

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность технологических процессов и производств»

Методические указания по дисциплине  
"Промышленная экология", "Экология"

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2018

## Практическое занятие № 1

### Расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от одиночных стационарных источников загрязнения.

#### 1.1 Методика расчетов

Рассеивание в атмосфере выбрасываемых из дымовых труб и вентиляционных устройств загрязняющих веществ подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс их рассеивания существенное влияние оказывают следующие факторы: состояние атмосферы, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота и диаметр источника выбросов, расположение источников, рельеф местности.

Широко распространено мнение, что с увеличением размера города возрастает и концентрация различных ЗВ в его атмосфере, однако в действительности, если рассчитывать среднюю концентрацию загрязнений на всю территорию города, то в многофункциональных городах с населением более 100 тыс. человек она находится примерно на одном и том же уровне и с увеличением размеров города практически не увеличивается. Это объясняется тем, что одновременно с увеличением объемов выбросов, возрастающих пропорционально росту численности населения, расширяется и площадь городской застройки, которая и выравнивает средние концентрации загрязнения атмосферы.

Метеоусловия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание примесей в атмосфере. Наибольшее влияние оказывает режим ветра и температуры (температурная стратификация), осадки, туманы, солнечная радиация. Ветер может оказывать различное влияние на процесс рассеивания примесей в зависимости от типа источника и характеристики выбросов. Если отходящие газы перегреты относительно окружающего воздуха, то они обладают начальной высотой подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующих подъему факела и уносу примесей вверх. Этот подъем обуславливает уменьшение концентраций примесей у земли. Эта концентрация убывает и при очень сильных ветрах, однако это происходит за счет быстрого переноса примесей в горизонтальном направлении. В результате наибольшие концентрации примесей в приземном слое формируются при некоторой скорости, которую называют "*опасная*".

При низких или холодных источниках выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха наблюдается при слабых ветрах ( $w = 0-1$  м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое. Прямое влияние на загрязнение воздуха в городе оказывает направление ветра. Существенное увеличение концентрации примеси наблюдается тогда, когда преобладают ветры со стороны промышленных объектов.

Если температура окружающего воздуха понижается с высотой, нагретые струи воздуха поднимаются вверх (конвекция), а взамен их опускаются холодные. Такие условия называются *конвективными*.

Если вертикальный градиент температуры будет отрицательным (температура возрастает с высотой), то вертикально поднимающийся поток становится холоднее окружающих масс и его движение затухает. Такие условия называют-

ся *инверсионными*. Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и рассеивание примесей в атмосфере.

Для состояния атмосферы в городах наибольшую опасность представляет приземная инверсия в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация "застоя воздуха".

Расчеты рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере, высоты трубы ( $H$ ) и предельно допустимых выбросов (ПДВ) от одиночных стационарных источников загрязнения атмосферы (ИЗА) выполняются по ОНД-86. Они проводятся в нашем случае для ИЗА, расположенного в Ростовской области на ровной и слабопересеченной местности. При этом ИЗА имеет одну дымовую трубу высотой  $H$ , м, с диаметром устья  $D$ , м, скоростью выхода газо-воздушной смеси  $W_0$ , м/с, разницей температур выбросов и окружающего атмосферного воздуха  $\Delta T$ , °С, и массой ЗВ  $M$ , г/с (см. подраздел 1.2).

Последовательность расчетов следующая.

1. Определяют расход газо-воздушной смеси  $V$  м<sup>3</sup>/с, безразмерные параметры  $f$ ,  $v_m$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $d$  и значение опасной скорости ветра (при  $U_m$  достигается максимальная приземная концентрация ЗВ)  $v_m$  м/с, по формулам:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} W_0; \quad (1.1)$$

$$f = 1000 \frac{W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (1.2)$$

$$v_m = 0,653 \sqrt{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}; \quad (1.3)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100 \quad (1.4)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m < 2 \quad (1.5 \text{ а})$$

$$n = 1 \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m \geq 2 \quad (1.5 \text{ б})$$

$$d = 4,95 \cdot v_m (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m < 2 \quad (1.6 \text{ а})$$

$$d = 7\sqrt{v_m} ((1 + 0,28\sqrt[3]{f})) \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m \geq 2 \quad (1.6 \text{ б})$$

$$U_m = v_m \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m < 2 \quad (1.7 \text{ а})$$

$$U_m = v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m \geq 2 \quad (1.7 \text{ б})$$

2. Рассчитывают максимальную концентрацию ЗВ  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>), и расстояние  $X_m$  (м) от источника выбросов, на котором приземная концентрация  $c$  (мг/м<sup>3</sup>) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения  $C_m$ , определяется по формулам:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}; \quad (1.8)$$

$$X_m = \frac{5 - F}{4} d \cdot H; \quad (1.9)$$

где  $A$  - безразмерный коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (распределение температур воздуха по высоте, влияющее на его вертикальное перемещение), который равен для Ростовской области 200, а для других регионов РФ - см. п. 2.2 ОНД-86;  $M$  - масса выбросов ЗВ, г/с;  $F$  - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания выбросов (для газов  $F=1$ );  $\eta$  - безразмерный коэффициент, отражающий влияние рельефа местности (для ровной и слабопересеченной местности равен 1,0).

3. Вычисляют приземные концентрации ЗВ  $C_i$  (мг/м<sup>3</sup>), по оси факела выброса  $X_i$  (м), (на удалениях  $X_m/2$ ,  $3X_m$  и  $6X_m$ ) по формуле

$$C_i = C_m \cdot S_i; \quad (1.10)$$

где  $S_i$  - безразмерный коэффициент, определяемый по формулам:

$$S_i = 3(X_i / X_m)^4 - 8(X_i / X_m)^3 + 6(X_i / X_m)^2 \quad \text{при } X_i / X_m \leq 1 \quad (1.11 \text{ а})$$

$$S_i = \frac{1,13}{0,13(X_i / X_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < X_i / X_m \leq 8 \quad (1.11 \text{ б})$$

## 1.2. Задание на расчеты

По исходным данным табл. 1.1 рассчитать максимальную приземную концентрацию ЗВ, создаваемую ИЗА, найти её удаление от ИЗА -  $X_m$  и концентрации ЗВ по оси факела выбросов для точек, отстоящих от ИЗА на удалении  $X_m/2$ ,  $X_m$ ,  $3X_m$  и  $6X_m$ . По результатам расчетов построить требуемый профиль приземных концентраций, определить длину зоны загрязнения, превышающую среднесуточную ПДК. Рассмотреть и предложить инженерные решения по снижению приземных концентраций ЗВ, рассчитать требуемую для этого высоту трубы, эффективность предварительной очистки выбросов и величины ПДВ.

## 1.3. Методические указания по выполнению задания

Перед выполнением задания студент изучает основные закономерности рассеивания выбросов в атмосфере, методику расчета и свой вариант задания (подразделы 1.1 и 1.2 данного пособия). После расчетов по их результатам он строит профиль приземных концентраций ЗВ в соответствии со схемой рис. 1.1. Обозначения концентраций даются равномерно в мг/м<sup>3</sup>, а удаления от ИЗА - в м.

На графике концентраций по оси факела (параллельно оси X) обозначаются ПДК и 0,05 ПДК. По графикам определяется  $l_{пдк}$  - длина зоны загрязнения, превышающего среднесуточную ПДК (принимается круглосуточное функционирование данного ИЗА). При необходимости студент должен уметь экстраполировать расчетные данные (например, для нахождения  $l_{пдк}$  и  $l_{0,05пдк}$  путем совместного использования формул (1.10 и 1.11б или 1.10 и 1.11в) и принятия  $C_i = \text{ПДК}$  или  $C_i = 0,05\text{ПДК}$  соответственно при нахождении  $l_{пдк}$  и  $l_{0,05пдк}$ . Уровень 0,05 ПДК учитывается при оценке загрязнений от нескольких ИЗА и особенно при веществах, обладающих суммой вредного действия. При  $C_m < 0,05 \text{ ПДК}$  значение  $l_{0,05пдк}$  не определяется. Среднесуточные ПДК студент принимает 0,04 (NO<sub>2</sub>), 0,05 (SO<sub>2</sub>) и 3 (CO) мг/м<sup>3</sup>.

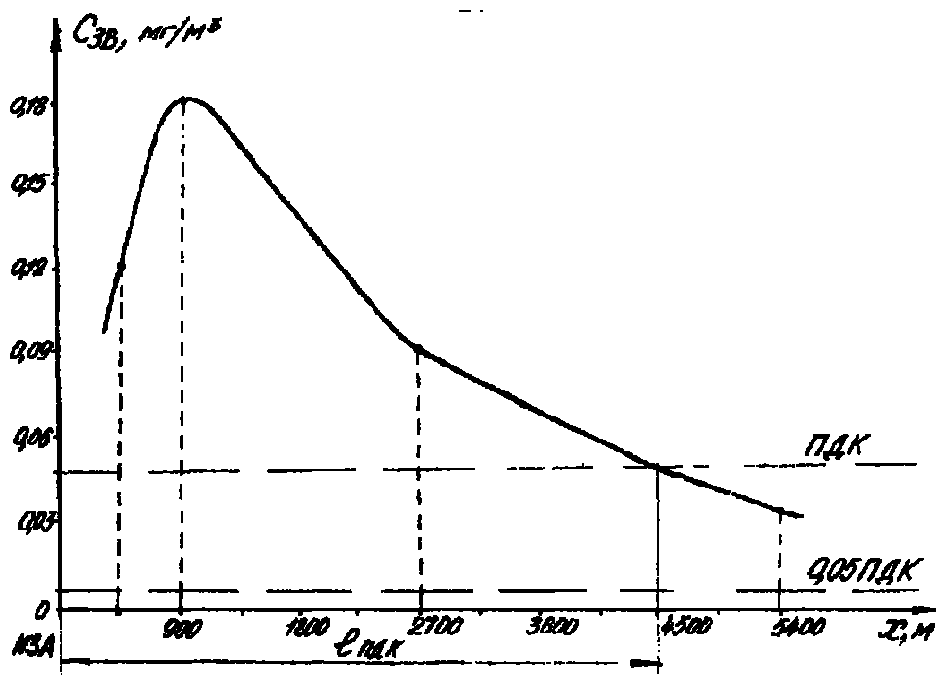


Рис. 1.1 Схема приземных концентраций ЗВ по оси факела выброса на расстояниях  $X_m/2$ ,  $X_m$ ,  $3X_m$  и  $6X_m$  от ИЗА.

#### 1.4. Инженерные решения по результатам расчетов

Перед выполнением данного подраздела студент должен изучить методы защиты атмосферного воздуха по настоящему учебному пособию, провести соответствующий анализ и расчеты для последующей оценки эффективности и выбора наиболее адекватных методов защиты. Им должны быть оценены следующие 4 подхода к защите от загрязнений.

1. Изменение технологических процессов (содержание  $CO$  в выбросах резко уменьшается при поступлении в зону горения большего количества чистого воздуха; выбросы  $SO_2$  можно снизить заменой или предварительной очисткой топлива; крупнотоннажные агрегаты уменьшают, сравнительно с малотоннажными, выбросы  $SO_2$  в 6...8 раз, а  $NO_2$  почти в 1,5 раза).

2. Применение высоких (51...500 м) труб. Требуемую для данного ИЗА высоту дымовой трубы  $H_{тр}$ , м, легко рассчитать по преобразованной формуле (1.9), введя в нее ограничивающий фактор ПДК данного ЗВ. В этом случае

$$H_{тр} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{ПДК \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}}; \quad (1.15)$$

3. Предварительная очистка выбросов средствами пылегазовой очистки (ПГО). Из соотношения требуемой концентрации и его реального содержания в приземном слое воздуха можно легко определить требуемую степень очистки, %, по формуле

$$\mathcal{O}_{тр} = \frac{C_i - ПДК}{C_i} \cdot 100 \quad (1.17)$$

а из уже известных  $V$  и  $M$  - производительность требуемых средств очистки.

4. Для предупреждения загрязнений больших, чем ПДК,  $mg/m^3$  предпри-

ятию устанавливаются предельно допустимые выбросы ЗВ, г/с, определяемые по формуле

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot (H_{mp})^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}; \quad (1.18)$$

где  $C_{\phi}$  - фоновая концентрация ЗВ в атмосфере региона, мг/м<sup>3</sup> ( $C_{\phi} = 0$  при отсутствии ее в исходных данных).

В окончательном инженерном решении по заданию даются рекомендации по обеспечению требуемой чистоты атмосферного воздуха, т.е. принятые решения по вышеуказанным подходам к защите от загрязнений атмосферы.

Таблица 1.1.

Исходные данные

Вариант	Масса выбросов, г/с			Высота трубы Н, м	Диаметр устья трубы Д, м	Скорость выхода газовой воздушной струи W, м/с	Разница температур выбросов и наружного воздуха ΔТ, С
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO				
1	2	3	4	5	6	7	8
1			280	25	1,1	2	175
2			300	27	1,2	1,5	180
3			350	29	1,3	2	185
4			370	31	1,4	2,5	190
5			500	33	1,5	3	195
6			800	35	1,6	4	200
7		32		37	1,7	5,5	225
8		34		40	1,8	6	230
9		38		42	1,9	6,5	235
10		40		43	2,0	7	240
11		42		45	1,9	7,5	245
12		44		47	1,8	8	250
13	30			49	1,7	9,5	220
14	28			45	1,6	9	210
15	27			42	1,5	8,5	200
16	26			37	1,4	7	195
17	25			29	1,3	6	190
18	24			31	1,4	4	185
19	23			37	1,6	3,5	180
20		45		45	1,5	3	175
21		46		43	1,7	2,5	190
22		47		36	1,8	2	180
23			420	39	1,9	7	195
24			530	43	2,0	3,5	210

## Практическое занятие №2

### Расчет токсичных выбросов в атмосферу при эксплуатации автомобилей.

#### 2.1. Методика расчета

Основными токсичными компонентами отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотранспорта являются оксиды углерода, азота и углеводороды. Оценку уровня загрязнения воздушной среды отработавшими газами следует производить на основе расчета. Методика расчета включает поэтапное определение эмиссии (выбросов) отработавших газов и концентрации загрязнения воздуха этими газами на различном удалении от дороги, а затем сравнение полученных данных с ПДК данных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов. При расчете выбросов учитываются различные типы автотранспортных средств и конкретные дорожные условия.

**Расчет выполняют в следующей последовательности:**

1. Определяют мощность эмиссии  $q_j$ , мг/м\*с, ЗВ отдельно для каждого компонента (окиси углерода, оксидов азота, углеводородов) на конкретном участке дороги по формуле

$$q_j = 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum_1^i G_{iБ} \cdot N_{iБ} \cdot K_B \right) + \left( \sum_1^i G_{iД} \cdot N_{iД} \cdot K_D \right) \right], \quad (2.1)$$

(где  $m$  - коэффициент, учитывающий дорожные и транспортные условия, принимается по графику рис. 2.1 в зависимости от средней скорости транспортного потока  $V$ , км/ч;  $G_{iБ}$  - средний эксплуатационный расход топлива для данного типа бензиновых автомобилей, принимается по табл. 4.1, л/км;  $G_{iД}$  - то же для дизельных автомобилей, л/км;  $N_{iБ}$  - интенсивность движения каждого выделенного типа бензиновых автомобилей, авт./ч;  $N_{iД}$  - то же дизельных автомобилей, авт./ч;  $K_B$  и  $K_D$  - коэффициенты, принимаемые для данного компонента загрязнения с бензиновыми и дизельными типами ДВС, соответственно, по табл. 2.2.

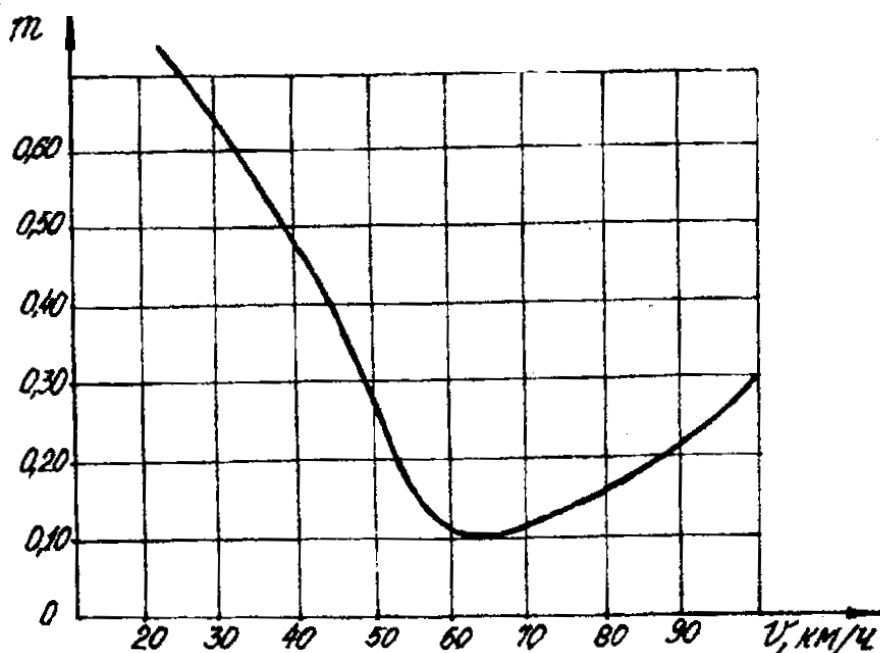


Рис 2.1. Зависимость поправочного коэффициента  $m$  от  $V$

Таблица 2.1

Средние эксплуатационные нормы расхода топлива на 1 км пути, л.

Тип автомобиля	Значение $G_i$ , л/км
1. Легковые автомобили	0,11
2. Малые грузовые автомобили бензиновые (до 5 тонн)	0,16
3. Грузовые автомобили бензиновые (от 5 тонн)	0,33
4. Грузовые автомобили дизельные	0,34
5. Автобусы бензиновые	0,37
6. Автобусы дизельные	0,28

Таблица 2.2

Значение коэффициентов  $K_b$  и  $K_d$ 

Вид выбросов	Тип ДВС	
	Бензиновый	Дизельный
Окись углерода	0,6	0,14
Углеводороды	0,12	0,037
Оксиды азота	0,06	0,015

2. Рассчитывают концентрации  $C_j$ , мг/м<sup>3</sup>, загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами отработавших газов на различном удалении от дороги, используя модель Гауссового распределения примесей в атмосфере на небольших высотах, по формуле

$$C_j = \frac{2q_j}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma \cdot v_B \cdot \sin \varphi}} + F_j, \quad (2.2)$$

где  $\sigma$  - стандартное отклонение Гауссового рассеивания в вертикальном направлении по табл. 2.3. м;  $v_B$  - скорость ветра, преобладающего в расчетный период, м/с;  $\varphi$  - угол, составляемый направлением ветра к трассе дороги (при угле менее 30°  $\sin \varphi$  принять равным 0,5);  $F_j$  - фоновая концентрация загрязнения воздуха, мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2.3

Значение стандартного Гауссовского отклонения от состояния погоды

Состояние погоды	Величина $\sigma$ при удалении от кромки проезжей части, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
Солнечная	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Дождливая	1	2	4	6	8	10	14	18	22

3. Результаты расчета по формуле (2.2) сопоставляют с ПДК, установленными для токсичных составляющих отработавших газов тепловых двигателей в воздухе населенных мест, которые приведены в табл. 2.4.



Таблица 2.4

## ПДК отработавших газов в воздухе населенных мест

Вид вещества	Класс опасности	Среднесуточные ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Окись углерода	4	3,0
Углеводороды	3	1,5
Оксиды азота	2	0,04

4. По полученным данным строятся графики загрязнения придорожной зоны токсичными компонентами отработавших газов. Пример графика приведен на рис.2.2.

5. При необходимости уменьшения ширины распространения ЗВ необходимо предусматривать защитные зеленые насаждения, экраны, валы и др. Снижение концентрации ЗВ за защитными сооружениями приведено в табл. 2.5.

Таблица 2.5

## Снижение концентрации ЗВ различными мероприятиями

Мероприятия	Снижение концентрации, %
1. Один ряд деревьев с кустарником высотой до 1,5 м. на полосе газона 3...4 м.	10
2. Два ряда деревьев без кустарника на газоне 8...10м.	15
3. Два ряда деревьев с кустарником на газоне 10...12 м.	30
4. Три ряда деревьев с двумя рядами кустарника на полосе газона 15...20 м.	40
5. Четыре ряда деревьев с кустарником высотой 1.5 м. на полосе газона 25...30 м.	50
6. Сплошные экраны, стены зданий высотой более 5 м. от уровня проезжей части	70
7. Земельные насыпи, откосы при проложении дороги в выемке при разности отметок 2...3 м.	50
8. То же, 3...5 м.	60
9. То же, более 5 м.	70

## 2.2. Задание на расчет

Определить концентрации загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода, оксидами азота и углеводородами в солнечную и дождливую погоду в расчетном поперечнике на расстояниях от кромки автомобильной дороги, указанных в табл. 2.3, и выбрать защитные мероприятия по снижению концентрации ЗВ в зоне жилой застройки, удаленной на расстояние 1, м, от дороги, до допустимого уровня, если скорость господствующего ветра составляет 3 м/с. Сведения о фоновых концентрациях отсутствуют.

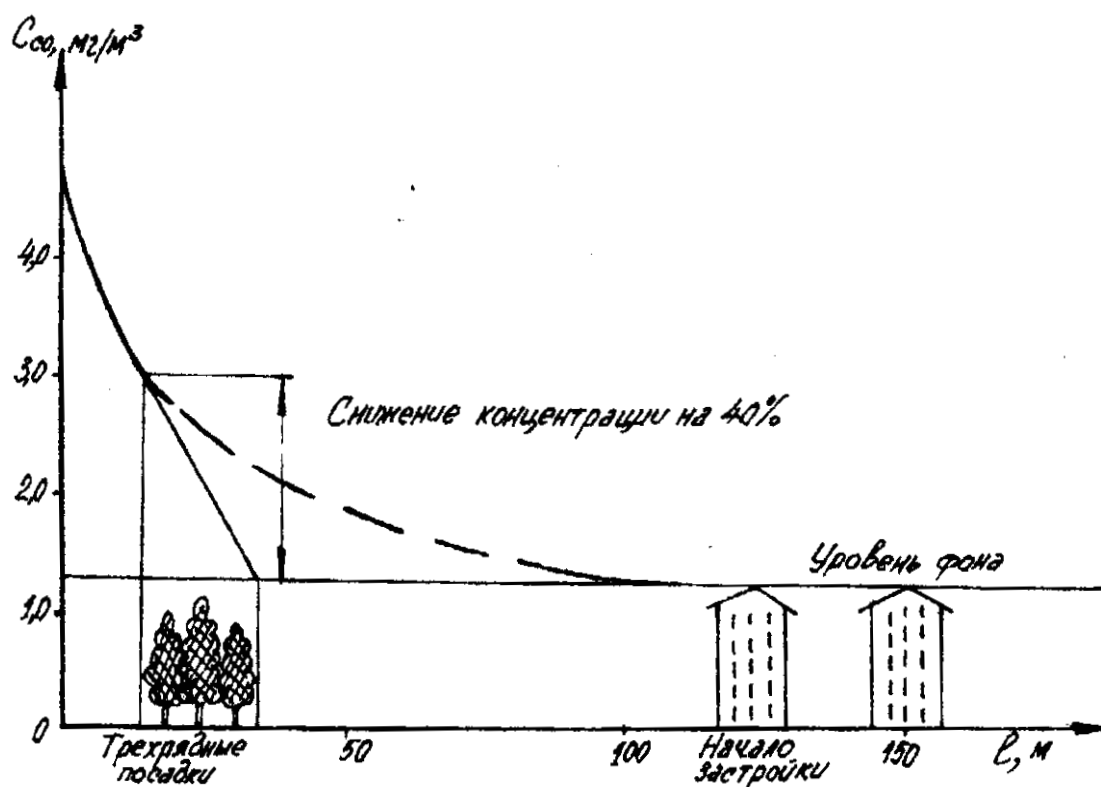


Рис. 2.4. График загрязнения придорожной зоны окисью углерода

Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.6, а именно: интенсивность движения составила  $N_a$ , авт./ч; шифры типов автомобилей (1...6) соответствуют принятым в табл. 2.1; средняя скорость потока движения  $V$ , км/ч; угол направления ветра к оси трассы  $\varphi$ , град.

Таблица 2.6

Исходные данные к заданию № 2.2

Вариант	$N_a$	Распределение автомобилей по типам, %						$v$	$\varphi$	$l$
		1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1000	40	5	25	20	5	5	20	20	50
2	2000	35	5	30	20	5	5	25	30	60
3	3000	45	10	15	15	5	10	30	35	80
4	4000	30	15	15	20	10	10	35	40	100
5	500	40	10	15	20	5	10	40	45	50
6	600	20	20	20	20	10	10	45	25	60
7	700	50	5	25	15	0	5	50	50	70
8	800	40	10	10	25	5	10	55	55	80
9	900	45	10	15	20	5	5	60	60	60
10	1000	25	25	25	20	0	5	60	65	50
11	1100	40	20	25	5	5	5	55	70	60
12	1200	40	5	25	20	5	5	50	75	70
13	1300	35	5	30	20	5	5	45	80	80
14	1400	45	10	15	15	5	10	40	85	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	1500	30	15	15	20	10	10	35	20	100
16	1000	40	10	15	20	5	10	30	25	80
17	200	20	20	20	20	10	10	70	80	40
18	30	50	5	25	10	5	5	80	75	50
19	40	40	10	10	25	5	10	60	70	50
20	500	45	10	15	20	5	10	55	65	40
21	60	25	25	20	20	5	5	45	60	60
22	700	40	5	25	20	5	5	50	55	60
23	800	35	5	30	20	5	5	40	50	70
24	900	45	15	10	15	5	10	30	45	80
25	100	20	20	20	20	10	10	30	90	40

### 2.3. Методические указания по выполнению задания и анализу результатов расчета

Перед началом выполнения задания студент должен внимательно изучить методику расчета токсичных выбросов при эксплуатации автомобилей, изложенную в подразделе 2.1.

При выполнении задания № 2.2 сначала он определяет мощность эмиссии каждого компонента ЗВ на конкретном участке дороги по формуле (2.1), а затем рассчитывает уровни концентрации каждого компонента ЗВ на различном удалении от дороги в поперечном направлении и в зоне жилой застройки по формуле (2.2). По полученным результатам студент строит графики загрязнения придорожной зоны токсичными компонентами отработавших газов и сравнивает их с величинами ПДК<sub>j</sub>. С помощью этих графиков он определяет концентрации ЗВ над кромкой дороги и в начале жилой застройки. В случае превышения ПДК<sub>j</sub> ему следует дать рекомендации по нормализации концентраций ЗВ в жилой зоне в соответствии с положениями, изложенными в подразделах 2.1 и 2.4.

### 2.4. Инженерные решения по результатам расчета

Инженерные решения по результатам расчета, направленные на снижение концентрации токсичных компонентов отработавших газов в зоне влияния дороги, следует осуществлять на основе технико-экономического сравнения следующих вариантов защитных мероприятий: 1) изменение параметров дороги, направленное на повышение средней скорости транспортного потока; 2) ограничение движения отдельных типов автомобилей полностью или в отдельные интервалы времени; 3) усиление контроля за движением автомобилей с неотрегулированными ДВС в целях минимизации токсичных выбросов; 4) применение неэтилированного бензина и каталитического дожигания выхлопных газов бензиновых ДВС; 5) устройство защитных сооружений.

Главным критерием при таком сравнении служит степень уменьшения концентрации ЗВ в расчетных точках при минимально возможной площади от-

вода земель под защитные сооружения и наименьших приведенных затратах на обустройство 1 км дороги, достигнутое без снижения ее пропускной способности. Наиболее эффективными, с позиций экологии, но требующими значительных капитальных вложений на реконструкцию дорожной сети, являются первый и пятый варианты защитных мероприятий. Второй и третий варианты относятся к организационным мероприятиям, не требуют больших капитальных затрат, но дают значительно меньший экологический эффект. Реализация второго варианта ведет к преднамеренному снижению интенсивности движения по сравнению с проектной. Внедрение четвертого варианта по всей территории РФ будет возможно лишь после внедрения новых стандартов на автомобильные бензины. Поэтому защитные мероприятия следует применять в комплексе и с учетом специфики местных условий.

В итоговом заключении студент приводит основные выводы по расчету токсичных выбросов в атмосферу автотранспортом и указывает защитные мероприятия, осуществить которые следует в первую очередь, и какой при этом будет эффект.

## Практическое занятие № 3

### Расчет и оценка транспортного шума в жилой зоне

#### 3.1. Методика расчета

Шум можно определить как всякого рода звуки, мешающие восприятию полезных сигналов или нарушающие тишину, а также звуки, оказывающие вредное или раздражающее действие на организм человека. Вредное влияние шума на организм человека проявляется в широком диапазоне: от субъективных раздражений до объективных патологических изменений в органах слуха, центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Шум возбуждает, нервную систему и лишает человека нормального сна и отдыха, снижает работоспособность и ухудшает здоровье. В селитебной зоне городов и других населенных пунктов доминирующими источниками внешнего шума являются транспортные потоки.

Ожидаемый уровень звука в расчетной точке, обусловленный шумом транспортных потоков, рассчитывают по следующей методике.

1. Пропускную способность, авт./ч, одной полосы движения транспортной магистрали определяют по формуле

$$N_{np} = \frac{1000 \cdot v}{8 + 0,18 \cdot v + \frac{v^2}{225 - 1,09 \cdot v}}, \quad (3.1)$$

где  $N_{np}$  – максимальное число приведенных транспортных средств (легковых автомобилей), которое может быть пропущено в течение 1 ч по одной полосе движения в одном направлении, шт.

2. Пропускную способность транспортной магистрали, авт./ч, определяют как

$$N = (N_{np} \cdot K_n) / (1 + 1,8 K), \quad (3.2)$$

где  $K_n$  – коэффициент многополосности ( $n$  – число полос движения):  $K_1 = 1$ ;  $K_2 = 1,9$ ;  $K_3 = 2,7$ ;  $K_4 = 3,5$ ;  $K_5 = 4,3$ ;  $K_6 = 5$ ;  $K_7 = 5,7$ ;  $K_8 = 6,4$ .

