиции по всем экологическим объектам. В этом случае  $\gamma_i = \gamma_{\max}$  и все выражение (3) вырождается в единицу. Минимальное значение коэффициента нормализации будет иметь место, когда все оценки в первой строке базисной матрицы будут равны нулю (санаторные условия для человека и условия заповедника для остальных экологических объектов). Тогда  $B_{\min} = 0$ .

**Коэффициент загрязнения окружающей среды  $G(j)$**  может быть представлен как совокупность загрязнений от всех потенциально возможных загрязнителей  $S$ , отнесенная к приведенному числу загрязнителей  $m_n$

$$G(j) = \frac{S}{m_n}. \quad (4)$$

Под предельной концентрацией загрязнения понимают отношение концентрации загрязнителя  $N$ , которое фактически сложилось в данной экологическом регионе, к физиологически допустимой концентрации

## 2 Генеральная экологическая таблица (ГЭТ)

позиции соответствующей бал-	Состояние среды обитания (поз. Р)	Оценка вредности среды обитания для экологических объектов				
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$
1	Безвредная среда обитания, загрязнители воздуха, воды и почвы не накапливаются	2,0	1,0	0,75	0,5	0,31
2	Нормальная среда обитания, но загрязнители воздуха, воды и почвы постепенно накапливаются	4,0	2,0	1,50	1,0	0,62
3	Обнаруживаются случаи обратимых морфофизиологических нарушений, не связанных с изменением генетической структуры популяции	6,0	3,0	2,25	1,5	0,93
4	Обнаруживаются случаи обратимых морфофизиологических нарушений с изменением генетической структуры популяции	8,0	4,0	3,00	2,0	1,24
5	Предельно вредная среда обитания	10,0	5,0	3,75	2,5	1,55

$$0 \leq B \leq 1.$$

$\Phi$  для нормального существования биосферы и ее элементов (экологических объектов)

$$\rho = N/\Phi, \quad (5)$$

где  $N$  – фактическое количество загрязнителя;  $\Phi$  – физиологическая норма.

Если в конкретной среде обитания появляется не один, а несколько загрязнителей, то их совокупное действие, т.е. величина  $S$ , будет равна

$$S = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{N}{\Phi} F(j), \quad (6)$$

где  $F(j)$  – некоторая функция, обозначающая в формальном отношении нормирование весов загрязнителей в ранжированной последовательности из  $j$  загрязнителей.

В физическом смысле функция  $F(j)$  характеризует относительную токсичность (вредность) загрязнителя.

### 3 Физиологические нормы концентрации вредных веществ в атмосфере населенных пунктов

Вещества	Предельно допустимые концентрации, $\Phi$ , мг/м <sup>3</sup>	
	максимальная разовая	среднесуточная
Двуокись азота	0,085	0,085
Бензин сланцевый	0,05	0,05
Бутан	200	–
Карбофос	0,015	–
Ксилол	0,2	0,2
Метанол	1	0,5
Соединения свинца	10	6
Сероводород	10	5

$$F(j) = \frac{j}{2^{j-1}}, \quad (7)$$

где  $j$  – номер загрязнителя в ранжированной последовательности из  $m$  загрязнителей.

Нормирующая функция  $F(j)$  определяется из опросов экспертов или методами математического моделирования.

Приведенные значения числа загрязнителей  $m_p$

$$m_p = \sum_{j=1}^{j=m} F(j). \quad (8)$$

Коэффициент загрязнения воздуха пылегазовыми загрязнителями определяется по выражению

$$G_{n-r}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{n-r}}{\Phi_{n-r}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)}. \quad (9)$$

Коэффициент загрязнения воды жидкими загрязнителями определяется по формуле

$$G_{\text{ж}}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{\text{ж}}}{\Phi_{\text{ж}}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)}. \quad (10)$$

Формула (7) дает нижнее значение функции  $F(j)$ . Верхние значения той же функции могут быть получены на основе формулы Лапласа в следующем виде:  $F(j_1) = 0,992$ ;  $F(j_2) = 0,984$ ;  $F(j_3) = 0,96$ ;  $F(j_4) = 0,884$ ;  $F(j_5) = 0,626$ ;  $F(j_6) = 0,415$  и т.д.

Верхние и нижние значения функции образуют область существования относительной токсичности (табл. 4).