3. Расчетный эквивалентный уровень шума автотранспортного потока, дБА, находят по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = L_{A7,5}^3 + \sum \Delta_{Ai}, \quad (3.3)$$

где  $L_{A7,5}^3$  – эквивалентный уровень звука на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспорта на высоте 1,2 м от поверхности проезжей части для стандартных условий, дБА;

$\Delta_{Ai}$  – поправка на отличие от стандартных условий.

Расчетное значение шумовой характеристики автотранспортного потока при стандартных условиях представлено в табл. 3.1.

Значения поправок  $\Delta_{Ai}$  на отличие стандартных условий от заданных представлены в табл. 3.2-3.5.

Таблица 3.1

Шумовая характеристика автотранспортного потока при стандартных условиях

$N$ , шт/ч	$L_{A7,5}^9$ , дБА	$N$ , шт/ч	$L_{A7,5}^9$ , дБА	$N$ , шт/ч	$L_{A7,5}^9$ , дБА
30	57,6	400	68,7	3000	77,5
40	58,7	500	69,7	3500	78,1
50	59,7	600	70,5	4000	78,7
60	60,5	700	71,2	4500	79,2
70	61,2	800	71,7	5000	79,7
80	61,7	900	72,2	6000	80,5
90	62,2	1000	72,7	7000	81,2
100	62,7	1500	74,5	8000	81,7
150	64,5	2000	75,7	9000	82,2
200	65,7	2500	76,7	10000	82,7
300	67,5				

Таблица 3.2

Поправка на долю грузового и общественного транспорта в общем потоке автомобилей  $K$ , %

$K$ , %	0	5	10	15	20	25	30
$\Delta_{A1}$ , дБА	-6,5	-4,9	-3,7	-2,8	-2,1	-1,5	-0,9
$K$ , %	35	40	50	60	70	80	100
$\Delta_{A1}$ , дБА	-0,4	0	0,8	1,4	2	2,5	3,3

Таблица 3.3

Поправка на среднюю скорость потока  $v$ , км/ч

$v$ , км/ч	30	35	40	45	50	55	60	70	80	100
$\Delta_{A2}$ , дБА	-2,5	-1,2	0	1	1,9	2,8	3,5	4,9	6	8

Таблица 3.4

Поправка на продольный уклон магистрали  $m$ , ‰

$m$ , ‰	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta_{A3}$ , дБА	0,5	0,8	1,2	1,5	2,0	2,3	2,7	3,0

Таблица 3.5

Поправка на отношение ширины улицы к сумме высот застройки  $b_{s/h}$

$B/h$	1	1,5	2	3	4	5	6	8
$\Delta_{A4}$ , дБА	4	2,5	1,5	0	-1	-1,4	-1,7	-2

4. Эквивалентный уровень шума, дБА, в расчетной точке на улице определяют по формуле

$$L_{\text{экв.}R} = L_{\text{экв.}} - 10K_{\text{шп}} \lg \frac{R}{r_0}, \quad (3.4)$$

где  $K_{\text{шп}}$  – коэффициент, учитывающий снижение шума за счет характера поверхности земли (для грунта с травой  $K_{\text{шп}} = 1,1$ ; для снежной поверхности  $K_{\text{шп}} = 0,9$ );  $R$  – см. табл. 3.8;  $r_0$  – см. п.3 ( $r_0$  принимается равным 7,5 м).

5. Эквивалентный уровень шума в квартире с открытой форточкой, расположенной вблизи расчетной точки, принимают на 10 дБА ниже, чем на улице.

6. Вычисляют эквивалентный уровень шума в расчетной точке вне помещения  $L_{\text{тер}}$ , а затем внутри последнего  $L_{\text{пом}}$  с учетом снижения шума полосами зеленых насаждений по формуле;

$$L_{\text{тер(пом)}} = L_{\text{экв}R} - \Delta L_{\text{зел}}, \quad (3.5)$$

где  $\Delta L_{\text{зел}}$  – снижение шума  $i$ -рядной полосой зеленых насаждений (табл. 3.6), дБА.

Таблица 3.6

Снижение уровня звука, дБА, полосами зеленых насаждений

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука $\Delta L_{\text{зел}}$ , дБА
Однорядная при шахматной посадке деревьев внутри полосы	10...15	4...5
	16...20	5...8
Двухрядная при расстоянии между рядами 3...5 м	21...25	8...10
Двух- или трехрядная при расстоянии между рядами 3 м	26...30	10...12

*Примечание.* В зимнее время из-за отсутствия листьев снижение шума полосами зеленых насаждений следует уменьшить в 1,5 раза.

7. Оценивают требуемое снижение уровней шума в расчетной точке  $L_{\text{тр.тер.}}$  и  $L_{\text{тр.пом.}}$  на территории вне или внутри помещения по формуле

$$L_{\text{тр.тер.}} = L_{\text{тер.}} - L_{\text{доп.тер.}}, \quad (3.6)$$

$$L_{\text{тр.пом.}} = L_{\text{пом.}} - L_{\text{доп.пом.}}, \quad (3.7)$$

где  $L_{\text{тер.}}(L_{\text{пом.}})$  – рассчитанный уровень шума в расчетной точке вне и внутри помещения соответственно, дБА;  $L_{\text{доп.тер.}}(L_{\text{доп.пом.}})$  – допустимый (нормативный) уровень звука в дБА на территории или в помещениях рассматриваемого объекта.

В РФ согласно СНиП II-12-77 наибольший допускаемый уровень звука на территории, непосредственно прилегающей к жилой застройке, – 45 дБА; в жилых помещениях – 30 дБА.

8. В том случае, если уровень шума в помещении превышает допустимое значение, следует выбрать по табл. 3.7 конструкцию окна с улучшенной звуко-

изолирующей способностью. В этом случае уровень шума  $L_{\text{пом}}$  в помещении, защищаемого от шума, определяют по формуле

$$L_{\text{пом}} = L_{\text{тер}} - \Delta L_{\text{ок}}, \quad (3.8)$$

где  $L_{\text{тер}}$  – эквивалентный уровень шума в расчетной точке территории вне помещения, дБА;  $\Delta L_{\text{ок}}$  – снижение уровня шума конструкцией окна (см. табл. 3.7), дБА.

Таблица 3.7

Снижение уровня шума конструкцией окна защищаемого от шума объекта

Конструкция окна	Толщина стекла, мм	Воздушный промежуток между стеклами, мм	Величина $\Delta L_{\text{ок}}$ , дБА	
			без уплотняющих прокладок	с уплотняющими прокладками
Окно с открытой форточкой	-	-	10	-
Одинарное окно	3	-	18	20
	6	-	21	23
Спаренное окно (ГОСТ 11214-65)	3 и 3	57	22	24
	6 и 3	57	26	28
	6 и 4	57	27	29
Раздельно-сближенное окно	3 и 3	90	24	26
	6 и 4	90	28	30

9. Сделать вывод о необходимости применения дополнительных шумозащитных мероприятий.

### 3.2. Задание на расчет

Рассчитать и оценить эквивалентный уровень шума на площадке перед домом и в комнатах первого этажа при окнах с открытой форточкой для летних и зимних условий по данным табл. 3.8. Шум создается потоком автомобильного транспорта. Автомобильная дорога находится на расстоянии  $R$  от расчетной точки. Вдоль дороги со стороны расчетной точки посажена  $i$ -рядная полоса зеленых насаждений. Скорость движения автотранспортного потока  $v$ , км/ч; количество грузового и общественного транспорта в потоке  $K$ , %; продольный уклон магистрали  $m$ , ‰; отношение ширины улицы к сумме высот застройки  $B/h$ . Пространство между расчетной точкой и автомагистралью имеет травяной покров летом и снежный – зимой.

Выбрать конструкцию окна жилого помещения, чтобы уровень звука в нем не превышал допустимого значения. Итоговые результаты расчета изобразить в виде гистограммы.



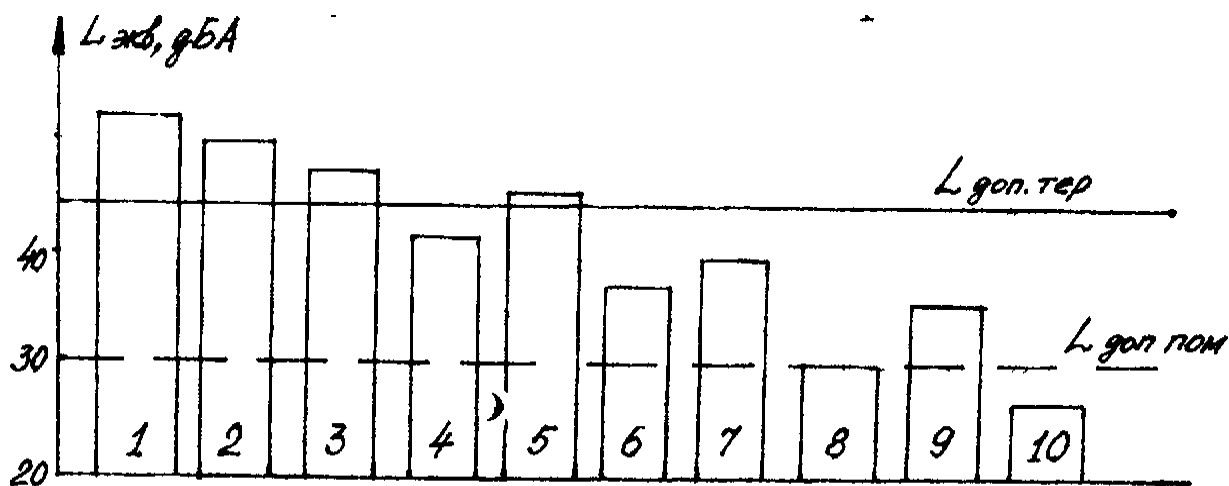


Рис. 3.1. Гистограмма результатов расчета по транспортному шуму:

1 и 2 – проектная и расчетная шумовая характеристика автомобильной дороги (при выполнении задания отобразить только расчетную);

3 и 4 – рассчитанные уровни звука в РТ вне и внутри помещения зимой;

5 и 6 – то же летом;

7 и 8 – ожидаемые (после проведения противозумных мероприятий) уровни звука в РТ вне и внутри помещения зимой;

9 и 10 – то же летом

Таблица 3.8

Исходные данные

№ вар.	$R, м$	$n$	$i$	$v, км/ч$	$K, \%$	$m, \%$	$B/h$
1	40	1	1	30	100	8	1
2	60	2	1	35	80	7	2
3	80	3	2	40	70	6	3
4	100	4	2	45	60	5	4
5	120	5	2	50	50	4	5
6	140	6	3	55	40	3	6
7	160	7	3	60	35	2	8
8	180	8	1	60	30	1	8
9	200	3	1	70	25	0	8
10	220	4	2	80	20	1	8
11	240	5	2	100	15	2	8
12	260	6	3	30	100	3	8
13	280	7	3	35	80	4	8
14	300	8	1	40	70	5	8
15	40	2	1	45	60	6	2
16	60	3	2	50	50	3	3
17	80	4	2	55	40	2	4
18	100	5	3	60	35	1	5
19	120	6	3	70	30	1	6
20	140	7	3	80	25	0	8

Окончание табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8
21	160	8	1	100	20	0	8
22	180	3	1	45	70	8	8
23	200	4	2	50	60	5	8
24	220	5	2	55	50	4	8
25	240	6	3	60	40	3	8

### 3.3. Инженерные решения по результатам расчета

Борьба с шумом ведется по четырем направлениям: 1) техническому – снижение шума в источнике его возникновения; 2) административно-организационному – снижение шума путем регламентации по месту, времени и качественному составу движения транспортных потоков; 3) градостроительному (архитектурно-планировочному) – снижение шума на пути его распространения в городской среде; 4) строительному (объемно-конструктивному) – снижение шума на объекте защиты путем увеличения звукоизолирующей способности наружных ограждений, изменению объемно-планировочных решений самого объекта и т.п.

Критерием выбора конкретного способа борьбы с шумом является минимум приведенных затрат на строительство и эксплуатацию защитного объекта, достигнутый без снижения пропускной способности дороги.

Для защиты от транспортного шума широко применяют экраны, размещаемые между источниками шума и защищаемыми от шума объектами. В качестве экранирующих сооружений используют специальные конструкции, а также земляные насыпи, откосы выемок, здания нежилого назначения, специальные шумозащитные здания и т.п. В общем случае между источниками шума и расчетной точкой могут находиться различные препятствия (экранирующие сооружения, жилые дома, зеленые насаждения), влияние которых последовательно учитывают, а затем суммируют,

Значительное влияние на снижение транспортного шума оказывают полосы зеленых насаждений. Правильно выполненная шумозащитная полоса состоит из деревьев, посаженных на таких расстояниях, чтобы их кроны были плотно сомкнуты, и из посадок кустов, которые полностью закрывают пространство под кронами деревьев.

## **Практическое занятие №4**

### **Оценка радиоактивного загрязнения окружающей среды**

#### **4.1 Методика расчета**

Одной из самых потенциально опасных видов энергии является энергия, вырабатываемая атомными электростанциями. Недооценка факторов опасности может привести к авариям с тяжелейшими последствиями, а ликвидация аварий на АЭС имеет очень продолжительный временной период. К сожалению и при безаварийной эксплуатации АЭС происходят значительные экологические изменения. Поэтому на всех этапах функционирования АЭС (проектирование, строительство, эксплуатация, консервация) должны быть сделаны точные оценки экологических проблем и указаны пути их минимизации.

Доза облучения от ядерного реактора зависит от времени и расстояния. Чем дальше человек живет от атомной электростанции, тем меньшую дозу он получает. Несмотря на это, наряду с АЭС, расположенными в отдаленных районах, имеются такие, которые находятся недалеко от населенных пунктов (Ростовская АЭС находится в 250 км. от Ростова-на-Дону). Каждый реактор выбрасывает в окружающую среду целый ряд радионуклидов с разными периодами полураспада. Большинство радионуклидов распадается быстро и поэтому имеет лишь местное значение. Однако некоторые из них живут достаточно долго и могут распространяться по всему земному шару, а определенная часть изотопов остается в окружающей среде практически бесконечно.

Чтобы избежать влияния возможных радиоактивных выбросов АЭС на людей при авариях, применены специальные меры по повышению надежности оборудования (дублирование систем безопасности и др.), а вокруг станции создается санитарно-защитная зона. При авариях, связанных с выбросом радиоактивных веществ, локализация последствий аварии и снижение уровня ионизирующего излучения обеспечиваются проведением комплекса мероприятий, включающих изоляцию источника излучения и радиоактивных выбросов путем возведения экранизирующих оболочек, снятие и вывоз загрязненного грунта, дезактивацию дорог, зданий и сооружений, проведение инженерных работ по предотвращению попадания радиоактивных веществ в реки и водоемы.

Прогнозирование радиационной обстановки проводится в целях выявления масштабов и характера радиоактивного заражения местности, определения возможных последствий его воздействия на людей, животных, разработки мер по исключению или уменьшению потерь.

Метод прогнозирования радиационной обстановки основан на том, что радиоактивное заражение местности возникает не мгновенно после радиоактивного выброса, а постепенно по мере продвижения радиоактивного облака по направлению ветра. След облака формируется, в зависимости от характеристик выброса и скорости ветра, за 2-5 и более часов. Следовательно, с момента выброса до начала радиоактивного заражения будет отрезок времени большей или

меньшей продолжительности, необходимый для организации мероприятий по защите.

**Исходными данными для оценки загрязнения являются:**

- координаты местоположения АЭС;
- тип реактора, его энергетическая мощность;
- время начала выбросов радиоактивных веществ в атмосферу;
- направление и скорость ветра;
- степень вертикальной устойчивости приземной атмосферы.

*При аварии на АЭС определяют показатели обстановки:*

- размеры (длина, ширина, площадь) зон радиоактивного загрязнения и их расположение на местности (рис.1);
- мощность дозы гамма-излучения в любой точке следа радиоактивных выбросов и в любой момент времени;
- доза внешнего облучения людей в любой точке следа выброса;
- время начала радиоактивного загрязнения местности;
- количество людей, оказавшихся в зонах радиоактивного загрязнения.

Оценка радиационной обстановки включает два этапа: выявление радиационной обстановки и фактическую оценку обстановки.

Выявить радиационную обстановку – значит определить и нанести на рабочую карту (схему) зоны радиоактивного заражения (загрязнения) или уровни радиации в отдельных точках местности.

Оценку фактической радиационной обстановки осуществляют в целях принятия необходимых мер защиты, обеспечивающих уменьшение радиоактивного облучения и определение наиболее целесообразных действий людей на зараженной местности.

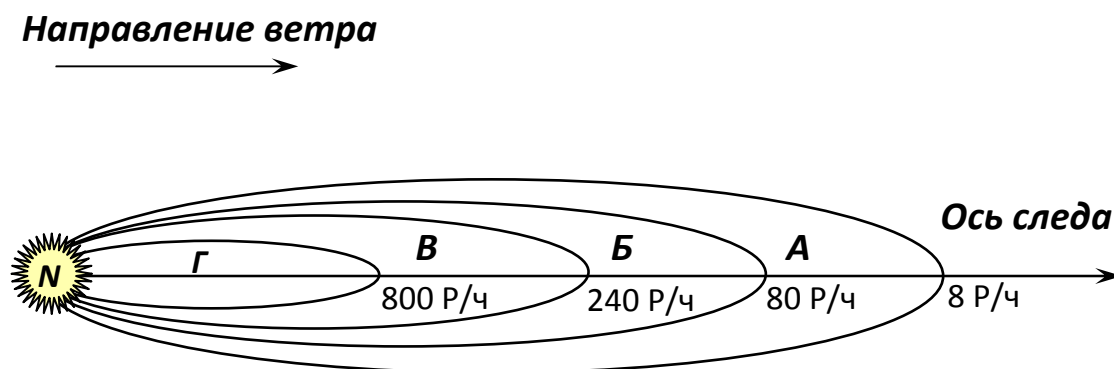


Рис. 4.1. Схема радиоактивного заражения местности в районе выброса радиоактивных веществ и по следу движения облака

Зона А – умеренного заражения. Дозы радиации до полного распада  $P_0$  на внешней границе зоны  $D_y = 40P$ , на внутренней границе  $D_y = 400P$ . Уровень радиации на внешней границе через 1 час после аварии  $P = 8P/ч$ . Площадь зоны А составляет 70 – 80 % площади всего следа.

Зона Б – сильного заражения. Дозы радиации на границах  $D_y = 400P$  –

1200Р. Уровень радиации на внешней границе  $P = 80$  Р/ч. На долю этой зоны приходится примерно 10% площади радиоактивного следа

Зона В – опасного заражения. Дозы радиации на внешней границе

$D_y = 1200$  Р, а на внутренней  $D_y = 4000$  Р. Уровень радиации на внешней границе  $P = 240$ Р/ч. Эта зона занимает примерно 8 – 10% площади следа облака.

Зона Г – чрезвычайно-опасного заражения. Дозы радиации на ее внешней границе  $D_y = 4000$  Р, а в середине зоны  $D_y = 10000$  Р, уровень радиации на внешней границе  $P = 800$  Р/ч.

Прогнозирование спада уровня радиации после выброса радиоактивных веществ базируется на использовании основного свойства радиоактивных элементов распадаться со временем, которое приводит к уменьшению количества радионуклидов на загрязненной местности и к снижению уровня радиации. Уровень радиации загрязненной местности уменьшается со временем по определенному закону.

Таблица 4.1

Коэффициенты пересчета уровней радиации на любое заданное время

Время (t), прошедшее после выбро- са	$\Pi = \frac{P_o}{P} = t^{1,2}$	Время(t), прошедшее после вы- броса	$\Pi = \frac{P_o}{P} = t^{1,2}$	Время(t), прошедшее после вы- броса	$\Pi = \frac{P_o}{P} = t^{1,2}$
1	2	3	4	5	6
0,25	0,19	6,50	9,45	23,0	43,06
0,5	0,43	7,0	10,33	24,0	45,31
0,75	0,71	7,50	11,22	1сутки	
1,00	1,00	8,00	12,13	30,0	59,23
1,25	1,31	8,50	13,04	36,0	73,72
1,50	1,63	9,00	13,96	42,0	88,69
1,75	1,96	9,50	14,90	48,0	104,10
2,00	2,30	10,00	15,85	2 суток	
2,25	2,65	11,00	17,77	60,0	136,1
2,50	3,00	12,00	19,72	72,0	169,3
2,75	3,37	13,00	21,71	3 суток	
3,00	3,74	14,00	23,73	84,0	203,7
3,25	4,11	15,00	25,73	96,0	239,2
3,50	4,50	16,00	27,86	4 суток	
3,75	4,88	17,00	29,95		
4,00	5,28	18,00	32,08		
4,500	6,08	19,00	34,24		
5,0	6,90	20,00	36,41		
5,50	7,73	21,00	38,61		
6,00	8,59	22,00	40,83		

Уровни радиации в ходе радиационной разведки измеряют, как правило, в различное время. Поэтому, для правильной оценки радиационной обстановки и нанесения ее на карту (схему) необходимо привести уровни радиации, измеренные в различных точках местности в разное время, к одному времени после взрыва. Это необходимо также для контроля над спадом уровней радиации. За

эталон принимают, как правило, уровень радиации на один час после взрыва ( $P_0$ ).

Пересчет уровней радиации на 1 час производят по формуле

$$P_0 = P_t \times t^{1,2}. \quad (4.1)$$

Для решения задачи используем таблицу 4.1, где приведены коэффициенты пересчета уровней радиации на любое значение времени

$$\Pi = t^{1,2} = \frac{P_0}{P_t}. \quad (4.2)$$

Здесь и далее  $P_0 = P_t$ , – уровню радиации на 1 ч. после радиоактивного выброса. Чтобы определить уровень радиации на 1 ч. после выброса, необходимо измеренный уровень радиации умножить на величину коэффициента "Π", соответствующего времени измерения.

Эта задача чаще всего решается для нанесения границ зон радиоактивного заражения на карту или схему.

## 4.2 Расчётная часть

**ПРИМЕР 1.** В 10 час. 15 мин. ( $t_2$ ) уровень радиации на участке местности составил  $P=25$  Р/ч. Определить уровень радиации на данном участке через 1 ч. после выброса радиоактивных веществ и зону, в которой находится данный участок, если выброс произошел в 8 ч. 45 мин ( $t_1$ ).

### Решение

1. Определяем время измерения уровня радиации с момента взрыва  
 $10,15 - 8,45 = 1$  час. 30 мин.
2. Определяем коэффициент пересчёта уровней радиации (табл. 4.1), строка в таблице, соответствующая времени 1,5 ч. после взрыва

$$\Pi = \frac{P_0}{P_{1,5}} = 1,5^{1,2} = 1,63.$$

3. Определяем уровень радиации на 1 час после взрыва  $P_0 = 25 \times 1,63 = 41$  Р/ч.

4. Определяем зону - зона А ( $8 \div 80$  Р/ч ) между центром (44 Р/ч) и внешней границей зоны (8 Р/ч).

**ПРИМЕР 2.** На объекте через 2 ч ( $t_1$ ) после взрыва уровень радиации составил  $P=100$  Р/ч. Определить ожидаемый уровень радиации на 10 ч ( $t_2$ ) после взрыва.

### Решение

1. По таблице 4.2 находим отношение  $\frac{P_0}{P_t}$  соответственно, для 2-х и 10 ч после взрыва.
- $$\frac{P_0}{P_2} = 2,3; \quad \frac{P_0}{P_{10}} = 15,85;$$

Таблица 4.2

Время, прошедшее после ядерного взрыва до второго измерения, в часах,  
минутах

Время между двумя измер.	Отношение уровня радиации во втором измерении к уровню радиации при первом измерении															
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Минуты																
15	-	-	-	-	-	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	1,00	1,10	1,30	2,00	3,00	6,00
30	-	-	-	0,50	0,55	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	2,00	2,30	3,00	4,00	6,00	12,00
45	1,00	1,05	1,10	1,20	1,25	1,30	1,45	1,50	2,10	2,30	3,00	3,45	4,30	6,00	9,00	18,00
Часы																
1,0	1,20	1,30	1,40	1,45	1,50	2,00	2,20	2,30	3,00	3,30	4,00	5,00	6,00	8,00	12,00	24,00
1,5	2,00	2,10	2,30	2,35	2,50	3,00	3,30	3,50	4,30	5,00	6,00	7,00	9,00	12,0	18,00	36,00
2,0	2,40	3,00	3,10	3,30	3,40	4,00	4,30	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	12,0	16,0	24,00	48,00
2,5	3,20	3,40	4,00	4,20	4,45	5,00	5,30	6,00	7,00	8,00	10,0	12,0	15,0	20,0	30,00	60,0
3,0	4,00	4,20	4,40	5,00	5,30	6,00	7,00	8,00	9,00	10,0	12,0	14,3	18,0	24,0	35,00	84,00
3,5	4,40	5,10	5,30	6,00	6,30	7,00	8,00	9,00	10,0	12,00	14,0	17,0	21,0	28,0	42,00	84,00
4,0	5,30	6,00	6,30	7,00	7,30	8,50	9,00	10,0	12,0	14,0	16,0	19,0	24,0	32,0	48,00	96,00
4,5	6,00	6,30	7,00	8,00	8,30	9,00	10,0	11,0	13,0	15,0	18,0	22,0	27,0	36,0	54,00	108,0
5,0	7,00	7,30	8,00	8,30	9,00	11,0	12,0	13,0	15,0	17,0	20,0	24,0	30,0	42,0	60,00	120,0
5,5	8,00	9,00	9,30	10,0	11,0	13,0	14,0	15,0	17,0	20,0	24,0	29,0	36,0	48,0	72,00	144,0
6,0	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	30,0	34,0	42,0	48,0	58,0	72,0	96,0	144,	288,0

2. Составляем пропорцию и находим  $P$ ,  $P_o = P_l$ ;  $P_o = P_l = P_t t^{1,2}$ ;  
 $P_o = P_2 \times 2,3 = 100 \times 2,3$   $P_o = P_{10} \times 15,85$

$$P_{10} = \frac{100 \cdot 2,3}{15,85} = 14,5 \text{ Р/ч.}$$

Решить задачу можно и в случае, когда время взрыва неизвестно. Для этого достаточно в данной точке произвести два измерения уровней радиации в разное время. В этом случае используется таблица 4.2, по которому по разности времени измерения и отношения уровней радиации второго измерения к первому, определяют время с момента взрыва до второго измерения и далее решают задачу с использованием таблицы 4.1.

ПРИМЕР 3. В 15.00 ч. ( $t_1$ ) на участке местности уровень радиации составил

$P_1 = 80$  Р/ч, а в 15.30 ч. ( $t_2$ ) –  $P_2 = 56$  Р/ч. Определить время радиоактивного выброса и зону, в которой находится рассматриваемый участок местности.

*Решение*

1. Определяем интервал времени между измерениями  $t_2 - t_1 = 15.30 - 15.00 = 30$  мин.

2. Определяем отношение уровней радиации  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{56}{80} = 0,7$  при втором и первом измерениях.

3. Определяем время выброса на пересечении вычисленных величин по

таблице 4.2. Время выброса отсчитываем до второго измерения, оно равно 2 ч. Выброс осуществлен в  $15.30 - 2.00 = 13$  час. 30 мин.

4. Определяем уровень радиации на 1 час после выброса по таблице 4.1

$$P_o = P_t \cdot t^{1,2} = 56 \times 2,3 = 128 \text{ Р/ч (или } 80 \times 1,63 = 128 \text{ Р/ч)}.$$

5. Определяем зону – зона Б (80 – 240 Р/ч) между внешней границей (80 Р/ч) и серединой (160 Р/ч).

### 4.3. Задание на расчет

Расчеты, связанные с оценкой радиационной обстановки, ведут аналитическим способом с помощью формул, таблиц, графиков, номограмм.

Варианты заданий для самостоятельного решения примеров 1- 3 представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Исходные данные

Варианты	№1			№2			№3			
	t <sub>1</sub> ; ч.	t <sub>2</sub> ; ч.	P; Р/ч	t <sub>1</sub> ; ч.	t <sub>2</sub> ; ч.	P; Р/ч	t <sub>1</sub> ; ч.	P <sub>1</sub> ; Р/ч	t <sub>2</sub> ; ч.	P <sub>2</sub> ; Р/ч
1	7 <sup>00</sup>	8 <sup>15</sup>	30	1 <sup>15</sup>	5	100	8 <sup>20</sup>	70	9 <sup>35</sup>	64
2	8 <sup>30</sup>	10 <sup>15</sup>	40	1 <sup>30</sup>	6	140	9 <sup>15</sup>	80	9 <sup>45</sup>	62
3	17 <sup>10</sup>	21 <sup>25</sup>	15	2 <sup>00</sup>	7	130	10 <sup>00</sup>	90	10 <sup>15</sup>	56
4	14 <sup>40</sup>	16 <sup>10</sup>	94	2 <sup>45</sup>	8	150	11 <sup>00</sup>	100	11 <sup>30</sup>	68
5	10 <sup>30</sup>	12 <sup>15</sup>	80	3 <sup>00</sup>	9	80	12 <sup>30</sup>	85	14 <sup>00</sup>	67
6	11 <sup>45</sup>	14 <sup>00</sup>	100	3 <sup>15</sup>	10	100	13 <sup>00</sup>	95	15 <sup>30</sup>	52
7	16 <sup>15</sup>	18 <sup>30</sup>	80	3 <sup>30</sup>	11	120	14 <sup>15</sup>	105	14 <sup>45</sup>	74
8	6 <sup>45</sup>	8 <sup>00</sup>	80	4 <sup>00</sup>	12	90	15 <sup>30</sup>	75	17 <sup>30</sup>	48
9	21 <sup>15</sup>	23 <sup>45</sup>	85	3 <sup>45</sup>	5	80	16 <sup>15</sup>	70	20 <sup>45</sup>	44
10	23 <sup>40</sup>	1 <sup>25</sup>	93	2 <sup>30</sup>	6	100	6 <sup>45</sup>	75	8 <sup>15</sup>	52
11	4 <sup>25</sup>	8 <sup>10</sup>	65	1 <sup>45</sup>	7	140	17 <sup>20</sup>	80	19 <sup>10</sup>	58
12	9 <sup>15</sup>	12 <sup>00</sup>	60	1 <sup>30</sup>	8	90	18 <sup>10</sup>	85	18 <sup>40</sup>	38
13	5 <sup>30</sup>	8 <sup>15</sup>	80	2 <sup>00</sup>	9	110	19 <sup>50</sup>	90	22 <sup>20</sup>	62
14	12 <sup>10</sup>	14 <sup>25</sup>	25	2 <sup>30</sup>	10	130	20 <sup>20</sup>	95	23 <sup>50</sup>	68
15	15 <sup>25</sup>	16 <sup>40</sup>	70	2 <sup>45</sup>	11	70	21 <sup>10</sup>	100	23 <sup>40</sup>	54
16	13 <sup>10</sup>	15 <sup>55</sup>	35	3 <sup>00</sup>	12	100	22 <sup>50</sup>	105	1 <sup>20</sup>	67
17	17 <sup>50</sup>	20 <sup>05</sup>	60	2 <sup>00</sup>	8	120	23 <sup>30</sup>	110	5 <sup>00</sup>	71
18	20 <sup>55</sup>	22 <sup>10</sup>	80	1 <sup>15</sup>	9	60	24 <sup>00</sup>	80	4 <sup>30</sup>	36
19	19 <sup>45</sup>	21 <sup>30</sup>	25	1 <sup>45</sup>	10	80	7 <sup>15</sup>	90	12 <sup>15</sup>	49
20	11 <sup>12</sup>	13 <sup>53</sup>	37	5 <sup>00</sup>	8	30	13 <sup>30</sup>	70	16 <sup>00</sup>	51



## Практическое занятие № 5

### Расчет требуемой степени очистки производственных стоков

#### 5.1 Методика расчета

Оценка требуемой очистки сточных вод (СВ) позволяет сделать обоснованный выбор типа и мощности очистных сооружений, вариантов размещения оголовков выпуска (у берега или в стрежень) и их конструктивных особенностей. Участок водоема от места выпуска стоков условно делят на зоны: 1) начального разбавления, в которой скорости истечения стоков ( $V_c$ ) существенно выше скорости потока воды ( $V_n$ ); 2) основного разбавления, в которой  $V_c = V_n$  и перемешивание стоков идет за счет турбулентной диффузии; 3) зона самоочищения, которую в расчетах не учитывают. Общее разбавление СВ определяют как произведение краткости начального и основного разбавления ( $n_n$  и  $n_o$ ), являющихся результатом перемешивания стоков в 1 и 2 зонах.

Значение  $n_n$  определяют по формуле

$$n_n = \frac{0,248}{m} \cdot d^2 \cdot \left( \sqrt{m^2 + 8,1 \left( \frac{1-m}{d^2} \right)} - m \right); \quad (5.1)$$

где  $d$  – отношение расчетного диаметра струи к диаметру выпускных отверстий;  $m$  – безразмерный коэффициент, величину которого находят по формуле

$$m = \sqrt{\frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{V_n^2}{V_c^2}}; \quad (5.2)$$

$P_n$  и  $P_c$  – плотности соответственно потоков воды и СВ, принимаемые обычно равными единице.

Значение  $n_o$  находят как обратную величину коэффициента смешения  $\gamma$  определяемого по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{l_\phi}}}; \quad (5.3)$$

где  $l_\phi$  – расстояние от выпуска СВ до створа водопользования по фарватеру, км;  $\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий гидрологические особенности водоема. Значение  $\alpha$  находят по формуле

$$\alpha = \tau \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{\max}}}; \quad (5.4)$$

где  $\tau$  – коэффициент, учитывавший место выпуска (при выпуске в стержень  $\tau = 1,5$ , у берега –  $1,0$ );  $\beta$  – коэффициент извилистости, равный отношению расстояния от места выпуска до створа водопользования по прямой  $l_n$  к расстоянию между местом выпуска и створом водопользования по фарватеру –  $l_\phi$ ,  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Для условий задания  $D$  зачисляют по формуле

$$D = \frac{V_n \cdot h}{200}; \quad (5.5)$$

где  $h$  – глубина водоема, м.

Расчетную концентрацию ЗВ ( $C_p$ , мг/л) после полного перемешивания находят по формуле

$$C_p = C_{исх} / (n_n \cdot n_o); \quad (5.6)$$

где  $C_{исх}$  – концентрация ЗВ в неочищенных стоках, мг/л. Требуемая степень очистки  $\mathcal{E}_0$  определяется по формуле

$$\mathcal{E}_0 = (C_p - C_{пдк}) / C_p, \quad (5.7)$$

Значения ПДК для ЗВ берут из табл. 5.1, при наличии фонового загрязнения  $C_{пдк}$  уменьшается на величину фоновой концентрации данного ЗВ.

Таблица 5.1

Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Вещество	ПДК, мг/л	Вещество	ПДК, мг/л
Cu	1,0	Бензол	0,001
Fe	0,3	Толуол	0,024
Zn	1,0	Аммиак	2,0
Mn	0,1	Ацетон	2,2
Cr	0,05	Хлорпикрин	0,007

Если  $C_p \leq \text{ПДК}$ , то  $\mathcal{E}_0$  не определяют по формуле (3.7) из-за нецелесообразности очистки.

## 5.2. Задание на расчет

По исходным данным табл. 5.2 определить требуемую степень очистки производственных стоков с максимальным расходом  $Q_{\max}$  содержащих ЗВ с концентрацией  $C_{исх}$ , при двух вариантах выпуска – у берега и в стрелу реки с фоновым загрязнением 20% от ПДК ЗВ. Глубина реки  $h$ , минимальный расход воды  $Q_{\min}$ , скорость потока  $V_n$ , скорость истечения стоков  $V_c$ . Створ водопользования находится от места выпуска на расстоянии  $l_n$  по прямой и  $l_\phi$  по фарватеру. Отношение расчетного диаметра струи к диаметру оголовков равно  $d$ , плотности стоков и воды в потоке равны единице. Створ водопользования совпадает со створом полного разбавления. Дать оценку каждому варианту выпуска и обосновать инженерные решения по защите водоема от загрязнения, превышающего ПДК.

Таблица 5.2

Исходные данные

Вариант	Загрязняющее вещество	$Q_{\min}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$V_c$ , м/с	$V_n$ , м/с	$h$ , м	$l_n$ , км	$l_\phi$ , км	$C_{исх}$ , мг/л	$d$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Медь	1	100	2,5	0,35	3	2	3	150	2
2	Железо	2	90	2,6	0,40	3,1	2	4	120	2,5

Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Хром	4	160	2,8	0,50	3,3	2,2	4	100	3,5
4	Ацетон	2	140	3,0	0,60	3,5	2,4	4	200	4,5
5	Бензол	3	130	3,1	0,55	3,6	2,6	3	100	5
6	Аммиак	4	120	3,2	0,50	3,7	2,6	4	350	5,5
7	Железо	2	100	3,4	0,40	3,9	2,8	4	100	6
8	Толуол	3	90	2,5	0,35	4,0	3,0	6	100	2
9	Хлорпик-рин	4	100	2,6	0,40	4,1	3,0	4	140	2,5
10	Ацетон	3	130	3,2	0,50	3,8	3,1	6	300	5,5
11	Железо	1	150	4,5	0,35	4,0	3,2	5	100	6
12	Хром	2	120	2,8	0,50	4,3	3,2	7	300	3,5
13	Медь	3	130	2,9	0,55	4,4	3,4	6	80	4
14	Бензол	4	140	4,0	0,40	4,5	3,6	7	500	3,5
15	Аммиак	2	160	4,2	0,50	4,3	3,4	8	120	4,5
16	Хром	2	160	3,0	0,40	3,6	2,4	6	350	2
17	Ацетон	3	140	3,1	0,35	3,7	2,6	4	100	2,5
18	Бензол	4	130	3,2	0,40	3,9	2,6	6	100	3,5
19	Аммиак	3	120	3,4	0,50	4,0	2,8	5	140	4,5
20	Железо	1	100	2,5	0,35	4,1	3,0	7	300	5
21	Толуол	2	90	2,6	0,50	3,8	3,0	6	100	5,5
22	Хром	2	100	3,2	0,55	4,0	3,1	7	300	6
23	Ацетон	3	160	4,5	0,40	4,3	3,2	8	80	2

## **Практическое занятие №7**

### **Методика расчета и выбора циклона**

#### **7.1 Методика расчета**

Широкое применение для сухой очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими (серия ЦН) и коническими (серия СК) циклонами НИИО-ГАЗ (научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов). Наиболее часто применяются цилиндрические циклоны марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конические СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М, СДК-ЦН-33.

Циклоны предназначены для сухой очистки газов от пыли со средним размером частиц более 10...20 мкм. Все практические задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются циклонами НИИОГАЗа: цилиндрическими серии ЦН и коническими серии СК. Избыточное давление газов, поступающих в циклоны, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30...50°C выше температуры точки росы, а по условиям прочности конструкции - не выше 400°C.

Циклоны НИИОГАЗ подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, ЦН-11 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1м они обеспечивают степень очистки  $\eta = 0.85 \dots 0.95$  при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15 занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности.

Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру (рис.7.1). На частицу пыли действуют: сила тяжести, сила сопротивления среды, центробежная сила.

Эффективность циклона тем выше, чем больше диаметр частиц пыли, их удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона.

Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере на 180°. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если бункер негерметичен, то из-за подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.

Циклоны не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

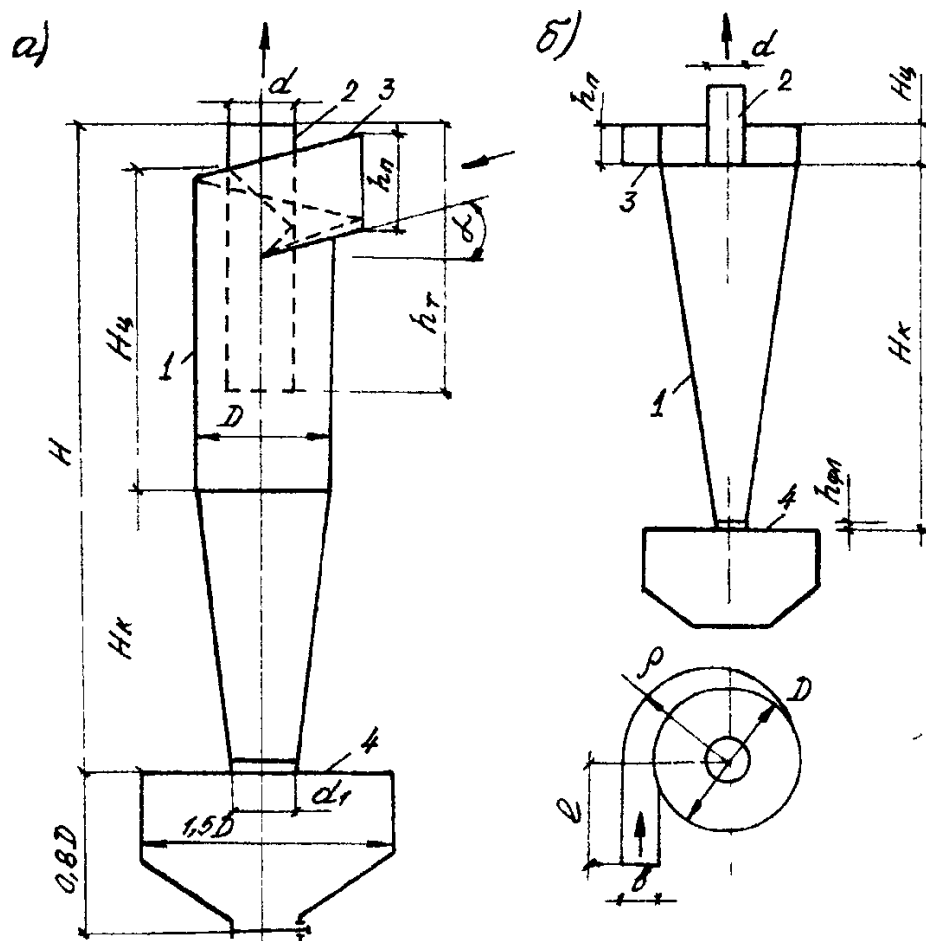


Рис. 7.1. Цилиндрический (а) и конический (б) циклоны НИИОГАЗа

Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с ростом последнего.

*Цилиндрические циклоны* серии ЦН предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов при начальной запыленности до  $400 \text{ г/м}^3$  и устанавливать перед фильтрами и электрофильтрами.

Отличительной особенностью этой группы аппаратов является наличие удлиненной цилиндрической части, наклон крышки и входного патрубка соответственно  $\alpha 11^\circ$ ,  $15^\circ$  и  $24^\circ$  и одинаковое соотношение диаметра выхлопной трубы –  $d$  к диаметру циклона  $D=d/D=0,59$ .

*Конические циклоны* серии СК, предназначенные для очистки газов от сажи, обладают повышенной эффективностью по сравнению с циклонами типа ЦН за счет большего гидравлического сопротивления. Входная концентрация сажи не должна превышать  $50 \text{ г/м}^3$ .

При выборе и расчете циклонов необходимо учитывать свойства пыли абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа следует выбирать циклоны, исходя из наименьших значений скорости газа. При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (менее  $0,8 \text{ м}$ ), которые склонны к залипанию.

Они отличаются удлиненной конической частью, спиральным входным патрубком и малым отношением диаметров выхлопной трубы к корпусу циклонов  $d/D = 0,33$  и  $0,34$  соответственно.

Для расчетов циклонов необходимы исходные данные: объем очищаемого газа  $Q$ , м<sup>3</sup>/с; плотность газа при рабочих условиях  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вязкость газа при рабочей температуре  $\mu$ , Па·с; диаметр и дисперсный состав пыли  $d_n$  и  $lg\sigma_n$ ; входная концентрация пыли  $c_{вх}$ , г/м<sup>3</sup>; плотность частиц пыли,  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>; требуемая эффективность очистки газа  $\eta$ .

Расчет циклонов ведется методом последовательных приближений в следующем порядке:

1. Задавшись типом циклона, определяют оптимальную скорость газа  $W_{онм}$  в сечении циклона диаметром  $D$  по следующим данным:

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$W_{онм}$ , м/с	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

2. Определяют диаметр циклона  $D$ , м, по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot W_{онм}}}; \quad (7.1)$$

Полученное значение  $D$  округляют до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона. Если расчетный диаметр циклона превышает его максимальное допустимое значение, то необходимо применять два или более параллельно установленных циклонов. В РФ для циклонов принят следующий ряд внутренних диаметров  $D$ , мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000.

3. По выбранному диаметру циклона находят действительную скорость газа в циклоне, м/с, по формуле:

$$W = \frac{4Q}{\pi \cdot n \cdot D^2} \quad (7.2)$$

где  $n$  - число циклонов. Действительная скорость в циклоне не должна отличаться от оптимальной более чем на 15%.

4. Вычисляют коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона по формуле

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500} \quad (7.3)$$

где  $K_1$  - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 7.1);

$K_2$  - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 7.2);  $\xi_{500}$  - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного наклона диаметром 500 мм (табл. 7.3).

5. Определяют гидравлическое сопротивление циклона, Па,

$$\Delta p = \xi \cdot \rho \cdot \frac{W^2}{2} \quad (7.4)$$

где -  $\rho$  и  $W$  - соответственно плотность и скорость газа в расчетном сечении циклона;

$\xi$  - коэффициент гидравлического сопротивления.

Таблица 7.1

Поправочный коэффициент на диаметр циклона

Тип циклона	Значение $K_1$ для $D$ , мм				
	150	200	300	450	$\geq 500$
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,00
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,00	1,00
СКД-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 7.2

Поправочный коэффициент на запыленность газа

Тип циклона	Значение $K_2$ при $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup>						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,96	0,92	0,90	0,87	-
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СКД-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 7.3

Коэффициент гидравлического сопротивления циклона  
диаметром 500 мм

Значение $\xi_{500}$	Тип циклона					
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
При выхлопе в атмосферу	245	155	75	520	1050	-
При выхлопе в сеть	250	163	80	600	1150	2000

6. По табл. 7.4 находят значения параметров пыли  $d_{50}^T$  и  $lg \sigma_n$  для выбранного типа циклона.

Таблица 7.4

Значения параметров пыли  $d_{50}^T$  и  $lg \sigma_n$

Тип циклона	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$d_{50}^T$ , мкм	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$lg \sigma_n$	0,308	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

7. Ввиду того, что значения  $d_{50}^T$ , приведенные в табл. 7.4, определены по условиям работы типового циклона ( $D_m = 0,6$  м;  $\rho = 1930$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu = 22,2 \times 10^{-6}$  Па\*с;

$W_T = 3,5$  м/с), необходимо учесть влияние отклонений условий работы от типовых на величину  $d_{50}$ , мкм, по формуле:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(\bar{D} / D_T) \cdot (\rho / \rho_n) \cdot (\mu / \mu_n) \cdot (W_T / W)}. \quad (7.5)$$

8. Рассчитаем параметр  $x$  по формуле

$$x = \frac{\lg(d_n / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_n}}. \quad (7.6)$$

По табл.7.5 находим параметр  $\Phi(x)$ .

Таблица 7.5

Значения параметра $\Phi(x)$								
x	-2,7	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2	-1,0	-0,8
$\Phi(x)$	0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808	0,1151	0,1587	0,2119
x	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$\Phi(x)$	0,2743	0,3446	0,4207	0,5000	0,5793	0,6554	0,7257	0,7881
x	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7	
$\Phi(x)$	0,8413	0,8849	0,9192	0,9452	0,9641	0,9772	0,9965	

9. Определяют эффективность очистки газа в циклоне по формуле

$$\eta = 0,5(1 + \Phi_{(x)}). \quad (7.7)$$

где  $\Phi(x)$  - табличная функция от параметра  $x$  (см. формулу 7.6)

10. Если расчетное значение  $\eta$  окажется меньше необходимого по условиям допустимого выброса пыли в атмосферу, то нужно выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления. Для ориентировочных расчетов можно пользоваться формулой

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \left( \frac{1 - \eta_1}{1 - \eta_2} \right)^2 \cdot \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{D_1}{D_2}. \quad (7.8)$$

где индексы 1 и 2 соответствуют двум разным циклонам.

## 7.2 Задания на расчет

Рассчитать циклон, обеспечивающий степень эффективности очистки газа от пыли не менее  $\eta = 0,87$ , по данным табл. 7.6. При этом приняты следующие обозначения и некоторые значения:  $Q$ , м<sup>3</sup>/с - количество очищаемого газа;  $\rho = 0,89$  кг/м<sup>3</sup> - плотность газа при рабочих условиях;  $\mu = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Н·с/м<sup>2</sup> - вязкость газа;  $\rho_{\Pi}$ , кг/м<sup>3</sup> - плотность частиц пыли, диаметр  $d_{\Pi}$ , мкм и дисперсность  $\lg \sigma_n$ ,  $C_{BX}$ , г/м<sup>3</sup> - входная концентрация пыли.

Таблица 7.6

Исходные данные к расчету циклона					
Вариант	$Q$	$\rho_{\Pi}$	$d_{\Pi}$	$\lg \sigma_n$	$C_{BX}$
1	2	3	4	5	6
1	1,2	1930	20	0,5	10
2	1,5	1800	25	0,6	20
3	1,8	1870	15	0,5	40
4	1,0	1000	10	0,5	40



Окончание таблицы 7.6

1	2	3	4	5	6
5	1,4	1950	80	0,4	25
6	1,3	1900	30	0,7	80
7	1,1	1300	40	0,5	30
8	1,6	1450	50	0,4	120
9	1,7	1600	35	0,3	150
10	1,5	1920	45	0,5	120
11	1,2	1200	15	0,6	20
12	1,1	1500	50	0,4	30
13	1,6	1870	20	0,6	40
14	1,8	1970	28	0,6	120
15	1,5	1860	44	0,7	160
16	1,4	1750	25	0,6	80
17	1,3	1680	45	0,7	150
18	1,2	1950	38	0,5	120
19	1,1	1380	50	0,6	40
20	1,5	1830	40	0,5	20
21	1,3	1750	20	0,4	80
22	1,2	1930	15	0,5	120
23	1,5	1950	30	0,5	40

### 2.3 Методические указания по выполнению задания

Перед выполнением задания студент изучает основные принципы выбора и методики расчета циклонов, изложенные в пункте 7.1. Расчет циклона ведется методом последовательных приближений по формулам (7.1)...(7.7). Если расчетное значение эффективности очистки воздуха от пыли окажется менее заданного по условиям допустимого выброса пыли в атмосферу, то нужно выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления. При этом следует воспользоваться формулой (7.8).

## Практическое занятие №8

### Методика расчета и выбора скруббера Вентури

#### 8.1 Методика расчета

Принцип действия скрубберов Вентури основан на столкновении частиц пыли с диспергированной жидкой фазой вследствие разности их скоростей под влиянием интенсивной турбулентной диффузии в газовом потоке.

Скрубберы Вентури – высокоинтенсивные газоочистительные аппараты, но работающие с большим расходом энергии. Скорость газа в сужении трубы (горловине скруббера) составляет 100 – 200 м/с, а в некоторых установках – до 1200 м/с. При такой скорости очищаемый газ разбивает на мельчайшие капли завесу жидкости, впрыскиваемой по периметру трубы. Это приводит к интенсивному столкновению частиц аэрозоля с каплями и улавливанию частиц под действием сил инерции.

Скруббер Вентури – универсальный малогабаритный аппарат (рис. 8.1), обеспечивающий улавливание тумана на 99...100 %, частиц пыли с  $d = 0,01...0,35$  мкм – на 50...85 % и частиц пыли с  $d = 0,5...2$  мкм – на 97 %.

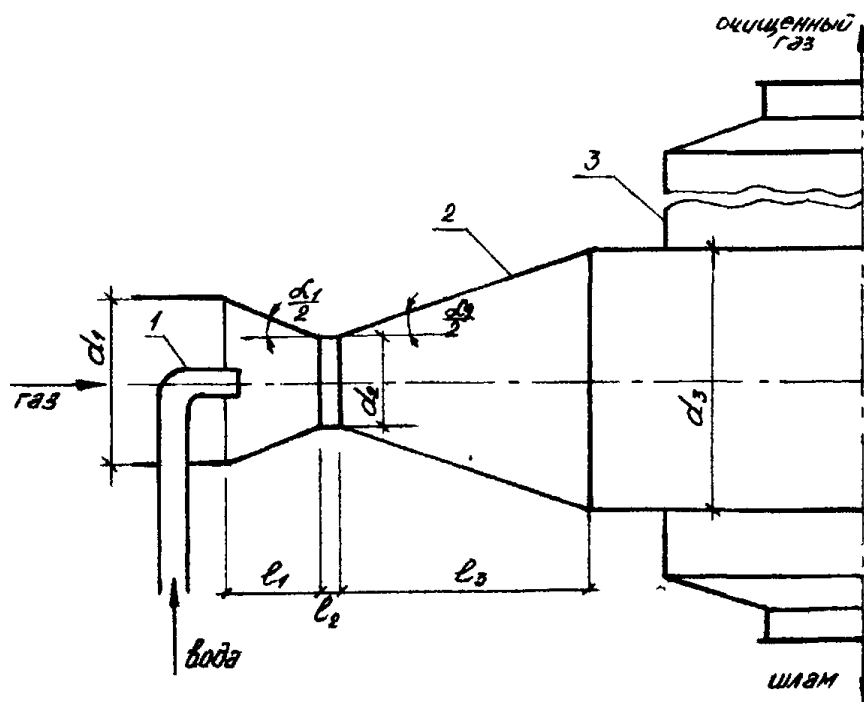


Рис. 8.1. Скруббер Вентури

В скруббере Вентури реализуется капельная абсорбция. Он состоит из сопла Вентури (1 – конфузор, 2 – диффузор) и каплеуловителя 3. В конфузорную часть сопла подводится запыленный поток газа, а через форсунки под давлением впрыскивается жидкость для орошения этого потока. В конфузоре происходит разгон газа от начальной скорости газа ( $w_r = 15..20$  м/с) до скорости  $w_r = 30..200$  м/с в узкой части сопла. Процесс осаждения частиц пыли на капли жидкости обусловлен большой разностью между массами (плотностью) жидкости и газа, развитой поверхностью капель и высокой разностью (до 100 м/с) скоростей частиц пыли и жидкости в конфузоре. При этом эффективность очистки в

значительной степени зависит от равномерности распределения жидкости по сечению конфузора. В диффузорной части сопла резко падает давление с конденсацией пара. Поток с конденсированными парами постепенно тормозится до скорости  $w_r = 15..20$  м/с и попадает в каплеуловитель 3, который обычно выполняется в виде прямооточного циклона.

Для расчетов эффективности очистки от пыли производственных выбросов скруббером Вентури необходимы следующие исходные данные: плотность газа в горловине  $\rho_r$ , кг/м<sup>3</sup>; скорость газа в горловине  $W_r$ , м/с; массовый расход газа  $M_r$ , кг/с; массовый расход орошающей жидкости  $M_{ж}$ , кг/с; удельный расход жидкости  $m$ , л/м<sup>3</sup>; давление жидкости  $p_{ж}$ , кПа; плотность жидкости  $\rho_{ж}$ , кг/м<sup>3</sup>.

Расчет ведется в следующем порядке:

1. Определяют гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури, Н/м<sup>2</sup>, по формуле

$$\Delta p_c = \frac{\xi_c \cdot W_r^2 \cdot \rho_r}{2}; \quad (8.1)$$

где  $\xi_c$  - коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы;  $W_r$  - скорость газа в горловине, м/с;  $\rho_r$  - плотность газа в горловине, кг/м<sup>3</sup>.

2. Рассчитывают гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошающей жидкости, Н/м<sup>2</sup>, по формуле

$$\Delta p_{жс} = \frac{\xi_{жс} \cdot W_r^2 \cdot \rho_{жс} \cdot m}{2}; \quad (8.2)$$

где  $\xi_{жс}$  - коэффициент гидравлического сопротивления трубы, обусловленный вводом жидкости;  $\rho_{жс}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  - удельный расход жидкости на орошение, л/м<sup>3</sup>.

При этом величина  $\xi_{жс}$  определяется из соотношения

$$\frac{\xi_{жс}}{\xi_c} = 0,63 \left( \frac{M_{жс}}{M_r} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_{жс}} \right)^{-0,3}; \quad (8.3)$$

где  $M_{жс}$  и  $M_r$  - массовые расходы жидкости и газа, кг/с.

3. Находят гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Н/м<sup>2</sup> по формуле

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_{жс} \quad (8.4)$$

4. Находят суммарную энергию сопротивления  $K_t$ , Па, по формуле

$$K_t = \Delta p + p_{ж} (V_{ж} / V_r) \quad (8.5)$$

где  $p_{ж}$  - давление распыляемой жидкости на входе в пылеуловитель, Па;  $V_{ж}$ ,  $V_r$  соответственно, объемные расходы жидкости и газа, м<sup>3</sup>/с.

5. Определяют эффективность скруббера Вентури по формуле

$$\xi = 1 - e^{-B \cdot K_t^n}; \quad (8.6)$$

где  $K_t$  - суммарная энергия сопротивления, Па;  $B$  и  $n$  - константы, зависящие от физико-химических свойств и дисперсного состава пыли (см. табл. 8.1).

Таблица 8.1

Значения  $B$  и  $n$ 

№	Загрязнитель	$B$	$n$
1	Конверторная пыль	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663
2	Ваграночная пыль	$1,355 \cdot 10^{-2}$	0,6210
3	Мартеновская пыль	$1,915 \cdot 10^{-2}$	0,5688
4	Сажа	$10^{-5}$	1,36
5	Туман фосфорной кислоты	$1,34 \cdot 10^{-2}$	0,6312

## 8.2 Задания на расчет

Рассчитать эффективность применения скруббера Вентури для очистки от пыли производственных выбросов по данным табл. 8.2. При этом приняты следующие обозначения и некоторые значения: плотность газа в горловине  $\rho_{\Gamma} = 0,9 \text{ кг/м}^3$ ; скорость газа в горловине  $W_{\Gamma}$ , м/с; массовый расход газа  $M_{\Gamma}$ , кг/с; массовый расход орошающей жидкости  $M_{\text{ж}}$ , кг/с; удельный расход жидкости  $m$ , л/м<sup>3</sup>, давление  $P_{\text{ж}} = 300 \text{ кПа}$ , плотность жидкости  $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы  $\xi = 0,15$ ; требуемая эффективность очистки от пыли не менее 0,9.

Таблица 8.2

Исходные данные к расчету скруббера Вентури

Вариант	Загрязнитель по табл 8.1	$m$	$W_{\Gamma}$	$M_{\Gamma}$	$M_{\text{ж}}$
1	1	0,4	60	0,8	0,800
2	2	0,5	65	0,9	0,851
3	3	0,6	70	1,0	0,889
4	4	0,7	75	1,1	0,895
5	5	0,8	80	1,2	0,992
6	1	0,9	85	1,3	1,000
7	2	1,0	90	1,4	1,102
8	3	1,1	95	1,5	1,125
9	4	1,2	100	1,4	1,111
10	5	1,3	105	1,3	1,102
11	1	1,4	110	1,2	1,000
12	2	1,5	115	1,1	0,998
13	3	1,6	120	1,0	0,895
14	4	1,7	125	0,9	0,889
15	5	1,6	130	0,8	0,850
16	1	1,5	135	0,9	0,865
17	2	1,4	140	1,0	0,889
18	3	1,3	145	1,1	0,895
19	4	1,2	150	1,2	1,000

20	5	1,1	155	1,3	1,102
21	1	1,0	160	1,4	1,115
22	2	0,9	165	1,5	1,125
23	3	0,8	110	1,4	1,102

### **8.3 Методические указания по выполнению заданий**

Перед выполнением задания студент изучает основные принципы выбора и методики расчета скруббера Вентури, изложенные выше в подразделе 8.1, а также свой вариант задания из подраздела 8.2.