#### 4 Ранжированная последовательность относительной степени токсичности загрязнителей

Номер ранжированной последовательности	Загрязнители	Относительная степень токсичности
1	Пылегазовые и жидкие загрязнители, склонные к синергизму и не разлагающиеся естественным путем	0,996
2	Пылегазовые и жидкие загрязнители, не склонные к синергизму и не разлагающиеся естественным путем	0,992
3	Пылегазовые и жидкие загрязнители, склонные к синергизму и способные самопроизвольно разлагаться под действием естественно-биологических процессов	0,855
4	Одиночный пылегазовый и жидкий загрязнитель с высокой степенью токсичности, не разлагающийся естественным образом (стойкий загрязнитель)	0,692
5	Одиночный пылегазовый и жидкий загрязнитель с высокой степенью токсичности, разлагающийся естественным образом (нестойкий загрязнитель)	0,468
6	Пылегазовые и жидкие загрязнители, взаимно нейтрализующиеся при смешении	0,301

Если загрязнители рассматривать в виде некоторого  $m$ -мерного пространства, координаты которого отображаются соответствующими коэффициентами загрязнения, то комплексный коэффициент выразится в виде геометрической суммы загрязнителей, функционирующих в биосфере

$$G_{об} = \sqrt{G_{п-г}^2(j) + G_{ж}^2(j) + \dots + G_m^2(j)}, \quad (11)$$

где  $G_{об}$  – комплексный коэффициент загрязнения;  $G_m(j)$  – коэффициент загрязнения при потенциально возможном загрязнителе;  $m$  – число загрязнителей.

В соответствии с формулами (9, 10) формируются основные (базисные) оценки степени загрязнения среды обитания (табл. 5) и аттестационная шкала по оценке степени загрязнения (табл. 6).

5 Основные (базисные) оценки степени загрязнения среды обитания по значимости коэффициента загрязнения (первый вариант оценивания)

Значение коэффициента загрязнения	Словесная оценка среды обитания
$G_{п-г}(j) < 1$ ; $G_{ж}(j) < 1$	Вполне здоровая (условия санатория или заповедника)
$G_{п-г}(j) = 1$ ; $G_{ж}(j) = 1$	Нормальная
$G_{п-г}(j) > 1$ ; $G_{ж}(j) > 1$	Загрязненная

6 Оценка степени загрязнения среды обитания при значениях коэффициента загрязнения  $G > 1$

Коэффициент загрязнения среды обитания пылегазовыми и жидкими загрязнителями $G(j)$	Вербальная (словесная) оценка степени загрязнения среды обитания
До 1,0	Безвредная
1 ... 1,99	Малая
2 ... 2,99	Существенная
3 ... 3,99	Интенсивная
4 ... 5,0	Весьма интенсивная
Более 5,0	Катастрофическая

**Пример.** Определить коэффициент загрязнения воздуха атмосферы для экологического района, в котором расположены предприятия химической промышленности, выбрасывающие в воздух атмосферы пылегазовые отходы, содержащие двуокись азота (плотность загрязнения  $N = 0,128$  мг/м<sup>3</sup>), ацетальдегид ( $N = 0,021$  мг/м<sup>3</sup>), бутифос ( $N = 0,033$  мг/м<sup>3</sup>), диметиламин ( $N = 0,09$  мг/м<sup>3</sup>) и изопропиловый спирт ( $N = 0,72$  мг/м<sup>3</sup>).

Группа экспертов – экологи, гигиенисты, инженеры-химики – построила ранжированную последовательность упомянутых веществ в порядке вреда, который эти вещества могут причинить экологическим объектам; по справочным данным выяснены физиологические нормы загрязнения. Исходные и расчетные данные сведены в табл. 7. Сумма  $\sum_{j=1}^{j=m} F(j)$ , входящая в знаменатель формул (9) и (10), есть

не что иное, как итог по графе 4, т.е.  $\sum_{j=1}^{m-1} F(j) = 2,75$ . Таким образом, имеются все необходимые данные

для определения коэффициента загрязнения среды пылегазовыми загрязнителями.