Расчет эффективности очистки промвыбросов от пыли скруббером Вентури проводят по формулам (8.1)... (8.6). При недостаточной эффективности очистки от пыли следует увеличить гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное введением орошающей жидкости, изменяя массовый расход и давление распыляемой жидкости.

## Практическое занятие №9

### Методика расчета и выбора адсорбера

#### 9.1 Методика расчета

*Адсорбция* – поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твердого тела. Она позволяет почти полностью извлечь из газовой смеси загрязняющие компоненты, дает возможность осуществлять глубокую очистку газов. Этим объясняется все большее применение в защите окружающей среды адсорбционных методов разделения и очистки там, где другие методы оказываются недостаточно эффективными.

Процесс адсорбции происходит на поверхности твердого пористого тела – адсорбента, где ненасыщенные поверхностные силы вступают во взаимодействие с силовыми полями адсорбируемых молекул.

Адсорбенты, используемые в системах очистки отходящих газов, должны удовлетворять следующим требованиям: иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при небольших концентрациях их в газовых смесях, обладать высокой селективностью, иметь высокую механическую прочность, обладать способностью к регенерации и иметь низкую стоимость.

На практике нашли применение следующие адсорбенты: активные угли, силикагели, алюмогели и цеолиты.

Наиболее широкое применение методы адсорбции находят в тех случаях, когда необходимо снизить содержание загрязняющих веществ до очень низких, следовых значений (от миллиардных долей до нескольких миллионных долей). Многие загрязнители с сильным запахом обнаруживаются уже при содержаниях порядка  $100 \text{ млрд}^{-1}$ ; для полного удаления запаха концентрация загрязняющего вещества должна быть снижена до более низких значений, чего невозможно достичь, применяя большинство других методов обработки. Подобные задачи возникают в пищевой промышленности (удаление посторонних запахов), в химической и перерабатывающей промышленности, а также при осуществлении других процессов, например, в литейном производстве, при нанесении лакокрасочных и других покрытий.

Адсорбция менее эффективна при необходимости удаления больших концентраций загрязняющих веществ, поскольку при этом необходима большая адсорбционная емкость или большое количество адсорбента. В тех случаях, когда концентрации загрязнений невелики и обработке подвергается большое количество воздуха, адсорбция может оказаться очень эффективной.

Существуют различные конструкции адсорберов: периодического и непрерывного действия, горизонтальные и вертикальные и т.д. В практике адсорбционной очистки газов наиболее распространены цилиндрические вертикальные, горизонтальные и кольцевые адсорберы (рис. 9.1).

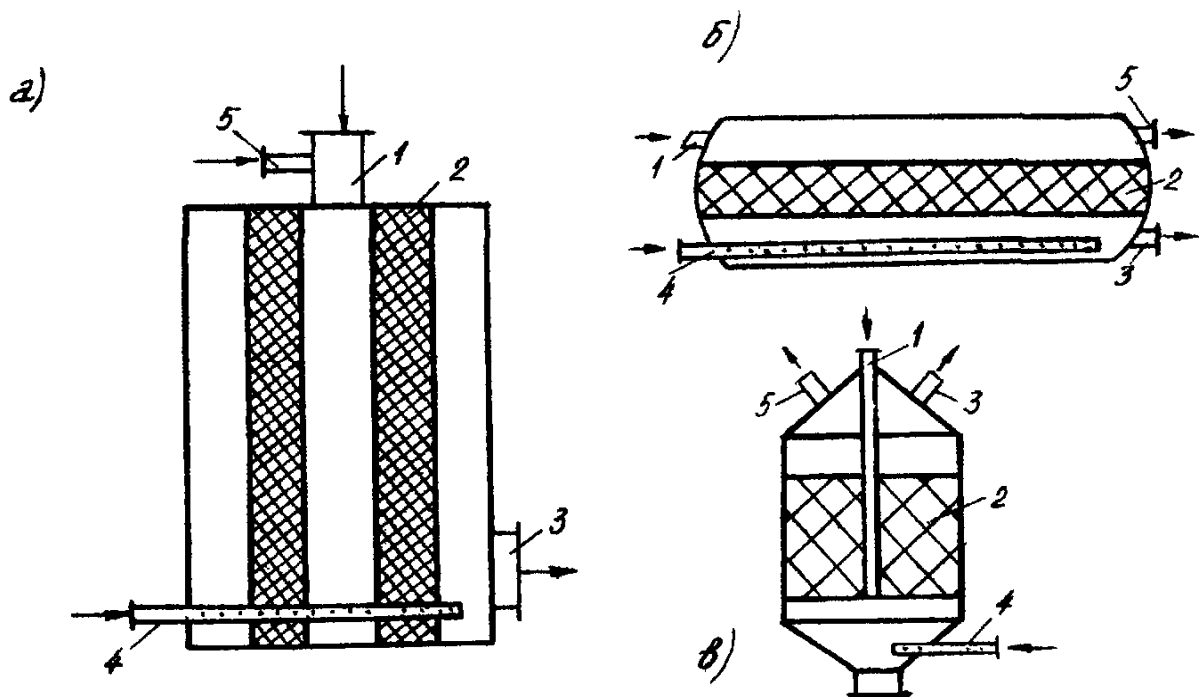


Рис. 9.1. Кольцевой (а), горизонтальный (б) и вертикальный (в) адсорберы.

Очищаемый газ вводится в аппарат через центральную трубу 1 диаметром 100...200 мм, фильтруется через слой пористого адсорбента 2 и удаляется через трубу 3. Отработанный, потерявший активность поглотитель регенерируют продувкой его острым водяным паром через барбатер 4. Выход пара при десорбции осуществляется через трубу 5.

Вертикальные адсорберы изготовляют нескольких модификаций. Адсорберы с верхним вводом исходной смеси выполняют из стального листа толщиной 8...10 мм. Цилиндрическая обечайка при высоте до 2,2 м может иметь диаметр 2; 2,5 и 3 м в зависимости от требуемой производительности. Днище и крышка — конические. Высота слоя сорбента выбирается от 0,5 м. Адсорбент в этих аппаратах помещается на разборных колосниковых решетках, которые располагаются на балках. Последние устанавливают на опоры, приваренные к стенке корпуса адсорбера.

Горизонтальные адсорберы изготовляют диаметром 1...2 м при длине цилиндрической части корпуса 2...10 м, при этом днища эллиптические. В адсорбер исходная смесь, сушильный и охлаждающий газы поступают в верхнюю часть, в пространство над слоем адсорбента. Входные патрубки внутри оборудованы распределительными сетками из меди или нержавеющей стали с ячейками размером 2,2×2,2 мм. Очищенный газовый поток отводится из нижней части адсорбера, из пространства под слоем адсорбента.

Для очистки газов от примесей, присутствующих в небольших концентрациях, можно применять кольцевые адсорберы. Вертикальный адсорбер, показанные на рис. 9.1 представляет собой полый цилиндр, в который помещается адсорбент. Он конструктивно сложнее рассмотренных выше адсорберов с плоским слоем, но благодаря большому поперечному сечению шихты более компактны и имеют большую производительность при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении.

Природа сил, вызывающих адсорбцию, может быть различной. При адсорбции происходит концентрация молекул поглощаемого вещества на поверхности адсорбента под действием ван-дер-ваальсовых сил. Этот процесс часто сопровождается конденсацией паров поглощаемого вещества в капиллярах адсорбента, присоединением молекул поглощаемого вещества по месту ненасыщенных валентностей элементов составляющих кристаллическую решетку адсорбента, и другими процессами.

Причем при контакте адсорбента с газовой смесью или раствором первоначально поглощаются все их компоненты, но после насыщения поверхности адсорбента в нее внедряются преимущественно молекулы с большей адсорбируемостью, вытесняя другие молекулы. Процесс адсорбции прекращается после заполнения активной поверхности адсорбента молекулами адсорбата, т.е. по достижении равновесия системы.

*Расчет адсорбера ведут в следующем порядке:*

1. Выбирают тип сорбента и рабочую температуру. Для увеличения его емкости рабочая температура выбирается минимально возможной. Изотерма адсорбции паров этилового спирта, очистку воздуха от которого рассмотрим в примере, на активированном угле при 20 °С представлена на рис. 9.2. По изотерме адсорбции и заданной величине  $C_0$  г/м<sup>3</sup>, находят статическую емкость сорбента  $a_0$ , г/кг.

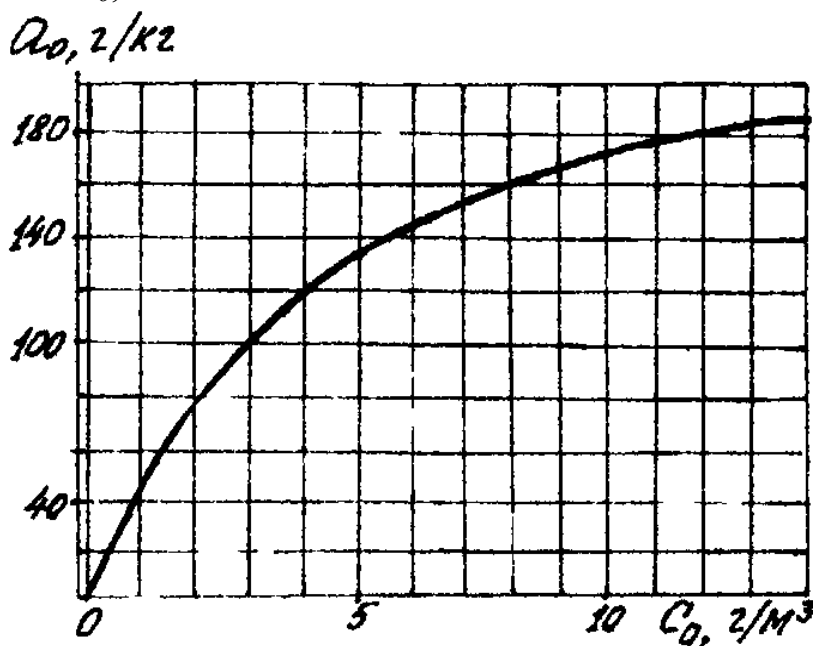


Рис. 9.2. Изотерма паров этилового спирта на активированном угле при 20 °С.

2. Определяют весовое количество очищаемого газа,  $G$ , кг/с, из выражения

$$G = \frac{L_M \cdot \rho_{\Gamma}}{3600}, \quad (9.1)$$

где  $L_M$  - производительность местного отсоса от паровоздушной смеси, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_{\Gamma}$  - плотность паровоздушной смеси, кг/м<sup>3</sup>.



3. Переводят весовую статическую емкость сорбента  $\alpha_o$ , в объемную  $\alpha'_o$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле:

$$\alpha'_o = \frac{\alpha_o \cdot \rho_H}{1000}, \quad (9.2)$$

где  $\rho_H$  - насыпная плотность выбираемого сорбента, кг/м<sup>3</sup>.

4. Определяют массу сорбента, кг, по формуле

$$M_c = \frac{K \cdot G \cdot C_o \cdot \tau}{\alpha'_o}, \quad (9.3)$$

где  $K = 1,1 \dots 1,2$  - коэффициент запаса;

$\tau$  - продолжительность процесса сорбции, с;

$C_o$  - концентрация поглощаемого вещества на входе в адсорбер, кг/м<sup>3</sup>.

5. Выбирают скорость потока газа в адсорбере  $W$ , м/с. Обычно фиктивная скорость паровоздушной смеси или скорость, рассчитанная на полное сечение слоя, выбирается в пределах 0,1...0,25 м/с.

6. Определяют геометрические размеры адсорбера. Так, для цилиндрического аппарата диаметр  $D_a$ , м, и длину (высоту) слоя адсорбента  $L_a$ , м, подсчитывают по формулам:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_H \cdot W}}. \quad (9.4)$$

$$L_a = \frac{M_c \cdot W}{G}. \quad (9.5)$$

7. Находят пористость сорбента по формуле

$$\Pi = \frac{\rho_K - \rho_H}{\rho_K}, \quad (9.6)$$

где  $\rho_K$  и  $\rho_H$  - кажущаяся и насыпная плотность сорбента, кг/м<sup>3</sup>

8. Рассчитывают эквивалентный диаметр зерна сорбента, м, по формуле

$$d_{\text{э}} = \frac{\Pi \cdot d \cdot l}{(1 - \Pi) \cdot (d/2 + l)}, \quad (9.7)$$

где  $d$  и  $l$  - диаметр и длина зерна сорбента, м.

9. Коэффициент трения  $\lambda$  находят в зависимости от характера движения по выражению

$$Re = \frac{W \cdot d_{\text{э}}}{\nu \cdot \Pi}. \quad (9.8)$$

где  $Re$  - критерий Рейнольдса;

$\nu$  - кинематическая вязкость газа, м/с.

$$\text{при } Re < 50 \quad \lambda = 220 / Re; \quad (9.9)$$

$$\text{при } Re \geq 50 \quad \lambda = 11,6 / Re^{0,25}, \quad (9.10)$$

10. Определяют гидравлическое сопротивление, оказываемое слоем зернистого поглотителя при прохождении через него потока очищаемого газа  $\Delta p$ , Па, по формуле

$$\Delta P = \frac{3}{4} \lambda \cdot \frac{L_a \cdot \rho_r \cdot (1 - \Pi) \cdot W^2}{\Phi \cdot d_{\text{э}} \cdot \Pi^3}, \quad (9.11)$$

где  $\Phi = 0,9$  - коэффициент формы.

11. Определяют коэффициент молекулярной диффузии паров этилового спирта в воздухе при заданных условиях  $T$  и  $P$  по формуле

$$D = D_0 \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{P_0}{P}, \quad (9.12)$$

где  $D_0 = 0,101 \cdot 10^{-4}$  при  $T_0 = 273^\circ\text{K}$  и атмосферном давлении  $P_0 = 9,8 \cdot 10^4$  Па.

12. Находят диффузионный критерий Прантля по формуле

$$P_z = \frac{\nu}{D}. \quad (9.13)$$

13. Для заданного режима течения газа (определяется значением  $Re$ ) вычисляют величину коэффициента массопередачи для единичной удельной поверхности. м/с:

$$\text{при } Re < 30 \quad \beta = \frac{0.833 \cdot Re^{0.47} \cdot P_z^{0.35} \cdot D}{d_{\text{э}}}. \quad (9.14)$$

$$\text{при } Re > 30 \quad \beta = \frac{0.53 \cdot Re^{0.64} \cdot P_z^{0.33} \cdot D}{d_{\text{э}}}. \quad (9.15)$$

14. По изотерме адсорбции (рис 9.2) находим:

- количество вещества, максимально сорбируемое поглотителем при данной температуре  $a_{\infty}$ ;

- величину концентрации поглощаемого вещества на входе в адсорбер  $C_x$ , соответствующую величине  $a_{\infty}/2$ .

15. Рассчитывают удельную поверхность адсорбента  $f$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ , по формуле:

$$f = \frac{4 \cdot (1 - \Pi)}{d \cdot l} \cdot \left( \frac{d}{2} + l \right). \quad (9.16)$$

16. Определяют концентрацию паров этилового спирта на выходе из аппарата,  $\text{г}/\text{м}^3$ , по формуле

$$C_K = C_0 \cdot (1 - \eta), \quad (9.17)$$

где  $\eta$  - эффективность процесса очистки.

17. Находят продолжительность защитного действия адсорбера по формуле:

$$\tau = \frac{a_0'}{W \cdot C_0} \cdot \left\{ L_a - \frac{W}{\beta \cdot f} \cdot \left[ \frac{C_x}{C_0} \cdot \ln \left( \frac{C_0}{C_K} - 1 \right) + \ln \left( \frac{C_0}{C_K} - 1 \right) \right] \right\}. \quad (9.18)$$

18. Если получаемое время защитного действия адсорбера отличается от заданного на величину  $\Delta \tau$ , то изменяем длину (высоту) слоя сорбента на величину  $\Delta L_a$ , м, определяемую по формуле

$$\Delta L_a = \frac{G \cdot C_0 \cdot \Delta \tau}{\rho_H \cdot F \cdot a_0}, \quad (9.19)$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения слоя адсорбента,  $\text{м}^2$ .

## 9.2 Задания на расчет

Определить размеры, энергозатраты и время защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом от установки обезжиривания при условии непрерывной работы в течение 8 ч. Расчет выполнить по данным табл. 9.1. При этом приняты следующие обозначения и исходные значения; производительность местного отсоса  $L_m$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация спирта  $C_o$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$ ; температура в адсорбере  $t_p = 20^\circ\text{C}$  и давление  $P = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$ ; плотность паровоздушной смеси  $\rho_r = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  и ее вязкость  $\nu = 0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; диаметр гранул поглотителя (активированный уголь)  $d = 3 \text{ мм}$ ; длина гранулы  $l = 5 \text{ мм}$ ; насыпная плотность  $\rho_H = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; кажущаяся плотность  $\rho_K = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; эффективность процесса очистки  $\eta = 0,99$ .

Таблица 9.1

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$L_m$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
$C_o$ , $\text{г}/\text{м}^3$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7
Номер варианта	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$L_m$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
$C_o$ , $\text{г}/\text{м}^3$	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10

## 9.3 Методические указания по выполнению заданий

Перед выполнением задания студент изучает основные принципы выбора и методики расчета адсорбера, изложенные выше в подразделе 9.1, а также свой вариант задания из подраздела 9.2.

Расчет адсорбера периодического действия включает две основные стадии: а) приближенный конструктивный расчет по формулам (9.1)... (9.5) для определения необходимой массы и геометрии аппарата и б) проверочный расчет по формулам (9.6)...(9.18) для определения времени действия аппарата. В случае необходимости проводится корректировка размеров адсорбера, используя формулу (9.19).

## **Лабораторная работа №1**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОТ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Цель работы: 1) изучение основных методов и средств очистки воздуха от газообразных примесей.

2) экспериментальное определение эффективности очистки воздуха.

#### **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. Соблюдайте общие требования безопасности в лаборатории.
2. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
3. При включенном воздушном насосе один из кранов пневмосистемы должен быть открыт.
4. При появлении запаха одного из загрязнителей следует прекратить проведение лабораторной работы до устранения неисправности.
5. Лабораторную работу необходимо проводить в хорошо проветриваемом помещении.
6. Рекомендуется использовать в лаборатории воздухоочиститель гигиенический лабораторный АМ–4 ТУ 0101–01–2004.
7. По окончании работы выключить установку и проверить закрыты ли краны магистралей, камеры. Проветрить помещение.

#### **УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Внешний вид стенда представлен на рис. 1.1

Стенд представляет собой стол лабораторный сборно-разборной конструкции, выполненный в виде сварных металлических рам со столешницей 1 и полкой 2; металлических опорных рам 3 и вертикальной панели 4.

На вертикальной панели установлены устройства очистки: адсорбер угольный 5, адсорбер силикагелевый 6, абсорбер водяной 7.

Также на вертикальной панели расположены камера-смеситель 8 и элементы пневмо- и гидросистем.

Адсорбер представляет собой прозрачную цилиндрическую емкость, имеющую верхнюю и нижнюю крышки с ниппелями и заполненную веществом адсорбером. Один адсорбер заполнен активированным углем, другой силикагелем.

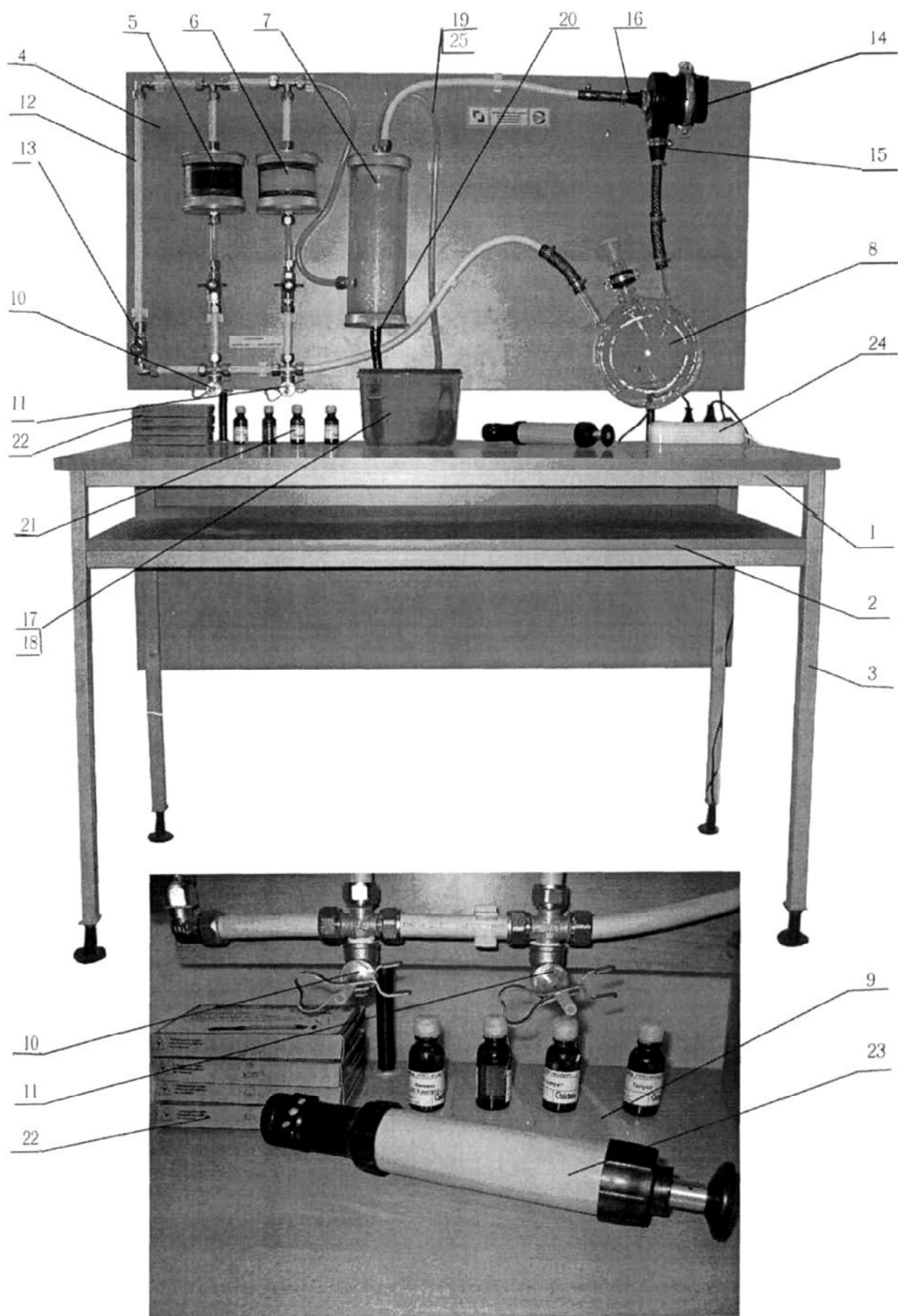


Рис. 1.1. Внешний вид лабораторного стенда

Абсорбер 7 представляет собой прозрачную цилиндрическую емкость, внутри которой имеются разбрызгиватель с решеткой для создания мелкодисперсной водяной среды.

Камера-смеситель 8 (далее – камера) служит для внесения в воздушный поток пневмосистемы веществ-загрязнителей. Внесение веществ-загрязнителей производится с помощью пипетки-капельницы 9. Отбор проб загрязненного и очищенного воздуха осуществляется через штуцеры соответственно отбора пробы «до очистки» 10 и отбора пробы «после очистки» 11, расположенных в нижней части свободной магистрали.

Камера 8 представляет собой стеклянный баллон («паук») с тремя отводами (центральный и два крайних).

Центральный отвод используется для ввода загрязнителя воздуха; крайние отводы используются для присоединения к пневмосистеме.

Пневмосистема является замкнутой и включает в себя три магистрали очистки воздуха, а также «свободную» магистраль 12, которая позволяет производить необходимые манипуляции по загрязнению и перемешиванию воздуха.

Каждая магистраль снабжена шаровым краном 13.

Воздушный поток в магистралях очистки и свободной магистрали создается насосом 14, снабженным двумя насадками: нагнетания 15 и входной 16, расположенными на вертикальной панели стенда.

На столешнице 1 расположена насосная станция, представляющая собой прямоугольную емкость 17 с водой, на дне которой установлен погружной насос 18. Вода подается по напорной трубке 19, снабженной струбциной 25, предназначенной для регулирования объемного расхода воды, в разбрызгиватель абсорбера и сливается по возвратной трубке 20 в емкость с водой. Таким образом, гидросистема абсорбера является замкнутой.

На столешнице также размещены элементы из набора химико-аналитических средств (НХС-воздух-1), в том числе: загрязнители воздуха 21, трубки индикаторные 22, пробоотборник 23, пипетки-капельницы 9 и удлинитель 24.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов сводится к обеспечению концентраций вредных веществ в приземном слое равным или менее ПДК, что достигается применением существующих методов и средств очистки воздуха.

Выбор средств защиты воздуха от газопарообразных примесей зависит от применяемого метода очистки. По характеру протекания физико-химических процессов выделяют методы:

**1) абсорбции** – промывка выбросов растворителями примеси;

**2) хемосорбции** – промывка (орошение) выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (вступающих в химическую реакцию с вредными примесями);

**3) адсорбции** – поглощение (улавливание) газообразных примесей твердым пористым поглотителем – адсорбентом.

**4) термической нейтрализации** – высокотемпературное дожигание;

**5) каталитической нейтрализации** – очищаемый газ пропускается через слой катализатора – материала, который ускоряет протекание реакций.

Выбор метода обусловлен степенью запыленности газа, дисперсностью частиц и требованиями к очистке.

Газо– и пароочистители, реализующие указанные методы, по принципу действия делятся на пять групп.

Наиболее распространены скрубберные газоочистители, которые практически не отличаются от скрубберных пылеуловителей (зачастую они выполняют двойную функцию – пыле- и газоулавливания). Работают на принципе абсорбции – поглощение веществ жидкостью.

**Метод абсорбции** – разделение газовой смеси на части путем поглощения газовых компонентов **жидким** поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора. Методом абсорбции можно улавливать только хорошо растворимые газовые примеси и пары: абсорбент выбирают из условия растворения в нем поглощаемого газа. Например, в качестве абсорбентов применяют:

- воду – для поглощения аммиака, хлористого водорода и др.;
- вязкие масла – для хлора, сернистого ангидрида и т.п.;
- растворы извести или едкого натра – для окислов азота, хлористого водорода и др.

Установки, реализующие метод абсорбции, называются абсорберами. В **абсорберах** жидкость дробится на мелкие капли для обеспечения более высокого контакта с газовой средой.

В орошаемом скруббере – абсорбере (рис. 1.2) насадка 1 размещается в плоскости вертикальной колонны 3. В качестве насадки используют кольца с перфорированными стенками, изготавливаемыми из металла, керамики, пластмассы и других материалов с коррозионной устойчивостью. Орошение колонн абсорбентом осуществляется из разбрызгивателей 2. Загрязненный газ поступает снизу и направляется вверх, подвергаясь непрерывной очистке.

Скорость абсорбции зависит главным образом от температуры и давления: чем выше давление и ниже температура, тем выше скорость абсорбции.

**Метод хемосорбции** (основан на химической реакции) – поглощение газов и паров твердыми или жидкими поглотителями с образованием нетоксичных, малолетучих или нерастворимых химических соединений. Применяют для улавливания газовых примесей нерастворимых или плохо растворимых в воде. Например, для отделения сероводорода применяют щелочные растворы. Процесс идет в скрубберных аппаратах того же типа, что и для метода абсорбции. Очищаемый газ орошают растворами реагентов, вступающих в химическую реакцию с вредными примесями. Этот метод широко используется для улавливания диоксида серы.

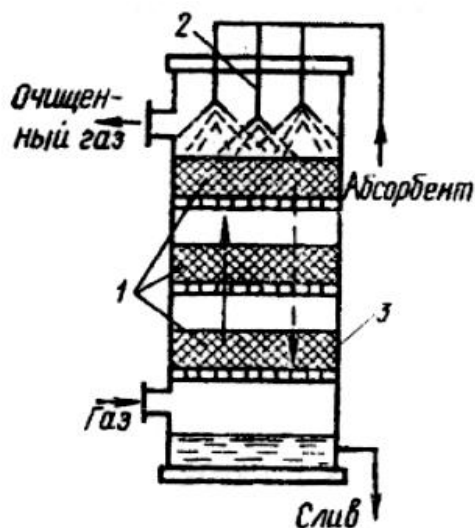


Рис. 1.2. Орошаемый скруббер-абсорбер с насадкой

Оба эти метода называют мокрыми, их эффективность зависит от очищаемого компонента и применяемого растворителя (или поглотителя). Недостаток мокрых методов – при их реализации понижается температура газов, что уменьшает эффективность методов.

**Метод адсорбции** – основан на способности некоторых **твердых** пористых материалов селективно (избирательно) извлекать из газовой смеси отдельные ее компоненты. В качестве адсорбентов или поглотителей применяют вещества, имеющие большую площадь поверхности на единицу массы.

Конструктивно адсорберы выполняются в виде вертикальных или горизонтальных емкостей, заполненных адсорбентом, через который проходит поток очищаемых газов. Адсорберы применяют для очистки воздуха от паров растворителей, эфира, ацетона, различных углеводородов и т. п.

Метод позволяет проводить очистку вредных выбросов при повышенных температурах. Примером конструкции адсорбера являются респиратор и противогаз.

На практике применяются следующие адсорбенты: активированный уголь, у которого в 1 г содержится до  $1600 \text{ м}^2$  поверхностей (хорошо сорбирует сернистые соединения); силикагель (микропористое тело, состоит из  $\text{SiO}_2$ ); цеолиты (по химической природе являются алюмосиликатами и подразделяются на природные и синтетические) и др.

Активированные угли характеризуются гидрофобностью и горючестью. По размеру и форме частиц они бывают гранулированные и порошкообразные. Гранулированные угли используют в аппаратах с неподвижным слоем, порошкообразные – только для очистки жидкостей. По сравнению с углями силикагели негорючи, имеют низкую температуру регенерации (и соответственно меньше энергетические затраты на десорбцию), их возможно синтезировать с заданными структурными характеристиками.