По исходным данным определяем коэффициент загрязнения воздуха по формуле

$$G_{n-r}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{n-r}}{\Phi_{n-r}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)} =$$

$$= \frac{\left(\frac{0,033}{0,010} \cdot 1\right) + \left(\frac{0,090}{0,050} \cdot 0,72\right) + \left(\frac{0,128}{0,085} \cdot 0,53\right) + \left(\frac{0,021}{0,010} \cdot 0,29\right) + \left(\frac{0,720}{0,050} \cdot 0,21\right)}{2,75} =$$

$$= \frac{(3,3 \cdot 1) + (1,8 \cdot 0,72) + (1,51 \cdot 0,53) + (2,1 \cdot 0,29) + (1,2 \cdot 0,21)}{2,75} = \frac{6,26}{2,75} = 2,28.$$

Сопоставляя значения коэффициента загрязнения ( $G_{п-г}(j) = 2,28$ ) с табл. 5, убеждаемся в существенном загрязнении среды обитания, в необходимости немедленного оздоровления ее в данном регионе. Значения коэффициента загрязнения ( $G_{п-г}(j) = 2,28$ ), а также семантическая оценка степени загрязнения внесены в табл. 7.

Литература [1, 2, 3, 4, 5].

## Лабораторная работа № 2

### Определение степени загрязнения воды сточными водами

*Цель работы:* изучить методику определения показателей загрязнения воды сточными водами.

*Оборудование рабочего места и инструмент:* методика определения показателей загрязнения вод сточными водами, линейка, микрокалькулятор, пишущий инструмент, бумага.

#### Задание

- 1 Изучить методику определения показателей степени загрязнения воды сточными водами.
- 2 Определить коэффициент загрязнения воды сточными водами.
- 3 Произвести вербальную (словесную) оценку степени загрязнения воды.
- 4 Определить минимальное число загрязнителей воды и их количество, при котором не происходит ухудшение качества воды.
- 5 Изучить предельно-допустимые концентрации загрязнителей воды в прудах и реках.

#### Методические указания

- 1 По изученной методике (см. лабораторная работа № 1) определить коэффициент загрязнения воды сточными водами, используя табл. 2П.
- 2 Провести анализ полученных данных и сделать вербальную (словесную) оценку степени загрязнения воды.
- 3 Наметить пути снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.
- 4 Определить минимальное число загрязнителей воды и их количество, при котором вода не теряет своих качеств.
- 5 Изучить предельно – допустимые концентрации загрязнителей воды.
- 6 Назовите классы опасности и вещества, входящие в каждый класс.

#### Содержание отчета

Цель работы, задание, значение вычисленного коэффициента загрязнения воды, анализ полученных данных и их сравнение с ПДК, пути снижения загрязнения воды, значение ПДК загрязнителей воды.

### Контрольные вопросы

- 1 Какие вещества относятся к загрязнителям воды и их класс?
- 2 Как определяется нормирующая функция  $F(j)$  для воды.
- 3 Как определяется приведенное значение числа загрязнителей воды  $m_p$ ?
- 4 Что такое ПДК? Назовите значение ПДК основных загрязнителей питьевой и технической воды.

Методика определения коэффициента загрязнения воды

жидкими загрязнителями

Коэффициент загрязнения воды жидкими загрязнителями определяется по формуле

$$G_{m(j)} = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_m}{\Phi_m} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)},$$

где  $N_m$  – фактическое количество загрязнителя, мг/л;  $\Phi_m$  – физиологическая норма, мг/л;  $F(j)$  – некоторая функция, обозначающая в формальном отношении нормирование весов загрязнителей в ранжированной последовательности из  $j$  загрязнителей.

В физическом смысле функция  $F(j)$  характеризует относительную токсичность (вредность) загрязнителя

**Пример.** Определить коэффициент загрязнения воды сточными водами для экологического региона со следующей легендой: в районе расположены нефтеочистительные заводы, а также предприятия, обрабатывающие кожу, изготовляющие бумагу и пластмассовые изделия. Сточные воды сбрасываются частично в городскую канализацию (примерно 20 %), а оставшаяся часть направляется в реку без существенной очистки; результаты наблюдений показали наличие в воде следующих загрязнителей: углеводороды – 16 мг/л, детергенты – 20 мг/л, фенол – 15 мг/л, коагулированная смола – 11,2 мг/л, фтористые соединения – 0,8 мг/л; не удалось опросить экспертов о степени вреда, который эти вещества могут нанести экологическим объектам (рыбе в реке, людям и животным, пользующимся водой для питья).

Поэтому ранжирование вредности веществ произведено работниками санитарной службы, а значения весов (в соответствии с номером загрязнителя в ранжированной последовательности) определено по формуле Лапласа. Все исходные и расчетные данные представлены в табл. 8.

Определим коэффициенты загрязнения по формуле

$$G_{ж}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{ж}}{\Phi_{ж}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)} = \frac{6,76 + 2,62 + 5,12 + 1,64 + 1,14}{4,45} = \frac{17,28}{4,45} = 3,88.$$

Сопоставляя полученный результат  $G_{ж}(j) = 3,38$  с данными табл. 6 (см. методику лабораторной работы № 1), приходим к заключению, что загрязнение воды весьма интенсивно. Требуется срочные меры инженерного воздействия.

Литература [1, 2, 3, 4, 5].

### Лабораторная работа № 3

#### *Определение количества загрязняющих веществ от котельной*

*Цель работы:* освоить методику определения загрязнителей воздуха от котельных, работающих на твердом топливе.

*Оборудование рабочего места и инструмент:* методические указания определения загрязнителей воздуха полученных от котельных, работающих на твердом топливе, микрокалькулятор, пишущий инструмент, бумага.

#### **Задание**

- 1 Изучить методику определения количества загрязнителей, полученных от котельных, работающих на твердом топливе.
- 2 Определить валовый выброс твердых частиц в дымовых газах котельной.
- 3 Определить валовый выброс оксида углерода.
- 4 Определить валовый выброс оксида азота.
- 5 Определить валовый выброс оксидов серы.
- 6 Сравнить полученные данные загрязняющих веществ с ПДК этих веществ.
- 7 Наметить пути снижения загрязняющих веществ.

### *Методические указания*

1 По изученной методике и исходным данным, представленных в табл. 3П определить валовый выброс твердых частиц в дымовых газах котельной, работающей на каменном угле. Объем газозвдушной смеси, выходящий из трубы котельной равен

$$V = Q / t,$$

где  $V$  – объем газозвдушной смеси, м<sup>3</sup>/с;  $Q$  – производительность дымососа м<sup>3</sup>/ч;  $t$  – время, выраженное в секундах,  $t = 3600$  с.

Скорость газозвдушной смеси  $w$  определяется по формуле

$$w = 4V / (\pi d^2),$$

где  $d$  – диаметр трубы, м.

Валовой выброс твердых частиц в дымовых газах котельной определяется по формуле

$$M_{\text{тв}} = q_{\text{т}} m f (1 - \eta_m / 100),$$

где  $q_{\text{т}}$  – зольность топлива, %;  $m$  – количество израсходованного топлива за год, т;  $f$  – безразмерный коэффициент;  $\eta_m$  – эффективность золоуловителей, %.

**Максимальный разовый выброс твердых частиц в единицу времени** определяется по формуле

$$G_{\text{мс}} = j_m m' f (1 - \eta_m / 100) 10^6 / (n \cdot 24 \cdot 3600),$$

где  $m'$  – расход топлива за самый холодный месяц года, т;  $n$  – количество дней в самом холодном месяце этого года

$$C' = 1000 G_{\text{мс}} / V,$$

где  $C'$  – удельный выброс твердых частиц, кг/м<sup>3</sup>.

2 Валовый выброс оксида углерода определяется по формуле

$$M_{\text{CO}} = C_{\text{CO}} m (1 - q_1 / 100) \cdot 10^{-3},$$

где  $M_{\text{CO}}$  – валовый выброс оксида углерода, т/год;  $C_{\text{CO}}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т;  $q_1$  – потери теплоты, вследствие механической неполноты сгорания, %

$$C_{\text{CO}} = q_2 R Q_i^r,$$

где  $g_2$  – потери теплоты, вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;  $R$  – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты в следствии химической неполноты сгорания топлива, кг/м·т;  $Q_i^2$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Максимально разовый выброс оксида углерода определяется по формуле

$$G_{CO} = C_{CO} m'(1 - q_1 / 100) \cdot 10^3 / (24nt),$$

где  $G_{CO}$  – разовый выброс оксида углерода, г/с.

Удельный выброс оксида углерода определяется по формуле

$$V'_{CO} = 1000 G_{CO} / V,$$

где  $V'_{CO}$  – удельный выброс оксида углерода, мг/м<sup>3</sup>.