Адсорбционная способность адсорбента тем выше, чем меньше его температура и существенно снижается с её повышением. Это используется в работе



адсорбентов и при их регенерации. Отработанные адсорбенты подвергают регенерации (либо термическим методом, либо десорбцией насыщенным или перегретым паром).

**Термический (дожигание) и каталитический** (реакция на катализаторы) методы применяют реже и лишь для небольших выбросов.

При **каталитическом методе** токсичные компоненты газовой смеси, взаимодействуя со специальным веществом – катализатором, превращаются в безвредные вещества. В качестве катализаторов используются благородные металлы или их соединения: платина, оксиды меди и марганца и др. Катализатор, выполняемый в виде шаров, колец или спиральной проволоки, играет роль ускорителя химического процесса.

Широко применяются каталитические нейтрализаторы для отработанных газов автомобилей.

**Термический метод** или высокотемпературное дожигание (термическая нейтрализация) применяется для утилизации горючих отходов, с трудом поддающихся другой обработке (например, сжигаются такие газы, как углеводороды, оксид углерода, выбросы лакокрасочного производства). Этот метод требует поддержания высоких температур очищаемого газа и наличия достаточного количества кислорода.

Использование рассмотренных методов и систем очистки призвано обеспечить максимальное снижение выбросов вредных веществ и теплоты в атмосферу, возврат их в исходный технологический процесс. Для современного производства, как правило, требуется многоступенчатая очистка, особенно, если виды примесей многообразны.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучите правила безопасности, теоретическую часть и ответьте на контрольные вопросы.

2. Соедините входную трубку абсорбера с напорным штуцером насоса. Залейте в насосную станцию абсорбера 2,5 л воды.

Включите насос и с помощью струбины на трубке подачи добейтесь уровня воды в абсорбере 20-40 мм, выключите насос. Зажимами пережмите трубки отбора проб.

**3. Порядок проведения работ по внесению загрязнения воздуха в систему стенда одним из компонентов ( ацетон, бензин БР-1 «Галоша», толуол, этанол).**

3.1. С помощью пипетки-капельницы внесите в центральную горловину камеры 0,2 мл загрязнителя и незамедлительно закройте камеру.

3.2 Закройте краны очистных магистралей, а кран свободной магистрали откройте.

3.3 Включите воздушный насос и не выключайте его до полного (ориентировочно 2-3 мин.) испарения загрязнителя (контроль визуальный).

3.4 Выключите насос, возьмите насос-пробоотборник вставьте в него соответствующую индикаторную трубку со вскрытыми концами и соедините с трубкой-штуцером отбора пробы «до очистки». Снимите зажим. Отберите с

помощью пробоотборника 100 мл загрязненного воздуха. Установите зажим. С помощью шкалы на упаковочной коробке индикаторных трубок определите концентрацию загрязнителя в воздухе пневмосистемы.

#### **4. Порядок проведения работ с адсорбером (активированный уголь или силикагель).**

4.1. Закройте кран свободной магистрали, откройте кран очистной магистрали адсорбера с активированным углем.

4.2. Включите насос и прогоните загрязненный воздух через адсорбер в течение 2-х минут.

Выключите насос и произведите отбор пробы очищенного воздуха через штуцер 11 в соответствии с п. 3.4.

4.3. Определите эффективность очистки воздуха по формуле:

$$\Xi = [(K_3 - K_0) / K_3] * 100\%,$$

где  $K_3$  – концентрация вещества-загрязнителя в загрязненном воздухе, мг/м<sup>3</sup>,  
 $K_0$  – концентрация вещества-загрязнителя в очищенном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

4.4. Откройте краны адсорберов и закрыть кран свободной магистрали. Включите насос. Произвести доочистку пневмосистемы в течение 5 минут.

#### **5. Порядок проведения работ с абсорбером.**

5.1. Произведите действия в соответствии с п.п. 3.1 – 3.4.

5.2. Откройте кран на абсорбер и на свободную магистраль, на адсорберы - закрыть.

5.3 Включите водяной насос. Произведите прокачку воздуха через абсорбер в течение 2-х минут.

5.4 Включите воздушный насос.

5.5 Выключите водяной насос.

5.6 Выключите воздушный насос.

5.7. Произведите отбор пробы очищенного воздуха в соответствии с п.3.4.

5.8. Произведите расчет эффективности очистки воздуха в соответствии с п.3.4.

6. Объем прокачиваемого через соответствующую индикаторную трубку воздуха, мл:

для ацетона	100
для бензина БР-1 «Галоша»	100
для толуола	100
для этанола	100

7. После завершения лабораторной работы выключите установку и проверьте, закрыты ли краны магистралей, камеры. Проветрите помещение.

8. Сделайте выводы и составьте отчет в форме таблицы.

9. Представьте результаты выполненной лабораторной работы преподавателю.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы
2. Краткое описание стенда.
3. Общие сведения о методах и средствах очистки воздуха от газообразных загрязнителей.
4. Таблица результатов исследований. Выводы.

Таблица 1.1

Исследование основных методов очистки воздуха

№ п/п	Метод очистки	Концентрация вещества – загрязнителя, мг/м <sup>3</sup>		Эффективность метода очистки
		в загрязненном воздухе	в очищенном воз- духе	
1	Метод адсорбции (активированный уголь)			
2	Метод адсорбции (силикагель)			
3	Метод абсорбции (вода)			

Выводы:

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите существующие методы очистки воздуха, выделяемые по характеру протекания физико–химических процессов?
2. В чем заключается метод абсорбции и в каких установках он реализуется?
3. Из какого условия выбирают абсорбент, назовите виды абсорбентов?
4. На чем основан метод хемосорбции и чем он отличается от метода абсорбции?
5. На чем основан метод адсорбции?
6. Какие виды адсорбентов вы знаете?
7. В чем сущность методов термической и каталитической сорбции?

## **Лабораторная работа №2**

### **ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДЫ**

Цель работы: 1) оценить экологическое состояние воды по величинам определяемых показателей;

2) установить, необходимо ли фильтровать водопроводную воду.

#### **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

2. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием. Убедитесь в исправности оборудования, наличии необходимой посуды.

3. Соблюдайте чистоту на рабочих столах. Не допускается загромождение столов не нужными в данный момент для работы приборами и посудой.

4. При взбалтывании растворов в колбах или пробирках необходимо закрывать их пробками. Запрещается закрывать отверстие пальцем.

5. Не пользуйтесь надбитой или надтреснутой стеклянной посудой.

6. По окончании работы уберите рабочее место, выключите все приборы.

#### **ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ**

1) колба плоскодонная с притертой пробкой вместимостью 250–300 мл; колориметрические пробирки; трубка–цилиндр для определения прозрачности (длина  $600 \pm 10$  мм, диаметр  $25 \pm 1$  мм), экран для трубки; пипетка для отбора воды; ламинированный образец шрифта (высота 3,5 мм, ширина линии 0,35 мм) или юстировочная метка; шприц с соединительной трубкой; вода, взятая из различных источников.

2) любой бытовой фильтр; водопроводная вода.

#### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

В нашей стране нет единых общегосударственных норм качества воды, поскольку ее пригодность определяется конкретными требованиями отдельных видов водопользования. Качество поверхностных вод нормировано для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования.

Самые высокие требования предъявляются к питьевой воде. Государственный стандарт на воду, используемую для питья и в пищевой промышленности (ГОСТ Р 51232–98), определяет благоприятные для человека органолептические показатели воды: вкус, запах, цвет, прозрачность, а также безвредность ее химического состава и эпидемиологическую безопасность.

Вкус воды обусловлен растворимыми в ней веществами. Нередко неприятный вкус и запах сообщают воде продукты разложения животных и растительных организмов, например – сероводород. Напротив, кислород, диоксид углерода, небольшое количество гидрокарбоната кальция, растворенные в воде, придают ей приятный, освежающий вкус. Вода пригодна для питья, если ее общая минерализованность не превышает  $1000 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Очень малая минерализованность воды (ниже  $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) тоже ухудшает ее вкус, а вода, вообще лишенная солей (дистиллированная), вредна для здоровья, так как ее употребление нарушает пищеварение и деятельность желез внутренней секреции.

Запах воды также зависит от химического состава примесей и от растворенных в ней газов. Различают запахи:

- естественного происхождения (от живущих и отмирающих в воде организмов, воздействия почв и грунтов и др.);
- искусственного происхождения (от случайного попадания сточных вод, от реагентов, используемых для обработки воды).

Интенсивность запаха оценивают по пятибалльной системе, причем для питьевой воды при температуре  $20 - 60^{\circ}\text{C}$  она не должна превышать двух баллов.

Запах воды, подвергнутой хлорированию, определяют через 30 минут после введения хлора. Государственный стандарт устанавливает также цвет и прозрачность питьевой воды. Степень прозрачности (или, напротив, мутность) воды зависит от количества содержащихся в ней взвешенных частиц. Взвеси, содержащиеся в воде, не только портят ее вкус, но и служат благоприятной средой для развития болезнетворных бактерий. Поэтому стандарт строго ограничивает их содержание: в водопроводной воде концентрация взвешенных частиц не должна превышать  $1,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ .

Разумеется, питьевая вода не должна содержать токсичных химических веществ в концентрациях, вредных для человеческого организма. Строго регламентированы реакция воды, которая в питьевой воде должна быть близка к нейтральной ( $\text{pH} = 6,0 - 9,0$ ), и температура питьевой воды в водопроводных сетях.

Содержание в питьевой воде большого количества растворимых солей магния и кальция не только ухудшает ее вкус, но и обуславливает жесткость воды. Жесткая вода неприменима в ряде отраслей промышленности и неприятна при ее бытовом использовании. В ней труднее развариваются продукты и их питательная ценность уменьшается, резко ухудшается моющая способность. Употребление жесткой воды способствует развитию ряда заболеваний.

Вопрос доброкачественности питьевой воды решают путем определения количества кишечных палочек (палочек Коли) в 1 л воды. Кишечная палочка – это микроб, постоянно обитающий в кишечнике человека и животных, и, следовательно, безвредный. Однако ее присутствие в воде свидетельствует о наличии в ней фекальных выделений людей или животных и о возможности загрязнения воды болезнетворными бактериями. Согласно нормам, в 1 л питьевой воды может содержаться не более трех бактерий группы кишечных палочек. Это число называется Коли-индексом воды; обратная величина, т.е. количество

миллилитров воды, в котором находится одна кишечная палочка, называется Коли-титром (для питья – не менее 300 мл на одну палочку).

Контроль требований к нормируемым показателям качества воды в водоемах осуществляют периодическим отбором и анализом проб воды (не реже одного раза в месяц). Количество проб и места их отбора определяют в соответствии с гидрологическими и санитарными характеристиками водоема и согласовывают с местными органами санитарно-эпидемиологической службы. При этом считается обязательным отбор проб непосредственно в месте водозабора и на расстоянии 1 км выше по течению – для рек и каналов, а для озер и водохранилищ (непроточные водоемы) – на расстоянии 1 км от водозабора в двух диаметрально расположенных точках.

С открытых водоемов пробы отбирают в фарватере реки с глубины 50 см. Бутыль с грузом опускают на глубину, после чего пробку открывают с помощью прикрепленного к ней держателя. Лучше для этой цели использовать специальные приборы – батометры, которые позволяют применять посуду разной формы и емкости. Батометр состоит из зажима, плотно обхватывающего посуду, и приспособления для открывания пробки на нужной глубине.

Наряду с анализом проб воды в лабораториях используют автоматические станции контроля качества воды, которые могут одновременно измерять 8 – 10 показателей (концентрацию растворенного в воде кислорода, электрическую проводимость, рН, температуру, уровень воды, концентрацию взвешенных веществ, меди).

На очистных сооружениях машиностроительных предприятий осуществляют контроль состава исходных и очищенных сточных вод, а также контроль эффективности работы очистных сооружений.

Состав производственных сточных вод может значительно колебаться в зависимости от вида и режимов технологического процесса. Контроль состава исходных и очищенных сточных вод осуществляют один раз в 10 дней.

Пробы сточной воды отбирают в предварительно очищенную посуду, изготовленную из боросиликатного стекла или полиэтилена. Анализ следует проводить не позже чем через 12 часов после отбора пробы, так как при большем времени выдерживания пробы в составе сточной воды могут произойти существенные изменения.

Контроль состава сточных вод заключается в измерении органолептических показателей воды, рН среды, содержании грубодисперсных (взвешенных) веществ, химического потребления кислорода (ХПК), количества растворенного в воде кислорода, биохимического потребления кислорода (БПК) и концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК.

Из органолептических показателей воды при анализе состава сточных вод контролируют цвет, запах, прозрачность, мутность и др.

**Цвет.** Качественную оценку цветности воды производят, сравнивая ее с дистиллированной водой. Для этого в стаканы из бесцветного стекла наливают исследуемую и дистиллированную воду и рассматривают их на фоне белой бумаги при дневном освещении сбоку и сверху. При наличии окраски указывают

цвет воды (слабо-желтый, бурый); при отсутствии ее воду называют бесцветной.

Количественно цветность воды (в градусах) определяют методом колориметрии, сравнивая ее с эталонной шкалой (платиново-кобальтовой или кобальто-дихроматной), имитирующей эту цветность. Вода, имеющая цветность  $20^{\circ}\text{C}$ , считается бесцветной. При цветности выше  $35^{\circ}\text{C}$  водопотребление ограничивают.

**Запах.** При оценке запаха сначала дают его качественную характеристику (болотный, землистый, гнилостный, рыбный, ароматический), затем оценивают запах воды по пятибалльной системе. Для этого воду наливают в колбу с притертой пробкой до  $2/3$  объема и сильно встряхивают в закрытом состоянии, затем открывают колбу и сразу же отмечают интенсивность запаха. Наличие запаха в очищенных водах свидетельствует о недостаточной степени очистки или неполном удалении использованных при очистке реагентов (например, хлора).

**Прозрачность.** Прозрачность воды определяют по предельной высоте столба воды, через который просматривается рисунок черного креста с толщиной линий 1 мм и четырех черных кружков диаметром 1 мм на белом фоне. Определение выполняют в цилиндре высотой 35 см, на дне которого лежит фарфоровая пластинка с рисунком (питьевая вода должна иметь прозрачность по кресту не менее 30 см).

Используется и определение прозрачности по шрифту, основанное на нахождении максимальной высоты столба, сквозь который можно прочесть стандартный шрифт, подложенный под цилиндр с водой. Прозрачность воды характеризует количество загрязняющих веществ, присутствующих в воде во взвешенном и коллоидном состоянии.

**Мутность.** Наличие в воде муты объясняется недостаточной степенью удаления грубодиспергированных неорганических и органических примесей. Мутность можно определить гравиметрическим (весовым) методом, отделив взвеси фильтрованием через плотный фильтр.

Для анализа воды применяют химические, физико-химические и бактериологические методы, а определение ее органолептических свойств основывается на использовании органов чувств исследователя.

В данной лабораторной работе первичную оценку качества воды проводят, определяя ее органолептические характеристики с помощью органов зрения (мутность, цветность) и обоняния (запах). Неудовлетворительные органолептические характеристики косвенно свидетельствуют о загрязнении воды.

Поскольку на правильность полученных результатов анализов влияет способ отбора пробы воды и условия ее хранения, проба должна быть отобрана в чистую стеклянную или пластмассовую бутылку объемом не менее 0,5 л (в бутылке должно оставаться не более 5 – 10 мл воздуха); пробы следует анализировать в течение нескольких часов после отбора либо хранить в холодильнике. Могут быть отобраны и проанализированы растаявшие пробы снега (льда) из разных мест: с поля, газона вблизи дороги, у промышленного предприятия и т.д. Можно анализировать пробы сточной воды.

## Задание 1. Определение органолептических характеристик воды

Порядок выполнения работы:

### 1 Определение запаха воды

Заполните колбу водой на треть объема и закройте пробкой.

Взболтайте содержимое колбы.

Откройте колбу и осторожно, неглубоко вдыхая воздух, сразу же определите характер и интенсивность запаха. Если запах сразу не ощущается или запах неотчетливый, испытание можно повторить, нагрев воду в колбе до температуры 60<sup>0</sup>С (подержав колбу в горячей воде). Интенсивность запаха определите по пятибалльной системе согласно табл. 2.1.

Таблица 2.1

Оценка интенсивности запаха воды

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности запаха
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном лабораторном исследовании (при нагревании воды)	1
Слабая	Запах, не привлекающий внимания, но такой, который можно заметить	2
Заметная	Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

Водой, не имеющей запаха, считается такая, запах которой не превышает 2 балла.

Характер запаха определите по табл. 2.2

Таблица 2.2

Оценка характера запаха воды

Запах «естественного» происхождения	Запах «искусственного» происхождения
Неотчетливый (или отсутствует)	Неотчетливый (или отсутствует)
Землистый	Нефтепродуктов (бензиновый)
Гнилостный	Хлорный
Торфяной	Уксусный
Травянистый	—
Другой (укажите, какой)	Другой (укажите, какой)

Чистые природные воды запахов не имеют.



Запах бытовых стоков довольно характерен и представляет собой смесь запахов фекалий и разложений органических веществ.

Запах производственных стоков разнообразен и зависит от вида производства. Для сточных вод описание запаха наиболее важно при появлении новых, ранее не встречавшихся оттенков, а также при резком возрастании интенсивности запаха, что свидетельствует о залповом сбросе концентрированных сточных вод отдельными производствами. Запах определяется так же, как и при анализе природных вод. Сначала определяют характер запаха, затем по пятибалльной системе оценивают его интенсивность.

## **2 Определение цветности**

Заполните пробирку водой до высоты 10 – 12 см.

Определите цветность воды, рассматривая пробирку сверху на белом фоне при достаточном освещении (дневном, искусственном).

Выберите наиболее подходящий оттенок цветности воды: слабо-желтоватая, светло-желтоватая, желтая, интенсивно-желтая, коричневая, красно-коричневая, другая (укажите, какая).

Бытовые сточные воды, как правило, окрашены слабо. Интенсивная окраска показывает наличие производственных сточных вод.

## **3 Определение мутности/прозрачности**

Метод определения мутности/прозрачности основан на определении высоты водяного столба, при котором можно еще прочесть черный шрифт (высота 3,5 мм, ширина линии 0,35 мм) на белом фоне или увидеть юстировочную метку (например, черный крест с толщиной линий 1 мм на белой бумаге).

Проведению анализа могут мешать вещества, окрашивающие воду, а также пузырьки воздуха.

Продолжительность выполнения анализа – не более 5 мин.

Для устойчивости трубку–цилиндр для определения прозрачности закрепите в штативе. Пробу тщательно перемешайте и поместите в трубку. Трубку защитите от бокового света экраном и поместите на ламинированный образец шрифта или юстировочную метку.

Прозрачность пробы наблюдайте сверху через открытое отверстие трубки при достаточном освещении.

Постепенно понижайте уровень пробы, отбирая пипеткой воду до тех пор, пока не станет видимым образец шрифта или юстировочная метка.

Определите максимальную высоту жидкости, при которой различима метка, по делениям на трубке–цилиндре.

Полученные данные об измерении высоты жидкости приводите с точностью до 10 мм.

При необходимости повторите определение.

## **4 Определение осадка**

Взболтанную в бутылке воду налейте в цилиндр слоем примерно 30 см и оставьте в покое 1 час, если вода отобрана из открытого водоема, или на сутки, если вода взята из подземных источников.

Осадок оцените количественно (нет, незначительный, заметный, небольшой) и качественно (песчаный, глинистый, илистый, кристаллический, хлопьевидный). Отметьте также цвет осадка.

Большой осадок свидетельствует о загрязнении воды.

## 5 Обработка результатов и выводы

Занесите полученные результаты в табл. 2.3.

Сделайте выводы об экологическом состоянии источника, из которого была взята проба.

Таблица 2.3

Оценка экологического состояния исследуемого источника воды

Характеристика	Вывод (словесное описание)
Запах	
Цветность	
Мутность/Прозрачность	
Осадок	

## Задание 2. Оценка водопроводной воды и воды, прошедшей через бытовой фильтр

Порядок выполнения работы:

### 1 Ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации фильтра

### 2 Произведите органолептическую оценку непрофильтрованной водопроводной воды на запах и вкус

Отметьте, согласно табл. 2.1, присутствует ли в водопроводной воде посторонний запах и насколько он интенсивен. Напишите свои замечания о запахе водопроводной воды (табл. 2.5).

Определите вкус (солёный, горький, кислый, сладкий) или привкус (щелочной, железистый, металлический, вяжущий и т.д.) водопроводной воды и их интенсивность в баллах по шкале, аналогично определению интенсивности запаха. Определение ведется с заведомо безопасной водой при 20<sup>0</sup>С. Если в предыдущем задании вы установили, что водопроводная вода непригодна для питья, то воздержитесь от дегустации. Если вода оказалась пригодной, то наберите немного воды в рот и через 3 – 5 секунд выплюньте ее. Во рту останется привкус воды.

Оцените его в баллах по таблице 4 и дайте нужную характеристику:

- приятный вкус, характерный для качественной воды;
- вкус не очень приятный и отличается от вкуса нормальной качественной воды;
- вода оставляет неприятный привкус хлора;
- вкус воды неприятный, заставляющий воздержаться от питья.

Вода без привкусов – это такая вода, привкусы которой не превышают 2 баллов. При интенсивности запахов и привкусов выше 2 баллов ограничивается

водопотребление, так как сильные запахи и привкусы могут быть показателями загрязнения воды сточными водами или свидетельствуют о наличии биологически активных веществ, выделяемых сине-зелеными водорослями.

Заполните соответствующую строку в табл. 2.5.

**3. Профильтруйте водопроводную воду, воспользовавшись бытовым фильтром** (действуйте в соответствии с инструкцией, приложенной к фильтру).

Снова произведите органолептическую оценку воды по тем же параметрам (см. табл. 2.1, 2.4). Нужные данные занесите в табл. 2.5.

Таблица 2.4

Оценка интенсивности вкуса и привкуса водопроводной воды

Интенсивность вкуса и привкуса	Характер проявления вкуса и привкуса	Оценка интенсивности вкуса, балл
Нет	Вкус и привкус не ощущаются	0
Очень слабая	Вкус и привкус не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при лабораторном исследовании	1
Слабая	Вкус и привкус замечаются потребителем, если обратить на это его внимание	2
Заметная	Вкус и привкус легко замечаются и вызывают недоброжелательный отзыв о воде	3
Отчетливая	Вкус и привкус заметные и заставляют воздержаться от питья	4
Очень сильная	Вкус и привкус настолько сильные, что делают воду непригодной к употреблению	5

#### 4 Сделайте вывод относительно качества водопроводной воды

Сравните показатели профильтрованной и непрофильтрованной воды. Запишите полученные результаты и вывод о том, нужно ли фильтровать водопроводную воду.

Таблица 2.5

Оценка качества исследуемой водопроводной воды

Характеристика	Непрофильтрованная вода	Профильтрованная вода
Запах		
Вкус (привкус)		

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы (задания).
2. Оборудование и материалы.
3. Краткие сведения о контроле качества воды.
4. Методика проведения исследований.

5. Таблицы результатов исследований.
6. Выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие показатели определяют качество питьевой воды и каким нормативным документом они устанавливаются?
2. От чего зависят вкус, запах, степень прозрачности воды?
3. Что такое жесткость воды?
4. Что показывает Коли-индекс?
5. Как осуществляется контроль качества воды в водоемах, на очистных сооружениях предприятий?
6. Какие органолептические свойства сточной воды вы знаете?
7. Как на практике определяются цветность воды, запах, прозрачность, мутность?

### **Лабораторная работа №3**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

Цель работы: 1) изучение основных физико–химических методов очистки воды (водопроводной, сточных вод);  
2) ознакомление с принципом работы, конструкцией и характеристиками применяемых в лабораторной работе водоочистителей;  
3) экспериментальное определение эффективности очистки фильтра

### **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. Соблюдайте общие требования безопасности в лаборатории.
2. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
3. Используйте только холодную воду! Никогда не пропускайте горячую воду через систему. Вода температурой выше 35°C повредит фильтры.
4. Избегайте резкого открывания кранов. Вода в системе находится под давлением! Это может привести к механическому разрушению водоочистителей с соответствующими последствиями.
5. Избегайте фильтрации сильно загрязненной или не водопроводной воды. Это может привести к существенному сокращению ресурса фильтров.
6. При очистке воды конкретным фильтром или установкой запрещается устанавливать расход воды, превышающий значение, указанное в паспорте этого фильтра или установки.
7. Запрещается включать напряжение на установке для очистки питьевой воды «Изумруд» без предварительной подачи воды.
8. При появлении протечек в гидросистеме следует прекратить проведение лабораторной работы до устранения неисправности.
9. Во избежание протечек давление в гидросистеме следует регулировать при помощи вентиля на отводном канале.

### **ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Внешний вид стенда представлен на рис. 3.1.

Стенд представляет собой стол лабораторный 1 оригинальной конструкции, выполненный в виде сборно-разборного металлического сварного каркаса, на котором устанавливается столешница 2 и вертикальная панель 3.

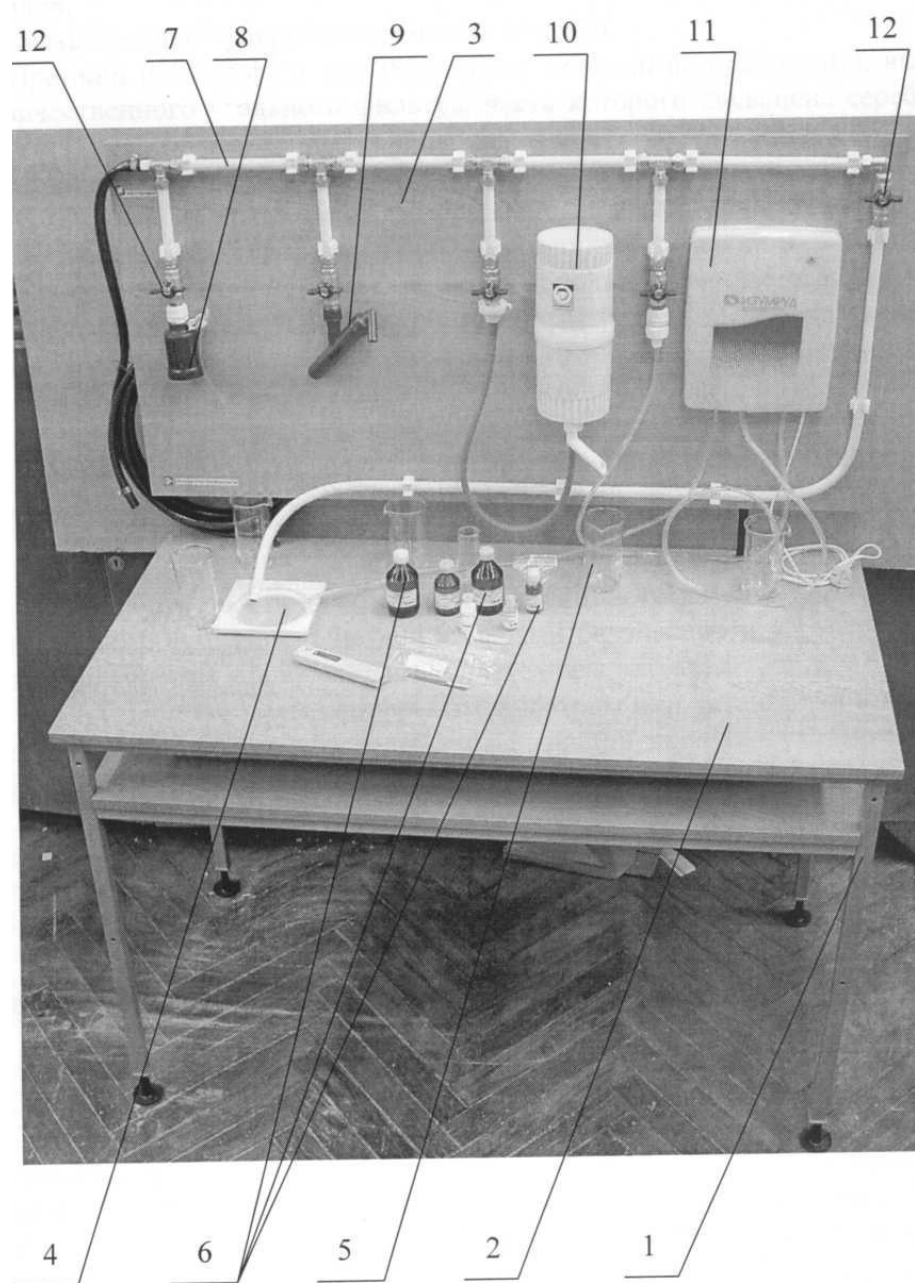


Рис. 3.1. Внешний вид лабораторного стенда

На столешнице 2 установлена раковина сливная 4, которая соединяется с существующей системой канализации. На столешнице также размещены мерные стаканы 5 и "Набор химико-аналитических средств (НХС)" 6.

На вертикальной панели 3 закреплены гидросистема 7 для подвода воды, фильтры "Аквафор В300" 8, "Гейзер-М" 9, "Родник 3м" 10 и установка очистительная "Изумруд" 11.

Гидросистема 7 имеет основную водную магистраль и пять отводных каналов подвода воды. На каждом из отводных каналов установлены шаровые краны 12. Фильтры и установки очистительные подсоединены к четырем каналам подвода воды, а пятый канал предназначен для отбора проб неочищенной водопроводной воды. Подвод воды к гидросистеме 7 осуществляется от системы водопровода холодной (питьевой) воды.

Для оценки качества питьевой воды используются: набор химико-аналитических средств (НХС) и карманный измеритель СОМ100. С помощью набора НХС производится контроль воды по наиболее актуальным химическим показателям: активный хлор, алюминий остаточный, железо общее, жесткость общая, рН, электропроводность. С помощью карманного измерителя СОМ100 производится измерение концентрации солей твердых веществ в воде.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Воду подвергают очистке, чтобы удалить из нее вредные примеси и химические вещества. Состав и свойства воды должны соответствовать нормам.

Важным параметром воды является ее жесткость. Жесткость воды есть совокупность свойств, обусловленная содержанием в ней ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Сумма концентраций этих ионов дает общую жесткость воды.

По количественному содержанию ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  природная вода бывает мягкой (общая жесткость до 2 ммоль/л), средней жесткости (2...10 ммоль/л) и жесткой (больше 10 ммоль/л).

Существенно отличается очистка воды для питьевых нужд, в технологических целях и очистка сточных вод. Причем даже для промышленных стоков, сбрасываемых в водоемы или на грунт и сливаемых в систему канализации, нормативы и требования к очистке различные. И они постоянно ужесточаются. Суммарные затраты на очистку сточных вод современных предприятий в среднем составляют от 15 до 40% их общей стоимости.

Правилами устанавливают нормативные значения параметров для каждого вида воды (питьевая, в водоемах санитарно-бытового назначения, рыбохозяйственных водоемах, сточных водах и др.), которые, в частности, регламентируют:

содержание плавающих примесей и взвешенных веществ, органолептические свойства (запах, привкус, цвет), температуру воды, водородный показатель рН, состав и концентрацию минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, биологическую потребность воды в кислороде, состав и предельно допустимую концентрацию (ПДК) ядовитых, вредных веществ и болезнетворных бактерий.

Существуют различные методы очистки бытовых и производственных сточных вод:

–**механические** - для отделения загрязнителей используют гравитационный и центробежный эффекты (для выделения из сточных вод грубодисперсных минеральных и органических загрязнителей – процеживание, отстаивание и разделение в поле центробежных сил на гидроциклонах; для отделения мелкодисперсных загрязняющих частиц - фильтрацию);

–**физико-химические** - флотация, коагуляция (для интенсификации отделения загрязнителей); экстракция, сорбция, ионный обмен, электродиализ, обратный осмос (для извлечения из стоков необходимых компонентов);

–**химические** - к ним относятся все те методы, при которых в сточные воды вводятся специальные реагенты, вступающие с загрязнителями в химиче-

ские реакции и обезвреживающие их или создающие необходимые условия для их удаления (озонирование, хлорирование, умягчение и др.);

–**биологические** - для удаления из сточных вод растворенных в них органических веществ с помощью биологического окисления в природных или искусственно созданных условиях. В первом случае используются почвы, проточные и замкнутые водоемы, а во втором - специально построенные для очистки сооружения - биофильтры, аэротенки и др.

Часто используют комбинации из вышеперечисленных методов.

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные физико–химические способы, применяемые для очистки сточных вод, а также для доочистки и умягчения жесткой водопроводной воды: сорбция, ионный обмен, электрохимический метод.

### *1 Метод сорбции*

Под сорбционной очисткой воды обычно понимают сорбцию (концентрирование) веществ на поверхности (адсорбция) или в объеме пор (абсорбция) твердого материала. Вещество, на поверхности или в объеме пор которого происходит концентрирование поглощаемого вещества, называют сорбентом, а само вещество – сорбатом. Сорбционные явления основаны на физическом и химическом взаимодействии сорбата и сорбента. Физическая сорбция обусловлена силами молекулярного взаимодействия, в основном дисперсионными. Последние возникают при сближении молекул материала сорбента и сорбируемого вещества и проявляются в упорядочении движения частиц вследствие взаимного притяжения.

Способность удерживать на поверхности молекулы зависит от свойств твердого тела, размеров его частиц, а также наличия на поверхности мельчайших пор и капилляров. Для сорбционной очистки воды используют множество материалов естественного и искусственного происхождения: активированный уголь, силикагель (пористая белая масса, по составу диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ ), цеолиты (минералы, близкие к полевым шпатам), различные глинистые породы (каолинит, тальк, гидрослюда и др.). Следует отметить, что чаще других применяют активированные угли. Это пористые твердые тела, пустоты которых соединены между собой так, что структура их напоминает структуру древесины. В настоящее время для сорбции из водных растворов используют гранулированные и порошкообразные угли, а также углеродные волокна. Промышленность выпускает более 30 марок активированных углей, удельная площадь поверхности которых колеблется в пределах  $450...1800\text{ м}^2/\text{г}$ .

Сорбционный метод очистки позволяет удалить загрязнения чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации. Так, этим способом удается извлечь из растворов более 99 % фенолов, 99 % бензола, 95 % пестицидов, 99,5 % хлороформа, 98 % свинца, 99 % меди, 99% кадмия, 95 % веществ, придающих воде цветность, 90 % органического углерода.

Адсорбцию применяют для глубокой очистки **сточных вод** от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если эти вещества биологически не разлагаются или являются



сильно токсичными при небольшой их концентрации. Адсорбционная очистка может быть регенеративной, т.е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и деструктивной, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Эффективность адсорбционной очистки достигает 0,8...0,95. В качестве адсорбентов используют активированные угли, синтетические вещества и некоторые отходы производства (золу, шлаки и т.д.).

Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой или фильтровании воды через слой адсорбента.

Таким образом, сорбция является практически универсальным методом очистки воды.

### Водоочиститель сорбционного типа "Аквафор"

#### *Устройство и принцип работы*

Водоочиститель состоит из фильтрующего модуля и переходной втулки для подключения его к крану. Переходная втулка оснащена аэратором или рассекателем, задерживающим крупные частицы и обеспечивающим наиболее комфортную и мягкую струю воды.

Содержащиеся в воде растворенные примеси поглощаются фильтрующим материалом – сорбентом, находящимся внутри водоочистителя. Загрязненная вода под действием давления проходит сначала фильтр **первой ступени 1**, производящий очистку от взвесей, примесей и тяжелых металлов, а затем очищается во **второй ступени 2** угольного фильтра. Этот фильтр 2 представляет собой сорбционную матрицу с уплотненным активированным углеродным волокном — производит глубокую очистку от хлора, органических веществ, тяжелых металлов, бактерий и солей жесткости. При проходе через фильтр **третьей ступени 3** вода окончательно очищается и вытекает через изливную трубку 4 (рис.3.2).

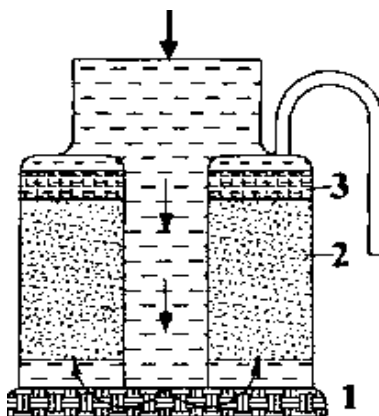


Рис. 3.2. Водоочиститель сорбционного типа «Аквафор»

Водоочиститель является многоступенчатым устройством для очистки воды от всех основных загрязнителей, которые могут присутствовать в воде, в том числе: активного хлора, фенола, тяжелых металлов и пестицидов.

Принцип работы фильтра «Аквафор» основан на использовании свойств активированного углеродного волокна АКВАЛЕН, обеспечивающего глубокую очистку воды.

Техническая характеристика:

– габаритные размеры:

диаметр корпуса, мм.....65;

высота, мм .....120

— масса, кг .....0,2

— производительность, л/ч (л/мин) .....18 (0,3)

Водоочиститель обеспечивает высокую эффективность очистки при пропускании через него 400 л водопроводной воды. Наибольшая эффективность очистки достигается при скорости фильтрации 0,15...0,3 л/мин. Эффективность очистки показана в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Эффективность очистки водоочистителя типа «Аквафор»

Примесь	ПДК	Эффективность очистки, %
Фенол	100	99,5
Бензол	70	99
Пестициды (ГХЦГ)	0,2	95
Хлороформ	1,8	99,5
Свинец	7	98
Медь	2,9	99
Кадмий	80	99

### Водоочиститель сорбционного типа "Родник"

#### *Устройство и принцип работы*

Фильтр (рис. 3.3) состоит из корпуса 3 и крышки 2. В корпус вставлен фильтр-патрон 1 с сорбентом. На патрубок сменного патрона надевается шланг 5 с насадкой 4. К корпусу присоединена сливная трубка 6. Для герметичности в места соединения сменного патрона и корпуса имеется резиновая прокладка 7. Герметичность создается за счет поджатия гайки 8.

Фильтр "Родник-ЗМ" предназначен для доочистки питьевой воды централизованного водоснабжения от химических загрязнений и улучшения органолептических свойств. Улучшает показатели качества питьевой воды по запаху, мутности, содержанию железа и меди. Очищает воду от остаточного хлора, хлороформа, СПАВ, фенолов и нефтепродуктов. Очищает от яиц гельминтов.

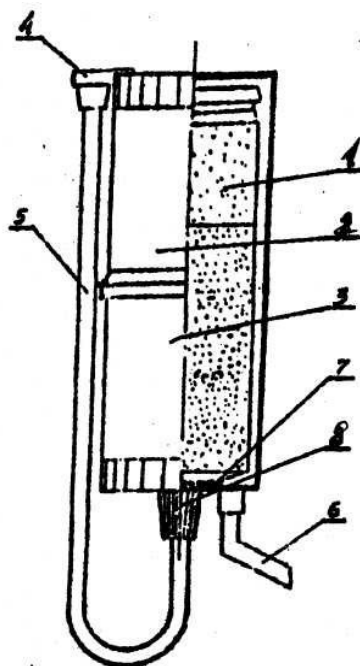


Рис. 3.3. Фильтр бытовой "Родник-3М"

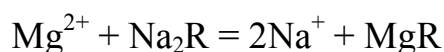
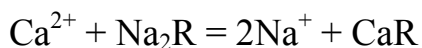
Фильтр можно долго и эффективно использовать, благодаря возможности производить замену выработавшего ресурс патрона.

Принцип работы фильтра основан на применении высококачественного древесного угольного фильтра, часть которого насыщена серебром, благодаря чему фильтр обладает бактерицидными свойствами.

## **2 Ионнообменный метод**

В основе этого метода лежит обратимая химическая реакция, при которой происходит обмен ионами, находящимися на поверхности твердой фазы и ионами в растворе, так называемый гетерогенный ионный обмен. Имеются твердые вещества, которые содержат в своем составе подвижные ионы, способные обмениваться на ионы внешней среды. Они получили название ионитов. Особенно распространены ионнообменные смолы, получаемые на основе синтетических полимеров. Иониты делятся на две группы. Одни из них обменивают свои катионы на катионы среды и называются катионитами, другие обменивают анионы и называются анионитами.

Примером гетерогенного ионного обмена может служить устранение жесткости и обессоливание водопроводной воды. Если пропускать воду через слой катионита алюмосиликата состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , то активные ионы натрия  $\text{Na}^+$  в нем будут обмениваться на ионы кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и магния  $\text{Mg}^{2+}$ , содержащиеся в воде и придающие ей жесткость. Схематически эти процессы можно выразить уравнениями:



Здесь  $\text{Na}_2\text{R}$  — условное выражение состава катионита;  $\text{Na}^+$  — весьма подвижный катион;  $\text{R}^{2-}$  — частица катионита, несущая отрицательный заряд. Таким образом, ионы кальция и магния переходят из раствора в катионит, а ионы натрия — из катионита в раствор, жесткость воды при этом устраняется.

Этот метод позволяет обеспечить высокую эффективность очистки от многих примесей: активного хлора, хлор- и фосфорсодержащих пестицидов, фенолов, железа, тяжелых и радиоактивных металлов. Так, этим способом удается извлечь из растворов 99 % свинца, 90 % кадмия, 94 % цезия – 137, 90 % алюминия, 95 % железа, 98 % хлора.

Ионообменная очистка **сточных вод** заключается в пропускании сточных вод через ионообменные смолы, которые подразделяются на катионитовые, имеющие подвижные и способные к обмену катионы (чаще всего водорода  $\text{H}^+$ ), и анионитовые — имеющие подвижные и способные к обмену анионы (чаще всего гидроксильную группу  $\text{OH}^-$ ). При прохождении сточной воды через смолы подвижные ионы смолы заменяются на ионы соответствующего знака токсичных примесей. Например, катион тяжелого металла заменяет катион водорода, а токсичный анион соли металла — анион  $\text{OH}^-$ , происходит сорбирование токсичных ионов смолой. Регенерация (восстановление сорбирующей способности при насыщении смолы токсичными ионами) осуществляется промывкой кислотой (катионитовая смола) или щелочью (анионитовая смола). При этом токсичные ионы замещаются соответствующими катионами или анионами ( $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ), а токсичные примеси выделяются в концентрированном виде как щелочные или кислые стоки, которые взаимно нейтрализуются и подвергаются реагентной очистке или утилизации.

Ионный обмен позволяет извлекать и утилизировать из сточных вод ценные примеси (соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, медь, ртуть) и радиоактивные вещества. При этом сточная вода может быть очищена до предельно допустимых концентраций вредных веществ и использоваться в технологических процессах или системах оборотного водообеспечения.

## Водоочиститель ионообменного типа "Гейзер"

### *Устройство и принцип работы*

Фильтр (рис. 3.4) состоит из корпуса 1, пористого фильтрующего, элемента 2, выпускного заворачивающегося патрубка 3 и гайки 4, соединяющей корпус фильтра с краном.

Фильтр "Гейзер" предназначен для доочистки питьевой воды. Принцип работы фильтра основан на использовании уникального ионообменного материала. В процессе фильтрации вода проходит четыре стадии очистки:

— **предфильтр** задерживает частицы ржавчины, ила, песка, грязи, глины, что значительно повышает срок службы фильтроэлемента и эффективность его работы;

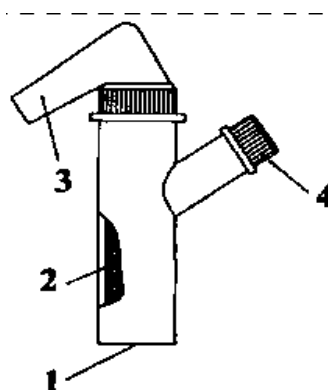


Рис. 3.4. Водоочиститель ионообменного типа "Гейзер"

– **поверхность** фильтроэлемента задерживает взвесь, мельчайшие нерастворимые частицы, масла, другие нефтепродукты, а также микроорганизмы и вирусы (как правило, прикрепленные к частичкам грязи);

– за счет **химического связывания** из воды удаляют остаточный хлор, тяжелые и радиоактивные металлы. Развитая активная поверхность частично **сорбирует** органические соединения, хлор- и фосфоорганику, ядохимикаты, пестициды и другие примеси;

– небольшая добавка **серебра** подавляет жизнедеятельность отфильтрованных микроорганизмов; они не могут размножаться и погибают (микробиологическая очистка).

Эффективность очистки приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Эффективность очистки водоочистителя типа «Гейзер»

Показатели и примеси	Эффективность очистки, %, при объеме водопроводной воды, л		
	150	1000	3000
Взвешенные частицы >5мкм	100	100	100
Мутность	90	100	100
Цветность	87	100	100
Хлор	90	90	90
Свинец, кадмий, цезий–137 и др	95	95	95
Железо общее	85	95	97
Алюминий	70	80	80
Пестициды и канцерогены	95	95	95
Микроорганизмы	90	90	90
Кишечная палочка	99	99	99

### 3 Электрохимический метод

Очистка воды с помощью электричества осуществляется в трех камерах установки: анодной, каталитической и катодной, через которые последовательно проходит очищаемая вода. В качестве очистителей выступают окислители (хлор, кислород, озон и их производные), которые на доли секунды возбуждаются электричеством из химических соединений, присутствующих в исходной воде.

В анодной камере происходит уничтожение микроорганизмов всех видов и форм, микробных токсинов, фенолов и других органических соединений. Под воздействием окислителей они распадаются на простые нетоксичные вещества и, в частности, на воду и углекислый газ. Здесь же происходит окислительная деструкция содержащихся в водопроводной воде токсичных диоксинов.

В каталитической камере продолжается процесс дальнейшего окисления органических соединений и происходит разрушение вредных хлорных соединений. Из этой камеры выходит вода, насыщенная кислородом и практически лишенная растворенных соединений активного хлора.

В катодной камере под воздействием восстановителей происходит снижение токсичности воды, обусловленной наличием в ней ионов тяжелых металлов. Тяжелые металлы преобразуются в нерастворимые гидроксиды и незаряженные атомы.

Для очистки **сточных вод** от различных растворимых диспергированных примесей *электрохимическими методами* применяют процессы анодного окисления и катодного восстановления, а также электродиализ. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. В процессе электрохимического окисления вещества (цианиды, амины, альдегиды, нитросоединения и т.д.), находящиеся в сточных водах, полностью разлагаются, образуя  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и воду или более простые и нетоксичные вещества, которые можно удалять другими методами. При катодном восстановлении из сточных вод удаляются ионы тяжелых металлов, которые осаждаются на катоде и могут быть рекуперированы.

Для удаления солей из сточных вод широко используют *метод электродиализа* (рис. 3.5), который осуществляют в электролитической ванне, разделенной на три отделения двумя диафрагмами. В крайних отделениях размещают электроды. При этом можно получать кислоты и щелочи и вновь использовать их в производстве.

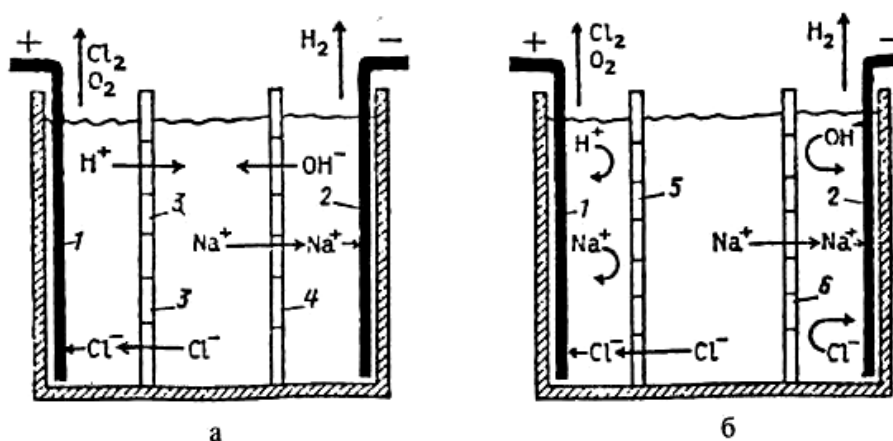


Рис. 3.5. Схемы электрохимически неактивных (а) и электрохимически активных (б) диафрагм для очистки сточных вод методом электродиализа

1 - анод; 2 - катод; 3 - анодная диафрагма; 4 - катодная диафрагма; 5 - анионопроницаемая диафрагма; 6 - катионопроницаемая диафрагма

Метод электродиализа перспективен для очистки сточных вод не только от растворенных солей, но и от ионов тяжелых металлов ( $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  и т.д.) и фтора. Так, технико-экономическая оценка показала, что извлечение 1 кг фтора электродиализом обходится примерно в 5 раз дешевле реагентного метода. Электродиализ дает хорошие результаты при очистке сточных вод и от радиоактивных загрязнителей, особенно от изотопов  $\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{138}\text{I}$ . Недостаток метода состоит в необходимости предварительной очистки сточных вод от взвешенных частиц, которые засоряют диафрагмы.

### Водоочиститель электрохимического типа "Изумруд"

#### *Устройство и принцип работы*

Основным узлом водоочистителя (рис. 3.6) является диафрагменный электрохимический реактор. На наружной поверхности корпуса 1 водоочистителя расположены: индикаторная лампочка включения электропитания 2, выключатель 3, шланг для подачи воды 4, провод для подключения к электросети 5, выходной шланг для очищенной воды 6.

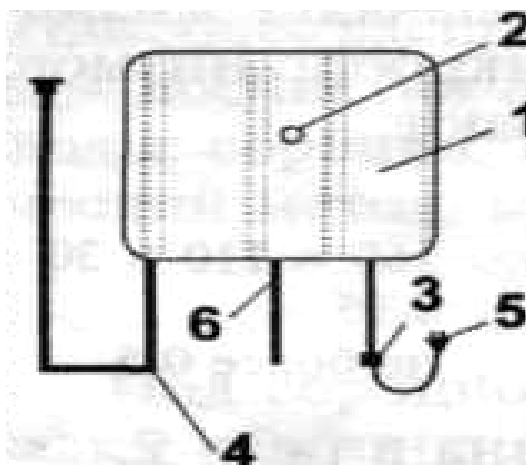


Рис. 3.6. Водоочиститель электрохимического типа "Изумруд"

Установка «Изумруд» предназначена для очистки водопроводной воды от микроорганизмов, токсичных органических соединений, ионов тяжелых металлов, количественное содержание которых в питьевой воде не соответствует санитарным нормам.

В процессе очистки в воде сохраняются необходимые организму человека ионы кальция, магния, лития, калия. Вода насыщается кислородом, изменяет свое энергетическое состояние, ускоряет выведение шлаков и способствует наиболее полному усваиванию питательных веществ.

Принцип работы основан на применении диафрагменного электрохимического и каталитического реактора с вихревой реакционной камерой.

Техническая характеристика:

- производительность, л/ч ..... 40...60
- питание от электрической сети..... 220 В, 50 Гц

– потребляемая мощность, Вт .....	60
– габариты, мм .....	230 x 300 x 50
– масса, кг. ....	1,35

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучите правила безопасности, теоретическую часть и ответьте на контрольные вопросы.
2. Проверьте состояние стенда перед выполнением лабораторной работы: все краны на трубопроводах к фильтрам и общий кран должны быть закрыты.
3. Произведите отбор 150 мл неочищенной водопроводной воды в стакан.
4. Произведите измерение качества воды прилагающимся к стенду прибором.

**Дальнейшее выполнение лабораторной работы возможно только с разрешения или при участии преподавателя.**

5. Плавнo приоткройте кран 12 общей трубы, соединенной с водопроводом.
6. Под выпускное отверстие фильтра 8 подставьте чистый пустой стакан.
7. Откройте кран 12, соединяющий фильтр 8 с общей трубой.
8. Наполните подставленный стакан 150мл отфильтрованной воды.
9. Закройте кран 12.
10. Произведите измерение качества полученной воды прилагающимся к стенду прибором.
11. Занесите результаты в специальную таблицу.
12. Сравните качество полученной воды с качеством воды до фильтрования и определите эффективность очистки по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{M - n}{M} 100\%,$$

где М – концентрация примеси в неочищенной воде;

n – концентрация примеси в очищенной воде

13. Прoделайте операции 6 – 12 на всех фильтрах и кранах, соединяющих фильтры 9, 10, 11 см общей трубой 7.
14. Приведите стенд в состояние, соответствующее п.2. Отключите установку «Изумруд» от сети переменного тока. Все пробы воды слейте из стаканов в раковины.
15. Сделайте выводы и составьте отчет в табличной форме.
16. Представьте результаты выполненной лабораторной работы преподавателю.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Название и цель работы
2. Краткое описание лабораторного стенда.
3. Общие сведения о методах очистки воды, краткое описание основных физико-химических методов.
4. Таблица результатов исследований.



Таблица 3

## Исследование физико-химических методов очистки воды

№ п/п	Метод очистки	Показания изме- нений качества воды после очистки	Первоначальное качество воды	Эффективность метода очистки

Выводы:

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких параметров питьевой и сточной воды установлены нормативные значения?
2. Назовите существующие методы очистки сточной воды?
3. Какие физико–химические методы очистки воды (питьевой и сточной) вы знаете?
4. В чем заключается принцип сорбционной очистки воды?
5. Какие фильтроматериалы обычно применяют в сорбционной очистке?
6. Каков принцип метода ионнообменной очистки воды?
7. Что такое иониты?
8. Какие фильтроматериалы применяют в ионнообменном методе очистки воды?
9. В чем заключается принцип электрохимического метода очистки воды?

## **Лабораторная работа №4**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ СТОЧНОЙ ВОДЫ И ПОЧВ**

Цель работы: 1) определить и объективно оценить кислотность исследуемых растворов сточной воды (водопроводной воды, осадков);  
2) определить и оценить кислотность пробы почвы.

#### **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.
2. Перед началом работы внимательно ознакомьтесь с заданием. Убедитесь в исправности оборудования, наличии необходимой посуды, реактивов.
3. Соблюдайте чистоту на рабочих столах, не загромождайте их ненужными в данный момент для работы приборами и посудой.
4. При взбалтывании растворов в колбах или пробирках необходимо закрывать их пробками, запрещается закрывать отверстие пальцем.
5. Не пользуйтесь надбитой или надтреснутой стеклянной посудой.
6. По окончании работы уберите рабочее место, поставьте по местам хранения химические реактивы.

#### **ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ**

- рН–метр–милливольтметр;
- стеклянный электрод (комбинированный или простой Н–электрод);
- вспомогательный электрод сравнения (каломельный или хлорсеребряный, хлоридсеребряный);
- стандартные буферные растворы из реактивов квалификации «для рН–метрии» с известными значениями рН;
- цилиндр с плоским дном емкостью 50 мл;
- фильтровальная бумага;
- дистиллированная вода;
- исследуемый раствор.

#### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Вода – объект окружающего мира, с которым человек постоянно сталкивается и контактирует в повседневной жизни. Непрерывно возрастающая насыщенность питьевой воды химическими примесями неизбежно воздействует на каждого человека. Серьезную роль в загрязнении водных объектов играет сброс отработанных промышленных вод. Они загрязняют более 1/3 всего речного стока.

Одним из показателей, характеризующих качественный химический состав воды, является кислотность (щелочность). При избыточном поступлении кислоты из кислотных дождей или промышленных стоков в водоемы наблюдается закисление в них воды. Многие животные и растения не могут выжить в усло-

виях повышенной кислотности (улитки, моллюски, ракообразные, фито- и зоопланктон, рыбы, микроорганизмы).

Плодородие почвы, то есть способность обеспечивать органическое и минеральное питание растений, зависит от ее физических и химических свойств. Кислотность, как одно из важнейших химических свойств почвы, оказывает решающее влияние на активность микроорганизмов и усвоение растениями азота. Кислотность почв в среднем близка к нейтральному значению. Флора таких почв особенно богата видами.

Возрастание кислотности почв вызвано недостаточно обоснованным или неправильным применением минеральных удобрений без предшествующего известкования, а в некоторых случаях – выпадением кислотных осадков. Также опасно увеличение щелочности – при избыточном орошении, повышении уровня грунтовых вод (повышению щелочности обычно сопутствует развитие солонцеватости).

Поскольку нормальная жизнедеятельность растений и живых организмов водоемов и поверхностного слоя почв возможна только в условиях нейтральной реакции среды (возможны лишь небольшие отклонения в сторону кислой либо щелочной реакций), при проведении анализа сточных и природных вод, а также почв одним из важнейших определяемых параметров является кислотность.

**Кислотность** сточных (природных) вод и почв обусловлена присутствием в растворе ионов водорода  $H^+$ . Другими словами: любая концентрация ионов водорода  $[H^+]$  в исследуемом растворе соответствует той или иной степени кислотности.

В любом растворе наряду с ионами водорода присутствуют ионы гидроксильной группы  $OH^-$ . Концентрации ионов  $H^+$  и  $OH^-$  могут быть вычислены по величине электропроводности чистой воды, благодаря ее, хотя и небольшой, способности к диссоциации



Эта величина равна  $10^{-7}$  г – ион/л.

Растворы, в которых концентрации водородных и гидроксильных ионов одинаковы и каждая из них равна  $10^{-7}$  г – ион/л, называются нейтральными. В кислых растворах больше концентрация ионов  $H^+$ , в щелочных –  $OH^-$ . Но произведение концентраций – величина постоянная ( $10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$ ). Изменяя концентрацию ионов водорода в растворе, мы, тем самым, одновременно изменяем и концентрацию гидроксильных ионов. Например, если к чистой воде добавить столько кислоты, чтобы концентрация ионов водорода повысилась до  $10^{-2}$ , то концентрация  $OH^-$  – ионов должна быть таковой, чтобы произведение осталось равным  $10^{-14}$ . То есть в этом растворе концентрация  $OH^-$  будет:  $[OH^-] = 10^{-14}/10^{-2} = 10^{-12}$ .

Таким образом, как степень кислотности, так и степень щелочности раствора можно охарактеризовать концентрацией водородных ионов:

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| – нейтральный раствор | $H^+ = 10^{-7}$ |
| – кислый раствор      | $H^+ > 10^{-7}$ |
| – щелочной раствор    | $H^+ < 10^{-7}$ |

Обычно кислотность раствора выражают более простым и удобным способом, используя вместо подлинной концентрации водородных ионов ее логарифм, взятый с обратным знаком. Эта величина называется **водородным показателем** и обозначается рН:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$$

Например:  $[\text{H}^+] = 10^{-5} \rightarrow \text{pH} = 5$   
 $[\text{H}^+] = 10^{-13} \rightarrow \text{pH} = 13$

Следовательно, водородный показатель характеризует степень диссоциации воды на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , соотношение между которыми определяет кислотность, щелочность или нейтральность воды (слабого электролита). Весь диапазон кислотности – щелочности охватывается значениями рН от 0 до 14 (рисунок 1). Данный показатель является индикатором загрязнения открытых водоемов при выпуске в них кислых или щелочных сточных вод.

В результате происходящих в воде химических и биологических процессов и потерь углекислоты, рН воды может быстро изменяться, и этот показатель следует определять сразу же после отбора пробы, желательно на месте отбора.