3 Валовый выброс оксидов азота определяется по выражению

$$M_{NO_2} = mQ_i' k_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3},$$

где  $M_{NO_2}$  – количество выбросов оксида азота, т/год;  $k_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на один ГДж тепла, кг/ГДж;  $\beta$  – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате применения технических решений.

Удельный выброс  $NO_2$ , мг/м<sup>3</sup> определяется по формуле

$$V'_{NO_2} = G_{NO_2} \cdot 1000 / V.$$

Максимальный разовый выброс  $NO_2$

$$G_{NO_2} = \frac{m'Q_i' k_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^3}{n \cdot 24 \cdot 3600}, \text{ г/с.}$$

4 Количество выбросов оксидов серы определяется по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02mS_1' (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}),$$

где  $M_{SO_2}$  – количество выбросов оксидов серы, т/год;  $S_1'$  – содержание серы в топливе, %;  $S_1 = 0,2 \dots 0,4$ ;  $\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива;  $\eta''_{SO_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золеуловителе.

Максимально разовый выброс оксидов серы определяется по формуле

$$G_{SO_2} = 0,02m'S_1' (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}) \cdot 10^3 / 24nt,$$

где  $G_{SO_2}$  – максимально разовый выброс оксидов серы, г/с;  $S_1'$  – содержание серы в топливе, %;  $\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива;  $\eta''_{SO_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золеуловителе.

Удельный выброс оксидов серы определяется по формуле

$$V'_{SO_2} = 1000G_{SO_2} / V,$$

где  $V_{\text{SO}_2}$  – удельный выброс оксидов серы, мг/м<sup>3</sup>.

### **Содержание отчета**

Название работы, ее цель, значения вычисленных загрязнителей, анализ полученных данных и сравнение их с ПДК, пути снижения загрязняющих веществ от котельных, работающих на твердом топливе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Почему образуются загрязняющие вещества при работе котельных?
- 2 Назовите пути снижения загрязнителей котельных, работающих на твердом топливе?
- 3 Расположите загрязнители в порядке усиления их вредного воздействия на окружающую среду.
- 4 На кого и что воздействуют загрязнители от котельных?

### **Перечень данных к лабораторной работе № 3**

- 1 Вид топлива – уголь Кузбасского бассейна.
- 2 Расход топлива в год –  $m$ , т/год;
- 3 Марка котла – КЕ-2,5.
- 4 Производительность котла – 2,5 т/год.
- 5 Максимальный расход топлива, т/месяц.
- 6 Количество котлов – 2 шт.
- 7 Количество дымовых труб – 1 шт.
- 8 Высота трубы –  $H = 30$  м.
- 9 Диаметр трубы –  $D$ , м.
- 10 Производительность дымососа ВД-8 –  $Q = 6500$  м<sup>3</sup>/ч.
- 11 Время работы котельной в год – 175 – 190 дн.
- 12 Время работы котельной в сутки – 24 часа.
- 13 Зольность топлива  $q_t$ , %.
- 14 Безразмерный коэффициент –  $f = 0,0023$
- 15 Эффективность золоуловителей  $\eta = 0$ .
- 16 Количество дней в самом холодном месяце этого года  $n = 31$  день.
- 17 Потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания –  $q_1$ , %.
- 18 Потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива  $q_2$ , %.
- 19 Коэффициент, учитывающий долю потери теплоты, вследствие химической неполноты сгорания топлива –  $R$ .
- 20 Низшая теплота сгорания топлива –  $Q'_i = 22,93$  МДж/кг.
- 21 Параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на один ГДж тепла,  $k_{\text{NO}_2}$ , кг/ГДж.
- 22 Коэффициент, зависящий от снижения степени выбросов окислов азота в результате применения технических решений,  $\beta = 0$ .
- 23 Содержание оксидов серы, связываемых летучей золой топлива,  $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,1 \dots 0,18$ .
- 24 Доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе  $\eta''_{\text{SO}_2} = 0$ .
- 25 Содержание серы в топливе,  $S'_f = 0,2 \dots 0,4$ .

## Расчет характеристик стока воды

*Цель работы:* освоить методику определения характеристик стока воды.

*Оборудование рабочего места и инструмент:* методические указания определения количественных характеристик стока воды, микрокалькулятор, пишущий инструмент, бумага.