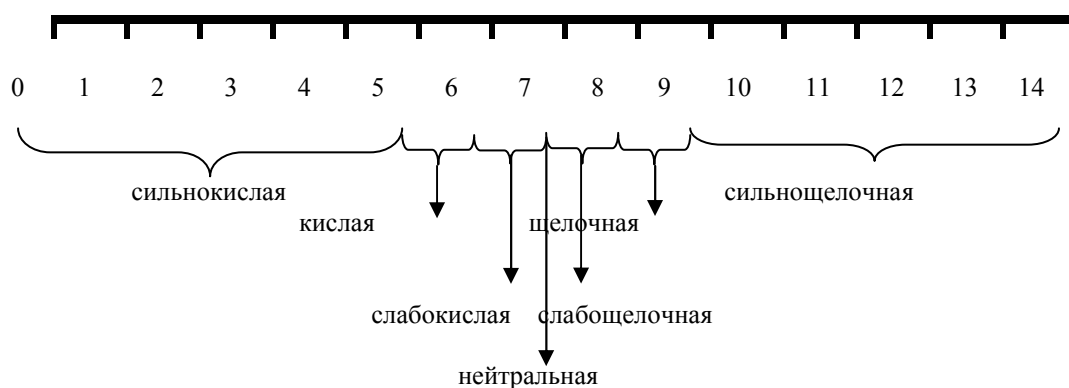


Рис. 4.1. Диаграмма кислотности (рН) растворов

Гигиенические требования к качеству питьевой воды определяются ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая», по которым водородный показатель рН не должен превышать нормативов 6,0 – 9,0 (для ориентации: рН лимонного сока 2 – 3, уксуса столового 2,4 – 3,3, кислого виноградного вина до 3,5; очень кислых атмосферных осадков 2 – 2,1, нормальных – 5,6). Уровень рН пресноводных подземных и поверхностных источников водоснабжения не должен выходить за пределы 6,5 – 8,5.

В настоящее время, по усредненной оценке специалистов, реки состоят на 40% из сточных вод. Это влечет за собой необходимость постоянного контроля качества сбрасываемых промышленных и бытовых вод, а также предварительную очистку и нейтрализацию их перед сбросом в городскую канализацию или водоем.

По определению сточной называется вода, использованная на бытовые или производственные нужды и получившая при этом дополнительные примеси, изменившие ее первоначальный химический состав или физические свойства, а также вода, стекающая с территорий населенных мест, промышленных пред-

приятий и сельскохозяйственных угодий, в результате выпадения атмосферных осадков.

Состав сточных вод сильно колеблется и зависит от специфики производства. Промышленные сточные воды могут быть загрязнены различными примесями:

- механическими (производство строительных материалов, рудообогаительные комбинаты, угледобывающая промышленность и т.д.);
- минеральными (металлургическая и машиностроительная промышленности, производство минеральных удобрений и т.д.);
- органическими (пищевая, бумажная, нефтехимическая промышленности и т.д.)

По степени агрессивности сточные воды подразделяются на:

- сильноагрессивные ( $6 < \text{pH} < 9$ );
- слабоагрессивные ( $\text{pH} = 6 - 6,5$ ;  $\text{pH} = 8 - 9$ );
- неагрессивные ( $\text{pH} = 6,5 - 8$ ).

Контроль активной реакции среды (pH) сточных вод необходим не только на выходе из очистных сооружений, но и на входе в них, поскольку для обеспечения нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, осуществляющих биохимическую очистку воды, требуется реакция среды, близкая к нейтральной ( $\text{pH} = 6,5 - 8,5$ ). При резком отклонении pH от этих значений процесс биохимической очистки может нарушиться и даже полностью прекратиться.

Почва представляет собой полидисперсную систему, состоящую из частиц разных размеров: от крупных – гравий, песок; до мельчайших – илистые и коллоидные частицы. Благодаря содержанию тонкодисперсных частиц и пористости почва обладает способностью задерживать те или иные вещества, приходящие с ней в соприкосновение. Поглощительная способность почв в значительной мере объясняет природу почвенной кислотности или щелочности.

Реакция почвенного раствора колеблется в довольно широких пределах. Кислую реакцию ( $\text{pH} = 4 - 6$ ) имеют болотные и подзолистые почвы, щелочную ( $\text{pH} = 9$ ) – солончаки; нейтральной реакцией с небольшими отклонениями в кислую и щелочную сторону обладают черноземы. Кислая и щелочная среды губительны для растений и микроорганизмов; нейтральная, слабокислая и слабощелочная благоприятны.

Оптимальный диапазон pH для растений примерно от 5,0 до 7,5. Если кислотность увеличивается, прибегают к известкованию почв; при pH более 7,5 – 8,0 используют химические средства для снижения pH. Возможно прямое кислословение серной кислотой, чаще используемое на содовых солончаках-солончаках, внесение гипса, сульфатов железа. Величины pH следует контролировать 2 – 3 раза в год, поскольку нежелательные сдвиги могут проявляться только в один из сезонов.

В настоящее время в почву поступает огромное количество кислотных осадков из атмосферы (окисление оксидов углерода, азота, сероводорода, сернистого ангидрида с образованием кислот); эти поступления исчисляются миллионами тонн в год. В результате этого процесса наблюдается вторичное подкисление почв.

Для измерения кислотности существуют различные методы: титрометрический (применяются специальные реактивы-индикаторы), потенциометрический – точные методы определения pH; использование индикаторной бумаги для различных диапазонов pH – грубое определение.

Познакомимся подробнее с потенциометрическим методом измерения кислотности, основанным на том, что при изменении pH в жидкости на единицу, потенциал стеклянного электрода, опущенного в эту жидкость, изменится на постоянную для данной температуры величину (например, на 52,1 мВ при температуре 298<sup>0</sup>К, на 58,1 мВ при 293<sup>0</sup>К и т.д.). Для определения pH этим методом используют pH–метры–милливольтметры или иономеры различных модификаций. Приборы компактны, удобны в эксплуатации. Достоинством этого метода, в отличие от аналитического титрования, является возможность определения pH окрашенных и мутных растворов.

Сущность метода заключается в определении концентрации ионов водорода непосредственно, используя измеряемую величину электродвижущей силы (ЭДС) гальванического элемента, образующегося при погружении индикаторного электрода и электрода сравнения в анализируемый раствор:

$$\text{ЭДС} = E_{\text{инд. э}} + E_{\text{э.ср.}},$$

где  $E_{\text{инд. э}}$  – потенциал индикаторного электрода, В;

$E_{\text{э.ср.}}$  – потенциал электрода сравнения, В.

При постоянном потенциале электрода сравнения ЭДС определяется изменением потенциала стеклянного индикаторного электрода, зависящим от pH раствора (рис. 4.2).

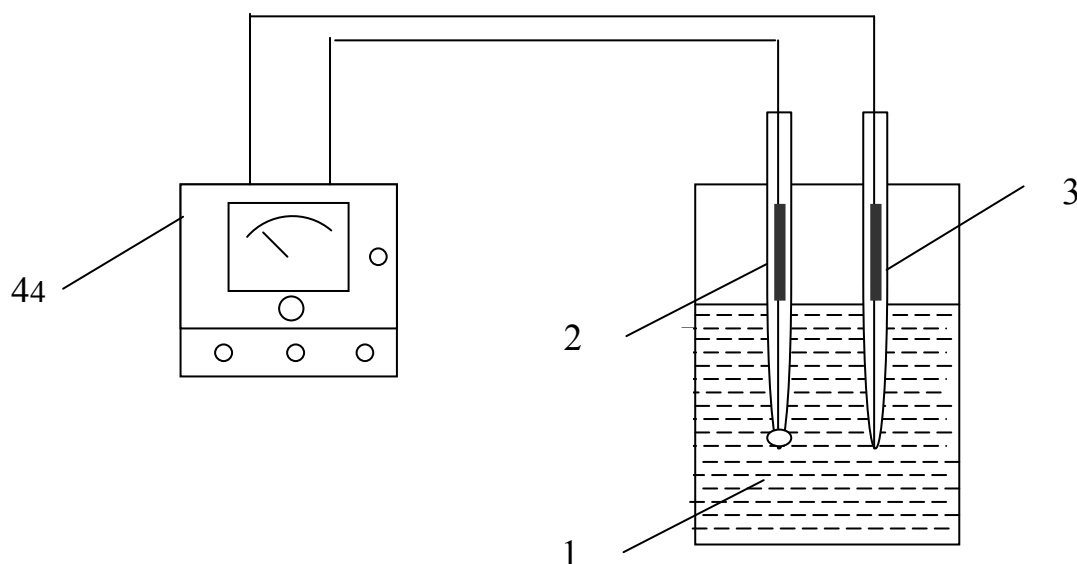


Рис. 4.2. Схема измерения pH растворов  
1 – исследуемый раствор; 2 – стеклянный электрод;  
3 – вспомогательный электрод; 4 – pH–метр

Основная особенность поверхностного слоя индикаторного электрода – исключительно высокая селективность к ионам водорода (т.е. способность пропускать через поверхность только  $H^+$  – ионы). Особенность электрода сравнения заключается в том, что его потенциал остается неизменным независимо от природы раствора и растворителя.

### **Задание 1. Определить кислотность проб сточной воды, используя потенциометрический метод**

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с устройством и принципами работы рН – метра.
2. Перед проведением эксперимента необходимо провести калибровку рН – метра по стандартным буферным растворам. Для этого оба электрода погружают в один из них и контролируют показание по шкале прибора, которое должно точно соответствовать величине кислотности данного буферного раствора. Если соответствия нет – показания необходимо скорректировать с помощью соответствующей ручки прибора. Аналогичную операцию проводят и со вторым буферным раствором.
3. Перед каждым погружением электродов в новую порцию раствора их необходимо тщательно промывать дистиллированной водой ( $pH = 6,0 - 6,5$ ), остаток воды с электродов обязательно удалять фильтровальной бумагой.
4. После калибровки прибора можно приступить к измерению рН исследуемых растворов. Электроды в исследуемом растворе выдерживать не менее 1 мин. для установления диффузного равновесия.
5. Записать показания прибора в таблицу результатов измерения рН.
6. По окончании работы электроды тщательно промыть и оставить погруженными в стакан с дистиллированной водой.

### **Задание 2. На основании экспериментальных значений кислотности определить тип почвы**

Порядок выполнения работы:

1. Настройку и экспериментальное определение кислотности проводим аналогично заданию 1.
2. Проба почвы готовится следующим образом: берем 1 весовую часть исследуемой почвы (почва должна быть тщательно измельченной – 10 г почвы пропускают через сито с отверстиями в 1 мм), помещаем ее в плоскодонную колбу (стакан), смешиваем с 3-мя частями дистиллированной воды (~30 мл) и хорошо взбалтываем до образования однородной смеси. Затем даем отстояться раствору и сливаем в стакан верхний его слой, который используем при определении кислотности.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Название и цель работы (задания).
2. Оборудование и реактивы.

3. Краткое изложение теоретической части; описание метода, используемого при определении кислотности.

4. Привести в табличной форме экспериментальные значения pH.

На основании полученных данных определить и занести в таблицу:

– степень агрессивности сточной воды (неагрессивна, слабоагрессивна, сильноагрессивна, кислая, щелочная и т.д.) и указать возможность (или невозможность) ее сброса в канализацию без предварительной нейтрализации. Если в работе использовалась водопроводная вода, дайте заключение о пригодности этой воды для питья;

– тип почвы (чернозем, солончак, подзолистая).

Таблица 4.1

Результаты измерения pH

Исследуемый раствор	Показатель pH	Заключение по пробе
Сточная вода: – раствор 1 – раствор 2 – раствор 3		
Проба почвы		

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Раскройте понятие «кислотность сточных (природных) вод и почв».
2. Чем можно охарактеризовать степень кислотности (щелочности) раствора?
3. Какая величина называется водородным показателем pH, что он характеризует?
4. Чему равны значения pH для питьевой воды, каким нормативным документом они установлены?
5. Дайте определение сточной воды.
6. Как подразделяются сточные воды по степени агрессивности?
7. В результате чего происходит закисление водоемов, почв?
8. В чем сущность потенциометрического метода измерения кислотности?



## **Лабораторная работа №5**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ЭКСПОЗИЦИОННЫХ ДОЗ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить и освоить методику проведения замеров приборами контроля радиоактивного облучения и получить практические навыки в работе с этими приборами. Ознакомиться с порядком учета доз облучения (дозиметрического контроля).

В работе изучается комплектность, действие и правила эксплуатации приборов:

- измеритель дозы ИД-1 для замера поглощенной дозы (гамма- и нейтронного излучения), диапазон измерения 20...500 рад, в комплекте 10 дозиметров весом по 40 г и зарядное устройство ЗД-6, не требующее элементов питания (340 г);

- измеритель дозы ИД-11 для замера поглощенной дозы гамма- и нейтронного излучения, диапазон измерения 10...1500 рад, в комплекте 500 «слепых» дозиметров по 25г и измерительное устройство (18 кг) для расшифровки показаний дозиметра;

- комплект дозиметров ДП-22В для замера экспозиционных доз излучения, диапазон измерения 2...50 Р, в комплекте 50 дозиметров типа ДКП-50А весом по 32 г и зарядное устройство ЗД-5, работающее от элементов 145У, или ЗД-6;

- комплект дозиметров ДП-24, полностью аналогичный комплекту ДП-22В, но в его составе пять дозиметров ДКП-50А;

- комплект индивидуальных дозиметров КИД-6А для замера экспозиционных доз излучения. Диапазон измерения от 5 мР до 500 Р. В комплект входят 160 дозиметров Д2, то есть до двух рентген, 80 дозиметров Д500 (2...500 Р) и зарядно-измерительный пульт;

- комплект дозиметров термолюминесцентных КДТ-02 для выполнения индивидуального дозиметрического контроля рентгеновского и гамма-излучения. Диапазон измерения 1...1000Р. В комплект входят 1260 дозиметров ДПГ-03, 260 дозиметров ДПС-11-03 и устройство преобразования УПФ-02.

### **Теоретическая часть**

Радиоактивность – это способность ядер некоторых химических элементов самопроизвольно распадаться с образованием ядер новых химических элементов и испусканием ионизирующего излучения.

Ионизирующими называются такие излучения, которые, проходя через среду, вызывают ее ионизацию. Энергию ионизирующего излучения измеряют во внесистемных единицах электрон-вольт (эВ),  $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Ультрафиолетовое излучение и видимый свет не относят к ионизирующим.

По своей природе ионизирующее излучение бывает:

1. Фотонным:

- $\gamma$ -излучение (фотонное излучение, испускаемое при ядерных излучениях или при ассимиляции частиц);
- рентгеновским (фотонное излучение, состоящее из тормозного или характеристического излучения. Под тормозным понимают излучение, возни-

кающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц, а под характеристическим – возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома);

2. Корпускулярным (ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля:  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы, протоны, нейтроны и др.).

Основные источники ионизирующих излучений:

1. Естественные

Земная поверхность служит источником многих видов излучения, так как она содержит различные природные радиоактивные элементы (уран, торий, радий, актиний и т.д.). Вся биосфера подвергается также воздействию излучений, приходящих из космоса. В состав космического излучения входят протоны (более 90%),  $\alpha$ -частицы (7%), ядра тяжелых металлов (1%). Подавляющая его часть имеет галактическое происхождение, лишь небольшая часть связана с активностью Солнца.

2. Антропогенные

В основном это связано с ядерными испытаниями, местами захоронения ядерных отходов и объектами ядерной энергетики.

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организмах, в том числе и человека, как при внешнем облучении (источник находится вне организма), так и при внутреннем облучении (источник внутри организма).

Биологический эффект ионизирующего излучения зависит от величины суммарной дозы, продолжительности воздействия излучения, вида радиации, размеров излучающей поверхности, облучаемого органа и индивидуальных особенностей организма.

Приборы контроля облучения дают возможность контролировать величину поглощенной или экспозиционной дозы, полученной организмом.

Энергия ионизирующего излучения поглощается окружающей природной средой, а в биологических тканях вызывает сложные физические и биохимические процессы, зависящие от суммарной дозы излучения, мощности дозы (уровня радиации), вида и энергии («жесткости») излучения, времени облучения.

*Экспозиционная доза* – это мера количества гамма- или рентгеновских излучений в воздухе. За единицу экспозиционной дозы принят кулон на килограмм (Кл/кг).

Рассчитывается она по формуле

$$D_{\text{э}} = Q/m,$$

где  $Q$  – заряд, Кл, образованный при поглощении рентгеновских или гамма-излучений в воздухе массой  $m$ , кг.

Чаще применяется специальная внесистемная единица «рентген», характеризующая ионизирующую способность данного вида излучения в воздухе ( $1 \text{ Р} = 0,285 \text{ мКл/кг}$ ). Экспозиционная доза отнесенная к единице времени, называется уровнем радиации, или мощностью дозы. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) определяется формулой

$$P_{\text{э}} = D/t,$$

где  $t$  – время в секундах, минутах, часах, сутках, годах.

*Поглощенная доза* – это энергия  $E$ , Дж, поглощенная единицей массы вещества  $m$ , кг. Она определяется формулой

$$D_{\Pi} = E/m.$$

За единицу поглощенной дозы принят «грей» ( $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ ). В качестве специальной внесистемной единицы поглощенной дозы часто используют «рад», когда каждый грамм облучаемого вещества поглощает 100 эрг энергии, то есть  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ .

*Эквивалентная доза облучения*  $D_{\text{ЭКВ}}$  – это мера опасности облучения для человека

$$D_{\text{ЭКВ}} = D_{\Pi} \cdot KK \cdot K_p,$$

где  $KK$  – коэффициент качества (взвешивающий коэффициент, относительная биологическая эффективность), учитывающий вредность биологического воздействия на человека разных видов и энергий излучения;

$K_p$  – коэффициент распределения дозы, учитывающий воздействие  $\alpha$ -активных радионуклидов из-за неоднородности их распределения в тканях организма и их канцерогенной эффективности по отношению к источнику излучения  $\text{Ra}^{226}$ . Для всех гамма-активных радионуклидов  $K_p = 5$ , а для  $\text{Ra}^{226}$  –  $K_p = 1$ .

За единицу эквивалентной дозы принят «зиверт» (Зв). Часто применяется очень удобная в практике внесистемная единица «бэр».

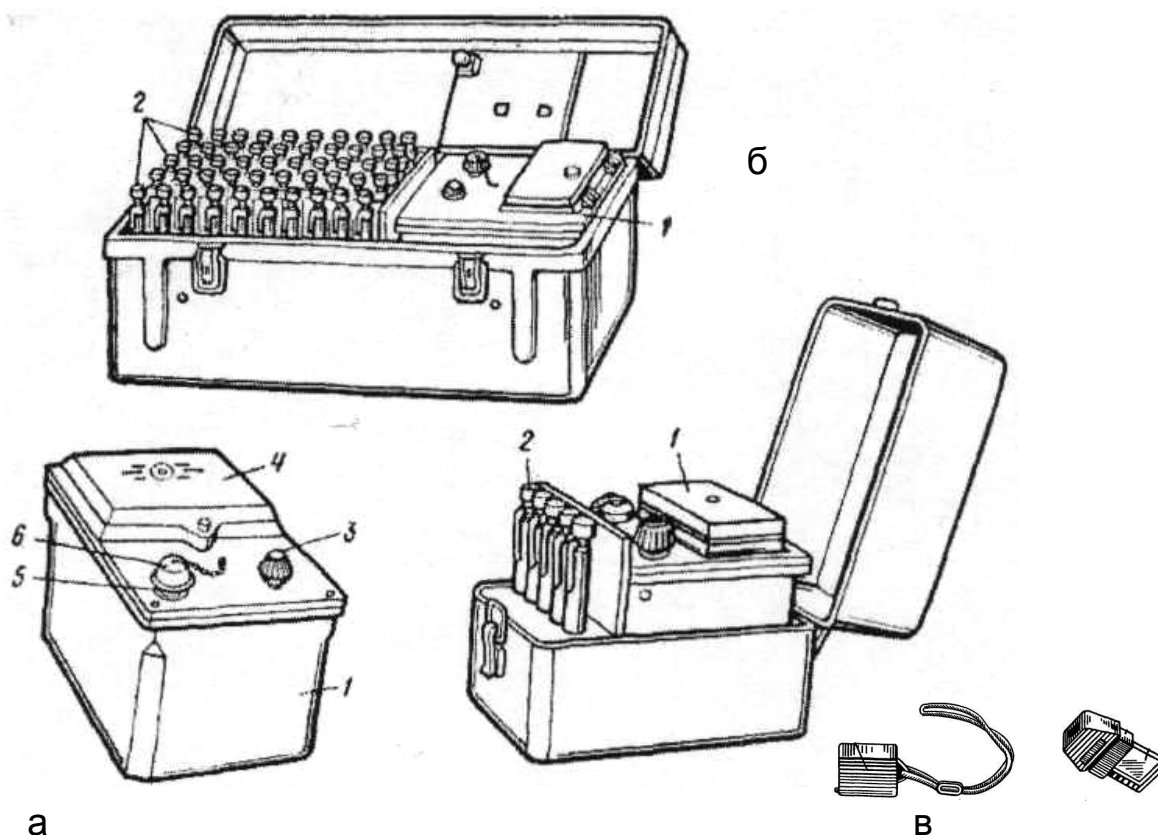


Рис. 5.1. Комплекты индивидуальных дозиметров ДП-24(а), ДП-22В(б), ИД-11(в)

1 – зарядное устройство; 2 – дозиметры; 3 – ручка потенциометра;  
4 – крышка отсека питания; 5 – зарядное гнездо; 6 – колпачок

Комплект ДП-24 (рис. 5.1) обеспечивает фиксацию экспозиционных доз гамма-излучения групповым (один дозиметр на группу исполнителей) или индивидуальным (один дозиметр на каждого работника) методом. Он состоит из зарядного устройства ЗД-5 (ЗД-6) и пяти дозиметров типа ДКП-50А (дозиметр конденсаторный, прямо показывающий дозу до 50 Р).

Дозиметр ДКП-50А (рис. 5.2) состоит из простейшей ионизационной камеры, к которой подключен конденсатор, электроскопа, отсчетного устройства (микроскоп с 90-кратным увеличением; шкала на 50 Р с 25 делениями), контактной группы с хорошими электроизоляционными свойствами. При полном заряде конденсатора подвижная нить электроскопа устанавливается на нулевую отметку шкалы. Воздействие РА излучений приводит к появлению в ионизационной камере тока ионизации, уменьшающего заряд конденсатора, что пропорционально дозе облучения. Это фиксируется перемещением нити по шкале, так как из-за уменьшения заряда электрические силы отталкивания одноименных зарядов ослабевают и подвижная платинированная нить приближается к неподвижной петле. Дозиметр ДКП-50А обеспечивает измерение доз гамма-облучения от 2 до 50 Р при мощности дозы от 0,5 до 200 Р/ч. Конструкция дозиметра обеспечивает его герметичность.

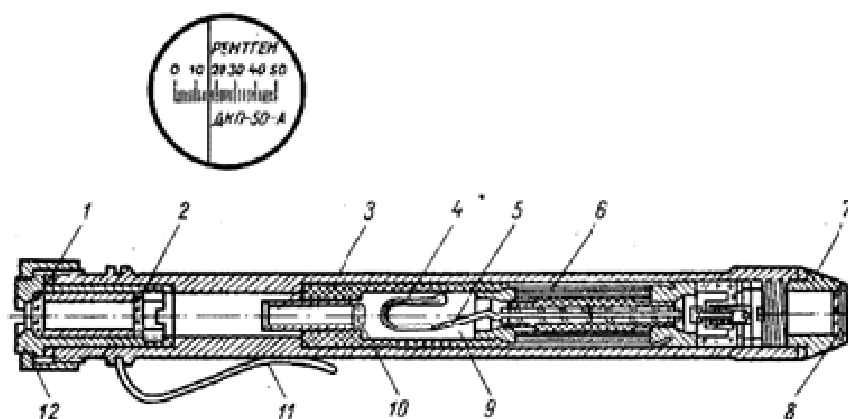


Рис. 5.2. Дозиметр ДКП-50А

1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – корпус дозиметра; 4 – подвижная платинированная нить; 5 – внутренний электрод; 6 – конденсатор; 7 – защитная оправа; 8 – смотровое стекло; 9 – ионизационная камера; 10 – объектив; 11 – держатель; 12 – фасонная гайка с отверстием

Выдача заряженных и работоспособных индивидуальных дозиметров исполнителям работ оформляется в «Журнале учета доз облучения». Никто не имеет права вести учет доз облучения на самого себя. В целях предотвращения неправильных показаний дозиметров не допускаются нарушение их герметичности, контакты с агрессивными веществами, осадками, туманом, а также удары, падения.

Полученная доза облучения регистрируется в журнале контроля облучения.

### **Экспериментальная часть**

Рабочее место обеспечено комплектом ДП-24 с зарядным устройством ЗД-5. Используя техническую документацию, изучить устройство комплекта, его назначение, правила эксплуатации и оформления документации на комплект.

#### **Порядок выполнения работы:**

- принять рабочее место, проверить работоспособность источников питания;
- дозиметр вставлять в зарядное гнездо только на время, необходимое для его заряда (во избежание расхода источников питания);
- при вращении ручки зарядного устройства не прилагать чрезмерных усилий, чтобы не сорвать стопорные устройства;
- не допускать падений, толчков, ударов по элементам комплекта дозиметров.

#### **Подготовка ДП-24 к работе:**

- проверить готовность рабочего места;
- подготовить элементы 145У (источник постоянного тока 2,5В);
- вскрыть футляр, произвести внешний осмотр и проверку комплектности, правильно установить проверенные элементы;
- снять колпачок с гнезда заряда дозиметра ЗД-5;
- установить потенциометр ЗД-5 вращением его ручки до упора против хода часовой стрелки, проявляя осторожность, чтобы сорвать стопор.

#### **Порядок заряда дозиметра ДКП-50А:**

- снять пластмассовый колпачок с индивидуального дозиметра (для снятия колпачка с дозиметра ИД-1 использовать ключ на колпачке ручки ЗД-6);
- вставить дозиметр в зарядное гнездо ЗД-5, при этом должен сработать концевой выключатель и включиться подсветка шкалы;
- несколько дожав дозиметр (для преодоления упругости диафрагмы контактной группы), наблюдать в окуляр, как с поворотом ручки риска шкалы дозиметра установится на нуль (при вращении ручки по ходу часовой стрелки риска должна двигаться справа налево, в сторону уменьшения показаний);
- вынуть дозиметр из гнезда и проверить положение нити на нулевой отметке шкалы при вертикальном положении дозиметра (с учетом ее провисания);
- установить снятые колпачки на свои места;
- привести комплект в исходное состояние.

Оформить журнал контроля облучения, для чего полученную дозу облучения в целях тренировки преподаватель имитирует с помощью зарядного устройства.

По окончании работ с комплектом оформить отчет о проделанной работе, проверить комплектность рабочего места, привести его в исходное состояние и сдать преподавателю.

#### **В отчете на выполненную работу отразить:**

- к какой группе относится исследуемый прибор;

- в каких единицах измеряются дозы излучения;
- название, назначение, принцип работы и состав комплекта;
- привести результаты произведенных замеров и дать их анализ.

**Требования мер безопасности при выполнении работы:**

- интенсивность облучения не должна превышать ПДУ;
- запрещается прикасаться к источнику ионизирующих излучений (ИИИ) руками;
- по окончании работы убрать на штатные места радиоактивные препараты, а использованный инструмент проверить на отсутствие радиоактивного заражения (РЗ) и при необходимости провести дезактивацию;
- при выполнении работы использовать только те приспособления, которые указаны в описи;
- о всех неисправностях немедленно сообщать преподавателю;
- на рабочем месте не должно быть посторонних предметов;
- по окончании работы сдать рабочее место преподавателю.

**Контрольные вопросы:**

1. Что понимается под радиоактивностью?
2. Ионизирующие излучения и их виды.
3. Основные источники ионизирующих излучений.
4. Экспозиционная доза излучения, единицы измерения.
5. Поглощенная доза облучения, единицы измерения.
6. Назначение, принцип работы и состав комплекта ДП-24
7. Устройство и назначение дозиметра ДКП-50А.

## **Лабораторная работа №6**

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

Цель работы: освоение студентами расчета основных показателей, определяющих качество почвы населенных пунктов.

#### **1. Общие сведения**

Поверхность земли испытывает самую значительную по массе и очень опасную антропогенную нагрузку. Если в атмосферу выбрасывается менее млрд. тонн вредных веществ (без  $\text{CO}_2$ ), в гидросферу приблизительно млрд. тонн, то на землю ежегодно попадает ежегодно 85-90 млрд. тонн антропогенных отходов. Каждой тонне мусора на стадии потребления соответствует 10 тонн отходов на стадии производства и примерно 100 тонн отходов при получении сырья.

Антропогенное давление на географическую оболочку сильно увеличилось во второй половине XX столетия. Основные загрязнения почвы в это время связаны с усиленной индустриализацией, урбанизационными процессами и ростом городов. Несмотря на то, что было принято множество деклараций об охране грунтов, они все же нуждаются в защите и охране.

Основные причины загрязнения почвы кроются в нерациональном и безответственном подходе человечества к вопросам природопользования. Поэтому чтобы решить эту необычайно острую проблему, нужно в первую очередь пересмотреть поведение человека в плоскости взаимоотношений «человек - природа».

Основные источники антропогенного загрязнения земли:

- твердые и жидкие отходы добывающей, перерабатывающей и химической промышленности, теплоэнергетики и транспорта;
- отходы потребления (в первую очередь твердые бытовые отходы – ТБО);
- сельскохозяйственные отходы и применяемые в агротехнике ядохимикаты;
- атмосферные выпадения токсичных веществ;
- аварийные сбросы и выбросы загрязняющих веществ.

По оценкам специалистов, с ростом урбанизации в городах прогрессивно уменьшается площадь озеленения и увеличивается запечатанность территории жилыми постройками, камнем, асфальтом и т.д.; ухудшаются почвенно-геологические условия, что ведёт к подтоплению, заболачиванию, просадкам, образованию карстовых зон; увеличивается загрязнение приземного воздушного слоя; наблюдается превышение норм рекреативного использования.

Помимо этого всё большее значение приобретает действие других экологически неблагоприятных факторов:

- переуплотнения корнеобитаемого слоя и захламления поверхности;
- истощения и нарушения органопрофиля;

- сокращения биоразнообразия, микрофлоры и почвенной мезофауны и её структурных изменений;
- заражения патогенными микроорганизмами;
- внедрения загрязняющих веществ, источниками которых являются внутригородские и аварийные выбросы и глобальные массопереносы;
- загрязнения тяжёлыми металлами и другими токсичными веществами;
- изменения кислотности и щёлочности почв.