### Задание

- 1 Изучить методику определения количественных характеристик стока воды.
- 2 Определить средний многолетний годовой расход воды.
- 3 Определить средний многолетний слой стока.
- 4 Определить многолетний модуль стока.
- 5 Определить коэффициент стока.

### Методические указания

- 1 По изученной методике и исходным данным табл. 4П определить средний многолетний годовой расход воды реки  $Q$ , многолетний слой стока  $u$ , многолетний модуль стока  $M$  и коэффициент стока  $\alpha$ .
- 2 Провести анализ полученных данных
- 3 Дать определение многолетнего годового расхода воды, модуля стока и слоя стока воды реки и от чего они зависят.
- 4 Дать определение водосбора и бассейна реки.
- 5 Назовите составляющие водного баланса бассейна реки.

### Содержание отчета

Цель работы, задание, значение вычислительных количественных характеристик стока, анализ полученных данных, пути улучшения количественных показателей.

#### *Методика определения количественных характеристик стока воды реки*

Речной сток формируется в результате поступления в реки вод атмосферного происхождения; при этом часть атмосферных осадков стекает с реками в океан или бессточные озера, другая часть – испаряется, фильтруется.

Выделяют четыре основных вида питания рек: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное.

Главнейшая характеристика стока воды реки – это расход воды, т.е. объем воды, протекающий через поперечное сечение потока в единицу времени ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с). Для расчета средних суточных расходов воды в практике обычно используют графики связи уровней, измерения которых трудностей не представляет, и эпизодически измеренных расходов воды. По таким графикам расходы воды можно определить по данным об уровнях для любого дня вне зависимости от того, измерялся в этот день сам расход воды или нет.

Средний многолетний *годовой расход воды* определяют по формуле

$$Q = W / 31,5 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $W$  – объем стока воды, км<sup>3</sup>/год;  $31,5 \cdot 10^{-3}$  – перевод времени года в секунды.

Объем стока воды  $W$  – это объем воды, прошедший через данное поперечное сечение речного потока за год.

Слой стока – это количество воды, стекающая с водостока за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора

$$y = W \cdot 10^3 / F, \quad (2)$$

где  $y$  – слой стока, мм;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Модуль стока воды – это количество воды, стекающая с единицы площади водосбора в единицу времени и определяется по формуле

$$M = Q \cdot 10^3 / F, \quad (3)$$

где  $M$  – модуль стока воды, л/(с·км<sup>2</sup>);  $Q$  – любой расход воды (мгновенный, максимальный, средний за интервал времени  $\Delta t$ . Если  $\Delta t$  – год, то получим  $y = M \cdot 31,5$ .

Коэффициент стока – отношение величины (объема или слоя) стока к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков, обусловивших возникновение стока,  $x$

$$\alpha = y / x, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент стока.

Коэффициент стока безразмерная величина, изменяющая от 0 до 1 (для средних многолетних величин).

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое средний годовой сток воды и как он определяется.
- 2 Что такое средний многолетний расход воды реки, как он определяется и пути его изменения?
- 3 Что такое многолетний сток воды и как он определяется?
- 4 Что такое модуль стока и для чего его определить?
- 5 Что такое коэффициент стока и как он определяется?
- 6 Дать определение водосбора и бассейна реки.?
- 7 Назовите составляющие водного баланса реки и как он определяется?

Литература [6, 7].

### Приложение

#### III Загрязнители воздуха, мг/л

Вариант	Двуокись азота	Ацетальдегид	Бутифос	Диметиламин	Изопропиловый спирт	Сероводород
1	0,120	0,020	0,030	0,090	0,70	2,0
2	0,120	0,020	0,030	0,090	0,70	2,0
3	0,125	0,021	0,033	0,080	0,72	3,0
4	0,125	0,021	0,033	0,080	0,72	3,0
5	0,126	0,022	0,034	0,089	0,71	2,5
6	0,126	0,022	0,034	0,089	0,71	2,5
7	0,220	0,023	0,035	0,088	0,69	1,5
8	0,220	0,023	0,035	0,088	0,69	1,5
9	0,225	0,024	0,036	0,087	0,73	1,0
10	0,225	0,024	0,036	0,087	0,73	1,0

11	0,227	0,025	0,037	0,086	0,75	1,2
12	0,227	0,025	0,037	0,086	0,75	1,2
13	0,300	0,027	0,038	0,085	0,76	1,3
14	0,300	0,027	0,038	0,085	0,76	1,3
15	0,320	0,028	0,039	0,084	0,78	1,4
16	0,320	0,028	0,039	0,084	0,78	1,4
17	0,330	0,020	0,040	0,083	0,68	1,5
18	0,330	0,020	0,040	0,083	0,68	1,5
19	0,350	0,022	0,041	0,085	0,67	1,7
20	0,350	0,022	0,041	0,085	0,67	1,7
21	0,400	0,024	0,030	0,087	0,50	1,6
22	0,400	0,024	0,030	0,087	0,50	1,6

## 2II Загрязнители воды, мг/л

Вариант	Фенол	Фтористые соединения	Углеводороды	Коагулирующие смолы	Детергенты	Соединения свинца
1	15,0	0,70	16,0	10,0	19,0	10,0
2	15,0	0,70	16,0	10,0	19,0	10,0
3	14,0	0,69	17,0	10,2	18,0	9,0
4	14,0	0,69	17,0	10,2	18,0	9,0
5	13,5	0,68	16,5	10,3	20,0	8,0
6	13,5	0,68	16,5	10,3	20,0	8,0
7	14,5	0,67	17,1	10,4	21,0	8,5
8	14,5	0,67	17,1	10,4	21,0	8,5
9	16,0	0,65	16,4	10,5	17,0	7,5
10	16,0	0,65	16,4	10,5	17,0	7,5
11	15,1	0,64	16,0	10,6	16,0	6,0
12	15,1	0,64	16,0	10,6	16,0	6,0
13	15,2	0,71	15,8	10,7	15,0	6,5
14	15,2	0,71	15,8	10,7	15,0	6,5
15	14,3	0,70	15,7	9,0	14,0	6,7
16	14,3	0,70	15,7	9,0	14,0	6,7
17	14,2	0,73	15,6	8,0	13,0	6,6
18	14,2	0,73	15,6	8,0	13,0	6,6
19	14,1	0,74	15,2	9,5	16,5	7,0
20	14,1	0,74	15,2	9,5	16,5	7,0
21	15,3	0,75	15,0	8,5	17,5	9,5
22	15,3	0,75	15,0	8,5	17,5	9,5

### 3П Исходные данные крупнейших рек земного шара

	Река	Площадь бассейна тыс. км <sup>2</sup>	Длина, км	Средний годовой сток воды $W$ , км <sup>3</sup>	Осадки, мм, год
1	Амазонка	6915	6280	6930	842
2	Конго (Заир)	3820	4370	1414	342
3	Миссисипи	3220	5985	580	935
4	Ла-Плата (Уругвай)	3100	4700	725	732
5	Обь	2990	3650	395	425
6	Нил	2870	6670	731	375
7	Енисей	2580	3490	610	392
8	Лена	2490	4400	532	415
9	Нигер	2090	4160	270	380
10	Амур	1855	2820	355	503
11	Янцзы	1800	5520	995	532
12	Маккензи	1800	4240	350	420
13	Гонг	1730	3000	1230	370
14	Волга	1360	3350	239	657
15	Замбези	1330	2660	106	325
16	Св. Лаврентия	1290	3060	439	482
17	Нельсон	1070	2600	86	635
18	Оранжевая	1020	1860	15,3	525
19	Ориноко	1000	2740	914	395
20	Днеир	1130	1932	245	592
21	Дунай	1080	1875	253	623
22	Амазонка	6915	6280	7020	915
23	Конго	3820	4370	1520	413
24	Миссисипи	3220	5985	610	843
25	Ла-Плата	3100	4700	780	740

### 4П Варианты задания к

Показатели						
	1	2	3	4	5	6
Вид топлива	Уголь Кузбасс					
Расход топлива, $m$ , т/год	385	387	389	390	392	391
Производительность котла, т/год						
Максимальный расход топлива, $m$	60	66	62	61	63	65

Количество котлов, шт						
Высота трубы, $H$ , м						
Диаметр устья трубы, м	0,9	1,0 4	1,1 5	1,2	0,9	0,1
Производительность дымо- соса, $m^3/c$						
Время работы котельной в год, дн	175	176	177	178	179	180
Время работы котельной в сутки, час						
Зольность топлива, $q_t$ , %	10	10, 5	11	11, 5	11, 6	12
Безразмерный коэффици- ент, $f$						
Эффективность золоулови- теля, $\eta$						
Кол-во дней в самом хо- лодном месяце года, $n$ , дней						
Потери теплоты от механической неполноты сгорания, $q_1$ %	3	3,5	4	4,2	4,5	5
Потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива $q_2$ %	0,2	0,2 5	0,2 6	0,3	0,3 1	0,3 5
Низшая теплота сгорания топлива – $Q^r_i$ МДж/кг	21	21, 5	21, 6	21, 7	21, 8	21, 9
Параметр $k_{NO_2}$ кг/ГДж	0,1 5	0,1 6	0,1 7	0,1 8	0,1 9	0,2
Коэффициент $\beta$						
Коэффициент $\eta'_{SO_2}$	0,0 9	0,1	0,1 1	0,1 2	0,1 3	0,1 4
Коэффициент $R$ , кг/т·м	0,9	1	1,1	1,2	0,9 5	0,9 6
Содержание серы в топливе, $S^r$	0,2	0,2 1	0,2 2	0,2 3	0,2 4	0,2 5

### лабораторной работе № 3

Варианты									
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
кого бассейна									
394	393	395	397	400	402	404	406	403	405
2,5									
67	64	68	67	670	68	69	67	64	68
2									
30									
0,11	0,12	0,10 3	0,1	0,12	0,95	0,98	1,05	1,06	1,07
6500									

181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
24									
11,8	12	12,2	13	14	14,2	14,5	15	16	15,2
0,0023									
0									
31									
5,5	6	6,2	6,5	7	5,6	7,2	8	7,2	6,4
0,34	0,38	0,4	0,5	0,45	0,52	0,6	0,7	0,65	0,8
22	23	22,5	23	24	25	24,8	24,3	24,1	23,6
0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
0									
0,15	0,115	0,116	0,117	0,118	0,095	0,096	0,097	0,098	0,125
0,97	0,98	0,99	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,7
0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35

### Список литературы

- 1 Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Экология. Химические аспекты и проблемы: Учеб. пособие. Ч. I. Тамбов: Тамб. гос. пед. ин-т, 1994. 150 с.
- 2 ГОСТ 17.2.1.01-76. Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.
- 3 ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 4 ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 5 Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология: Учебник для геогр. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1991. 368 с.

## 7 Определение коэффициента загрязнения воздуха атмосферы

Но- мер загрязнителя, <i>m</i>	Исходные данные				Расчетные данные		Результаты	
	Загрязнители	Плотность загрязнения источника $N$ , мг/м <sup>3</sup>	Вес загрязнителя в ранжированной последовательности $F(j)$	Физиологическая норма $\Phi$ , мг/м <sup>3</sup>	Отношение $\rho = \frac{N}{\Phi}$	Произведение $\rho F(j)$	Коэффициент загрязнения, $G_{п-г}(j)$	Словесная оценка степени загрязнения
1	Бутифос	0,033	1,00	0,010	3,30	3,30	2,28	Существенное загрязнение среды обитания
2	Диметиламин	0,090	0,72	0,05	1,80	1,30		
3	Двуокись азота	0,128	0,53	0,085	1,51	0,80		
4		0,021	0,29	0,010	2,10	0,61		
5	Ацетальдегид	0,72	0,21	0,600	1,20	0,25		

Изопропиловый спирт							
---------------------	--	--	--	--	--	--	--

## 8 Определение коэффициента загрязнения воздуха атмосферы

Номер загрязнителя, <i>m</i>	Исходные данные				Расчетные данные		Результаты	
	Загрязнители	Плотность загрязнения источника $N$ , мг/м <sup>3</sup>	Вес загрязнителя в ранжированной последовательности $F(j)$	Физиологическая норма $\Phi$ , мг/м <sup>3</sup>	Отношение $\rho = \frac{N}{\Phi}$	Произведение $\rho F(j)$	Коэффициент загрязнения, $G_{п-г}(j)$	Словесная оценка степени загрязнения
1	Фенол	15	0,992	2,2	6,81	6,76	3,88	Весьма интенсивное загрязнение воды
2	Фтористые соединения	0,8	0,984	0,3	2,66	2,66		
3	Углеводороды	16	0,960	3,0	5,33	5,12		
4	Коагулированные	11,2	0,864	6,0	1,86	1,64		
5	Детергенты	20	0,626	11,0	1,82	1,14		