Принцип нормирования химических веществ в почве значительно отличается от принципов, положенных в основу нормирования их в водоемах, атмосферном воздухе и пищевых продуктах. Попавшие в почву химические вещества поступают в организм человека главным образом через контактирующие с почвой среды: воду, воздух и растения, в последнем случае по биологической цепи почва – растение – человек. Поэтому при нормировании химических веществ в почве учитывается не только та опасность, которую представляет собой почва при непосредственном контакте с ней, но и последствия вторичного загрязнения контактирующих с почвой сред.

С гигиенической позиции опасность загрязнения почвы химическими веществами определяется уровнем ее возможного отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты и непосредственно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения.

По степени возможного отрицательного влияния на почву, растения, животных и другие живые организмы загрязняющие вещества подразделяются на 3 класса:

- I – высокоопасные (мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор);
- II – умеренно опасные (бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром);
- III – малоопасные (барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций).

Основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почвы вредными веществами является ПДК химических веществ в почве. В настоящее время в России действует ПДК для более 100 веществ в почве и для семидесяти веществ установлены расчетным путем ориентировочно допустимые концентрации.

Для оценки опасности загрязнения почв выбор химических веществ (показателей загрязнения) проводится с учетом:

- специфики источников загрязнения, определяющих комплекс химических элементов, участвующих в загрязнении почв изучаемого региона;
- приоритетности загрязнителей в соответствии со списком ПДК химических веществ в почве и их классов опасности;
- характером землепользования.

Если нет возможности учесть весь комплекс химических веществ, загрязняющих почву, оценку проводят по наиболее токсичным веществам, т.е. относящимся к наиболее высокому классу опасности.



При отсутствии в документах класса опасности химических веществ, приоритетных для почв обследуемого района, их класс опасности J может быть определен по следующей формуле:

$$J = \frac{\lg(A \cdot S)}{\alpha \cdot M(\text{ПДК})}, \quad (1)$$

где A – атомный вес соответствующего элемента; S – растворимость в воде химического соединения, мг/л; M – молекулярная масса химического соединения, в которое входит данный элемент;  $\alpha$  – среднеарифметическое из шести ПДК химических веществ в разных пищевых продуктах (мясо, рыба, молоко, хлеб, овощи, фрукты).

В связи с тем, что вредные вещества поступают в организм человека по пищевым цепям, то установлены также допустимые остаточные количества (ДОК) пестицидов в почве, пищевых и кормовых продуктах.

В общем плане при оценке опасности загрязнения почв химическими веществами следует учитывать следующее:

1 – опасность загрязнения тем больше, чем выше фактические уровни содержания контролируемых веществ в почве ( $C_i$ ) по сравнению с ПДК;

2 – опасность загрязнения тем больше, чем выше класс опасности контролируемых веществ;

3 – при оценке опасности загрязнения любым токсикантом следует учитывать буферность почвы, влияющую на подвижность химических элементов, что определяет их воздействие на контактирующие среды.

Оценка опасности загрязнения почвы населенных пунктов определяется:

- эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы;
- ролью загрязненной почвы, как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и при ее непосредственном контакте с человеком;
- значимостью степени загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха.

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:

1) коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$ :

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\Phi}}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – фактическое содержание вещества в почве, мг/кг;  $C_{\Phi}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в почве, мг/кг.

2) суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c_i} - (n - 1), \quad (3)$$

где n – число суммируемых элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, приведенной в табл. 6.1. Градации оценочной шкалы разработаны на основе изучения показателей состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

Таблица 6.1

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

Значение $Z_c$	Категория загрязнения почв	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Менее 16	Допустимая	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
16...32	Умеренно опасная	Увеличение уровня общей заболеваемости
32...128	Опасная	Увеличение уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Более 128	Чрезвычайно опасная	Увеличение уровня общей заболеваемости детского населения, женщин с нарушениями репродуктивной функции (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов)

Опасность загрязнения почв, используемых человеком в своей деятельности, определяется в соответствии с данными, приведенными в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Оценка почв, загрязненных химическими веществами

Категория загрязнения почв		Характеристика загрязнения	Возможность использования территории	Предлагаемые мероприятия
1	2	3	4	5
I	Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не превышает ПДК	Под любые культуры	Контроль уровня воздействия источников загрязнения почвы и доступности токсикантов для растений (известкование, внесение минеральных удобрений и т.п.)

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4	5
II	Умеренно-опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	Под любые культуры при условии контроля их качества	Аналогичные мероприятия I категории. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или воздушным показателем контроль этих веществ в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих и в воде местных источников
III	Высоко-опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при транслокационном показателе вредности	Под технические культуры. Использование под сельскохозяйственные культуры ограничено учетом растений - концентраторов	Кроме мероприятий, указанных для категории I, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях – продуктах питания и кормах. При необходимости выращивания растений – продуктов питания рекомендуется их перемешивать с продуктами, выращенными на чистой почве. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом растений – концентраторов.
IV	Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	Под технические культуры. Лесозащитные полосы	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих и в воде местных источников.

## 2.Выполнение работы

### 2.1 Порядок выполнения работы

В соответствии с данными варианта задания рассчитать следующие показатели:

- 1) коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$  в почве (формула 2);
- 2) суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (формула 3);
- 3) Оценить опасность загрязнения почв по показателю  $Z_c$  (табл. 6.1, 6.2).

## 2.2 Исходные данные для выполнения работы

Загрязняющее вещество	Класс опасности	Фактическое содержание вещества в почве $C_i$ , мг/кг	Фоновая концентрация $C_f$ , мг/кг по вариантам		
			1	2	3
Мышьяк	I	0,3	0,2	0,09	0,06
Ртуть	I	0,9	0,1	0,021	0,03
Хром (VI)	II	0,11	0,05	0,06	0,04
Марганец	III	300	655	300	430
Ванадий	III	30	10	75	37

## 3. Контрольные вопросы

1. Назовите основные источники антропогенного загрязнения земли.
2. На чем основан принцип нормирования химических веществ в почве?
3. Основные экологические аспекты роста урбанизации в городах.
4. На какие классы подразделяются загрязняющие почву вещества?
5. По каким критериям производится оценка опасности загрязнения почв химическими веществами?
6. Основные составляющие оценочной шкалы опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения.

## **Лабораторная работа №7**

### **ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ**

Целью работы является изучение приборов и методик измерения содержания газов и паров в атмосферном воздухе.

#### **Требования техники безопасности при выполнении лабораторной работы**

При работе с веществами, являющимися источниками вредных газов и испарений, нельзя допускать попадания большого количества этих веществ в органы дыхания и на слизистую оболочку.

Во избежание попадания отравляющих веществ в органы дыхания запрещается определять их по запаху.

В случае попадания вредных веществ или реактивов на кожу или в глаза, необходимо их смыть обильной струей чистой воды.

#### **Общие сведения**

Особенностью нормирования качества атмосферного воздуха является зависимость воздействия загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, на здоровье населения не только от значения их концентраций, но и от продолжительности временного интервала, в течение которого человек дышит данным воздухом.

Вредные вещества в атмосферном воздухе могут быть в виде пара, газа, аэрозоля или их смесей.

Все вредные вещества по степени воздействия на организм подразделяются на четыре *класса опасности*:

- 1) вещества чрезвычайно опасные (ртуть, озон, мышьяк, фосген и др.);
- 2) вещества высокоопасные (бензол, оксиды азота, медь, хлор и др.);
- 3) вещества умеренно опасные (нефть, ацетон, нитрофен, табак и др.);
- 4) вещества малоопасные (бензин, керосин, окись углерода и др.).

Кроме того, различают несколько групп веществ, характеризующихся специфическими особенностями действия на организм – канцерогенным, аллергенным, фиброгенным действием; вещества, опасные для развития острого отравления (остронаправленным механизмом действия, раздражающим действием); вещества, опасные для репродуктивного здоровья человека и др.

Поэтому в Российской Федерации, как и во всем мире, для загрязняющих веществ, как правило, установлены 2 норматива:

- норматив, рассчитанный на короткий период воздействия загрязняющих веществ. Данный норматив называется «предельно допустимые максимально-разовые концентрации».

- норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 часов, сутки, по некоторым веществам год). В Российской Федерации данный норматив устанавливается для 24 часов и называется «предельно допустимые среднесуточные концентрации».

**ПДК** - предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. Величины ПДК приведены в мг/м<sup>3</sup>. (ГН 2.1.6.1338-03)

**ПДК<sub>МР</sub>** – предельно допустимая максимальная разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация при вдыхании в течение 20-30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека.

**ПДК<sub>СС</sub>** – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании.

Таблица 7.1

Предельно допустимые концентрации распространенных загрязняющих веществ в РФ

Наименование вещества	ПДК <sub>МР</sub> (мг/м <sup>3</sup> )	ПДК <sub>СС</sub> (мг/м <sup>3</sup> )	Класс опасности
Оксид углерода (CO)	5	3	4
Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,2	0,04	3
Оксид азота (NO)	0,4	0,06	3
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,5	0,05	3
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	0,2	0,04	4
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	0,008	-	2
Озон (O <sub>3</sub> )	0,16	0,03	1
Формальдегид	0,05	0,01	2
Фенол	0,01	0,006	2
Бензол	0,3	0,1	2
Толуол	0,6	0,05	3

Постоянный контроль за состоянием атмосферного воздуха осуществляется путем отбора максимальных разовых и среднесуточных проб воздуха в точках, расположенных в заранее определяемых местах. С целью правильного размещения точек отбора проб необходимо располагать планом исследуемого района с нанесением на этот план основных ориентиров. Следует иметь данные, характеризующие то или иное предприятие как источник загрязнения атмосферного воздуха. Это поможет установить время отбора проб воздуха в течение суток или сезона, а также определить расстояния, на которых необходимо вести отбор проб воздуха.

При расстановке точек отбора проб учитывают метеорологические и рельефные особенности размещения производств, сложившуюся ситуацию по взаиморасположению объектов и жилых районов, а также другие специфические осо-

бенности.

Одновременно с отбором проб на всех точках производят наблюдения за скоростью и направлением ветра, отмечают атмосферное давление и температуру.

**Отбор максимальных разовых проб.** При изучении загрязнений атмосферного воздуха проводят отбор проб в зонах максимального загрязнения, непосредственно в факеле выброса. Отбор проб может быть проведен последовательно в каждой зоне обязательно с захватом факела.

Лучшим вариантом отбора максимальных разовых проб следует считать одновременный отбор во всех обследуемых зонах, причем в 2 - 4 точках, расположенных поперек в каждой зоне факела. Расстояние крайних точек относительно осевой обычно не превышает 5% расстояния от источника выброса до зоны исследования (например, в зоне 2000 м 2 точки должны быть расставлены на расстоянии не более 100 м от точки, находящейся на оси). При таком отборе проб учитывают максимальные показатели, боковые точки лишь подтверждают правильность расстановки точек. Отбирают пробы на уровне 1,5 м от земли (в зоне дыхания), в местах, где нет пыли, например на газоне, твердом грунте и т.п. Отбор проб в подвижных и стационарных точках обычно не превышает 30 мин.

**Отбор среднесуточных проб.** Среднесуточные пробы отбирают на стационарных и подвижных точках, в зоне дыхания человека на высоте 1,5 м от земли, на открытых площадках в удалении от строений. Выбирают точки отбора там, где нет пыли. В стационарных точках отбор проб проводят периодически, не меняя их расположения. В подвижных точках отбор проб проводят также в течение суток, но, в зависимости от изменяющихся условий, перемещают точки отбора.

При отборе проб в стационарных точках не учитывают направление ветра, и, если пункт наблюдения выходит из факела, отбор проб продолжают.

Обычно для отбора проб выбирают период наибольшего загрязнения атмосферного воздуха по условиям выброса или метеорологическим данным. Рекомендуется отбирать среднесуточные пробы в количестве не менее 10 - 15 в сезон.

Определение загрязнений в атмосфере включает следующие операции:

- отбор проб воздуха и концентрирование микропримесей вредных веществ;
- подготовка пробы к анализу;
- анализ микропримесей, обработка результатов анализа и прогноз изменения состояния окружающей среды.

Для отбора проб воздуха используются электроаспираторы, пылесосы и другие приборы и устройства, пропускающие воздух, а также устройства, регистрирующие объем пропускаемого воздуха (реометры, ротаметры и другие расходомеры). Для достоверного определения концентрации вещества расход воздуха должен составлять десятки и сотни литров в минуту. Отбор проб производится в соответствии с нормативно-методической документацией с указанием даты и способа отбора и консервации. Отбор проб атмосферного воздуха осу-

ществляется через поглотительный прибор аспирационным способом путем пропускания воздуха с определенной скоростью или заполнения сосудов ограниченной емкости.

*Метод ручного определения* (экспресс метод) загрязнения воздуха основан на прокачивании его через поглотительное устройство для улавливания газообразных соединений. Используют также ручные насосы и резиновые груши. При отборе проб аспирационным методом необходимая эффективность поглощения примесей достигается сочетанием скорости аспирации воздуха через поглотительную среду и конструкции примененного поглотительного прибора. Наиболее часто используемые поглотительные приборы представляют собой полые стеклянные трубочки, концы которых присоединены к аспиратору.

### **Методика выполнения работы**

#### ***Приборы и методика определения концентрации вредных веществ универсальным газоанализатором УГ-2***

Универсальный переносной газоанализатор УГ-2 предназначен для определения концентрации вредных газов и паров.

Универсальный газоанализатор УГ-2 (рис. 7.1) *состоит из*: корпуса 1 с крышкой; сильфона 2 (гофрированной резиновой трубки); пружины 3; распорного кольца 4; неподвижной втулки с фиксатором 8; резиновых трубок 10 и 12; комплекта штоков 6; платы 9 (верхней панели).

В комплект прибора входят принадлежности: индикаторные трубки; фильтрующие патроны; индикаторные порошки для разных видов веществ; стержень; воронки; заглушки; штырьки; резиновые трубки.

Сильфон 2 можно сжать с помощью мерного штока 6 и таким образом заранее знать объем воздуха, который попадает в сильфон после освобождения штока и разжатия пружины 3.

Если к воздухозаборной резиновой трубке 10 газоанализатора подсоединить индикаторную трубку с химическим порошком, изменяющим цвет при вступлении в реакцию с исследуемым газом, то, используя градуированную шкалу этикетки, можно определить концентрацию газа по длине окрашенной части химического вещества в индикаторной трубке.

На гранях штока (под шляпкой) обозначен объем просасываемого воздуха. На цилиндрической поверхности штока имеются четыре продольные канавки 5, каждая с двумя углублениями, служащими для фиксации объема просасываемого воздуха.

Измерительные этикетки градуированы по концентрации в  $\text{мг/м}^3$  с указанием объема, просасываемого при анализе воздуха в мл. При проведении анализа объема просасываемого воздуха, указанные на грани штока и этикетке должны совпадать.

Индикаторные трубки – стеклянные трубки длиной 90 мм и внутренним диаметром 2,5 мм, заполненные индикаторным порошком.

Фильтрующие патроны – стеклянные трубки 100 мм с перетяжками, суженные с обоих концов и заполненные соответствующими поглотительными порошками, задерживающими примеси, мешающие определению интересую-



щих нас газов.

*Принцип работы газоанализатора основан на просасывании через индикаторную трубку определенного для каждой вредности объема воздуха и использовании специфических цветных реакций, протекающих в индикаторных трубках между определяемым газом и специальным реактивом.*

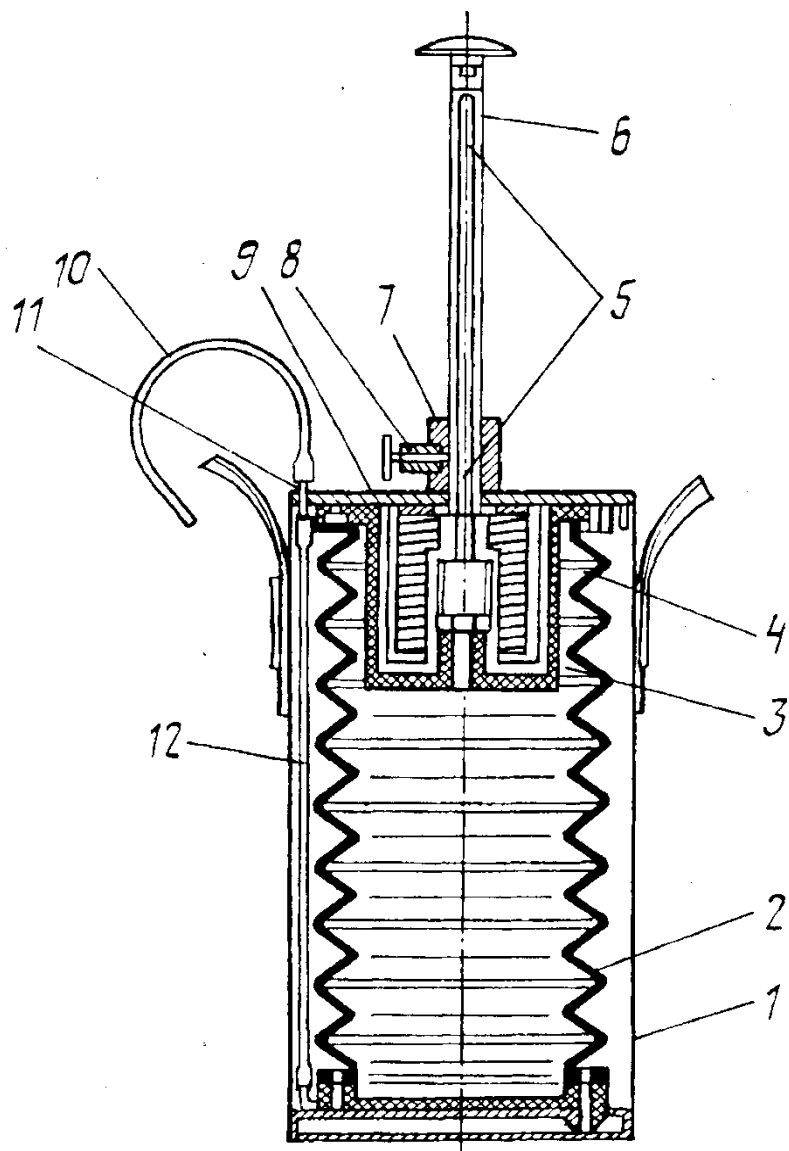


Рис. 7.1. Универсальный газоанализатор УГ-2

- 1 – корпус; 2 – сильфон; 3 – пружина; 4 – кольцо распорное;  
5 – канавка с двумя углублениями; 6 – шток; 7 – втулка; 8 – фиксатор;  
9 – плата; 10, 12 – трубки резиновые; 11 – штуцер

Методика определения концентрации вредных веществ УГ-2 заключается в последовательном выполнении следующих операций.

*Проверить герметичность воздухозаборного устройства УГ-2*

Сжать сильфон штоком до верхнего отверстия на объеме 400 см<sup>3</sup>, зафиксировать это положение фиксатором. Трубку резиновую перегнуть и зажать зажимом, отвести фиксатор и после первоначального рывка штока его отпустить.

Воздухозаборное устройство считают герметичным, если в течение  $10 \pm 2$  минуты не наблюдается заметное перемещение штока.

#### *Изготовить индикаторные трубки*

В один конец индикаторной стеклянной трубки вставить стержень, в противоположный конец трубки вложить тампон из ваты и штырек, уплотнить вату с помощью стержня до 2...4 мм. Вынуть стержень. Через воронку через индикаторную трубку насыпать индикаторный порошок из ампулы, вскрытой перед употреблением. Постукивая по стенке трубки, удерживая ее вертикально, стержнем уплотнить столбик индикаторного порошка. Контролировать длину уплотнительного столбика длиной стержня от конца до нанесенной на нем метки. Вставить второй тампон толщиной 2-3 мм.

#### *Проверить правильность уплотнения порошка в индикаторной трубке*

Проверить продолжительность хода штока до защелкивания на соответствующем штоке (по этикетке). Если она до защелкивания меньше, указанной в этикетке, то порошок уплотнен слабо и наоборот.

Изготовленные индикаторные трубки загерметизировать колпачками из смеси парафина с полиэтиленом. Опуская поочередно концы трубок в расплавленную смесь на 3-7 мм, уложить, чтобы она остыла.

#### *Провести измерения*

Для определения концентрации газов, пара открыть крышку УГ-2, проверить соответствие номера штока, его объема, указанному на этикетке для данного вещества.

Отвести фиксатор, вставить шток в направляющую втулку так, чтобы наконечник фиксатора скользил по канавке штока, над которым указан просасываемый объем воздуха.

Давлением руки на головку штока нажать до тех пор, когда конец фиксатора попадет в верхнее углубление в канавке штока. При этом конец резиновой трубки оставить свободным.

Индикаторную трубку освободить от герметизирующих колпачков. Присоединить к резиновой трубке УГ-2 индикаторную трубку и расположить в месте измерения.

При наличии в воздухе паров, газов, мешающих определению, уловить их фильтрующим патроном, который соединить с помощью резиновой трубки к индикаторной трубке узким концом встык. Измерение начинать не позднее 1 минуты после разгерметизации трубок.

Надавливая одной рукой на головку штока, другой отвести фиксатор. Как только шток начинает двигаться, фиксатор отпустить и выключить секундомер. Когда фиксатор войдет в нижнее углубление канавки штока, будет слышен щелчок, но просасывание воздуха еще продолжается. Общее время просасывания воздуха должно соответствовать указанному в таблице этикетки для определенного газа.

Индикаторный порошок после воздействия определяемого газа (пара) меняет окраску согласно таблице паспорта.

Найти концентрацию определяемого газа (пара) путем совмещения нижней

границы столбика окрашенного порошка индикаторной трубки с нулевой отметкой измерительной шкалы этикетки.

Рассчитать концентрацию  $C_n$  анализируемого компонента в воздушной среде, приведенную к нормальным условиям, т.е. к температуре 20°C и атмосферному давлению 101,3 кПа=760 мм рт.ст., по формуле

$$C_n = C_{t,H} \cdot \frac{(273 + t) \cdot 101,3}{293 \cdot P}, \text{ мг/м}^3, \quad (7.1)$$

где  $C_{t,H}$  – результат измерения концентрации с помощью индикаторной трубки при температуре  $t$  и давлении  $P$  мг/м<sup>3</sup>;

$t$  и  $P$  – температура окружающего воздуха (°C) и атмосферное давление (кПа) соответственно, в момент анализа;

293 и 101,3 – температура (°K) и давление (кПа), соответствующие нормальным условиям измерений по ГОСТ 12.1.014.

Полученные результаты измерений сравнивают с предельно допустимыми значениями концентрации рассматриваемого газа (пара) по ГН 2.1.6.1338-03.

### ***Приборы и методика определения концентрации вредных веществ индикаторными трубками с помощью насоса-пробоотборника типа НП-3М***

Для определения концентрации вредных газов, паров с помощью серийно выпускаемых индикаторных трубок используют различные приборы с воздухозаборными устройствами типа насоса, сиффона и других.

Насос-пробоотборник ручной НП-3М предназначен для прокачивания дозированного объема газовой смеси через средства контроля газовой смеси (индикаторные трубки, индикаторные элементы и др.) в эколого-аналитическом, санитарном контроле и при аварийных ситуациях.

Насос-пробоотборник и элементы его конструкции показаны на рисунках 2 и 3.

Насос-пробоотборник (рис. 7.2) состоит из цилиндра (3), в котором размещается шток с поршнем (5). Роль обратного клапана на поршне выполняет сквозное отверстие, прикрытое манжетой, надетой на шток и прижатой к поршню пружиной.

На один из концов цилиндра наворачивается крышка с фиксатором (4), удерживающая шток в требуемом положении. К другому концу цилиндра с помощью переходной втулки (2) крепится насадка (1). В переходной втулке помещен защитный патрон с сорбентом.

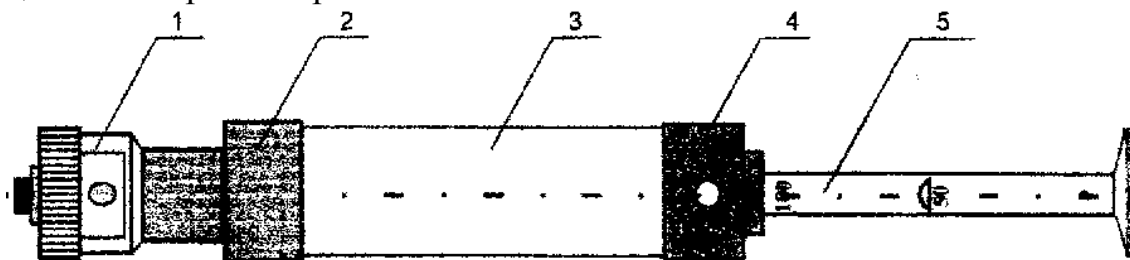


Рис.7.2. Внешний вид насоса пробоотборника НП-3М

1 – насадка; 2 – переходная втулка; 3 – цилиндр; 4 – крышка; 5 – шток

На насадке с торца при помощи гайки зафиксирована уплотнительная втулка для установки индикаторной трубки. На насадке сбоку находится заточенное отверстие для обламывания концов стеклянных трубок. Внутри насадки под смотровым окошком закреплена контрольная мембрана, прижатая возвратной пружиной к смотровому окошку. Смотровое окошко закреплено на насадке двумя винтами. Под уплотнительной втулкой закреплена сетка, защищающая детали и узлы насоса от абразивных частиц.

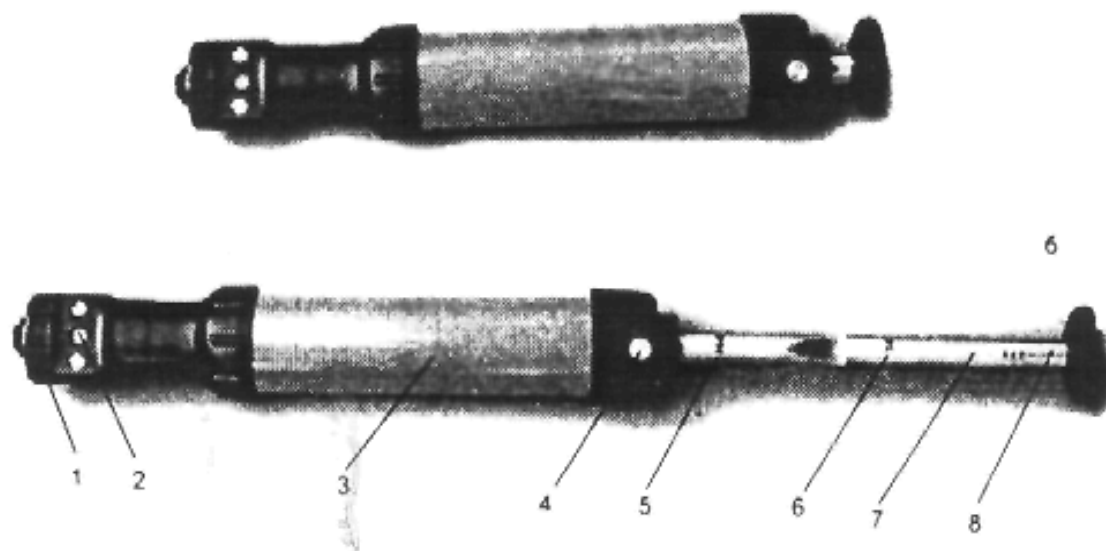


Рис. 7.3. Элементы конструкции насоса-пробоотборника НП-3М  
1 – насадка; 2 – индикатор завершения цикла прокачивания; 3 – корпус;  
4 – метка «1»; 5 – метка «100»; 6 – метка «50»; 7 – шток; 8 – метка «2»  
а – насос с втянутым штоком, б – насос с вытянутым штоком

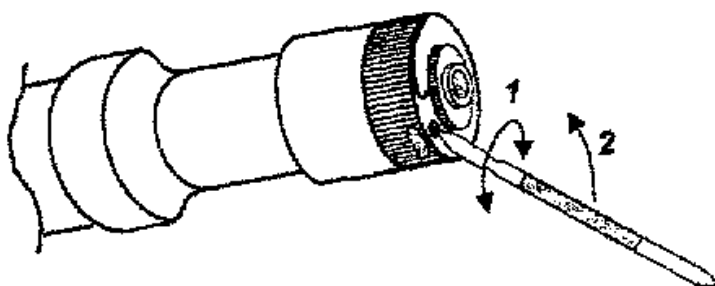
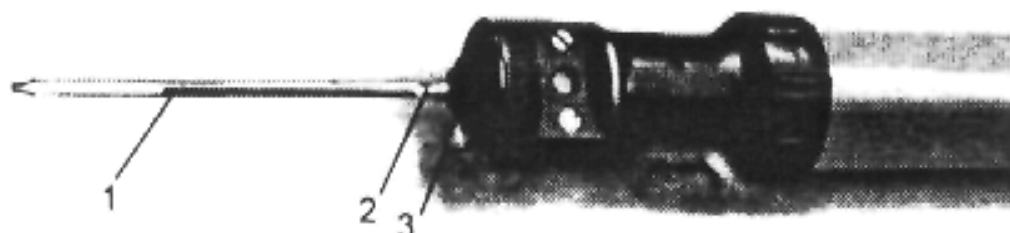


Рис. 7.4. Вскрытие индикаторных трубок



1 – индикаторная трубка; 2 – перетяжка; 3 – резиновая втулка  
Рис. 7.5. Индикаторная трубка, вставленная в насос-пробоотборник

В процессе применения индикаторных трубок выполнить следующие операции.

1. Достать индикаторную трубку, а также соответствующую (если предусмотрено для выполнения данного анализа) фильтрующую трубку из упаковки.

2. Вскрыть индикаторную трубку с обоих концов, осторожно надломив их, как изображено на рис. 7.4. Для вскрывания стеклянного корпуса удобно использовать отверстие в корпусе насоса.

3. Если для анализа необходимо использовать фильтрующую трубку, подсоединить ее с помощью отрезка резиновой трубки последовательно к индикаторной трубке со стороны входа воздуха, а индикаторную трубку – к резиновой втулке насоса со стороны выхода воздуха - перетяжки (рис. 7.5).

4. Проверить герметичность соединения трубок с насосом. Для этого провести внешний осмотр, а также пробное прокачивание воздуха, заглушив отверстие входа воздуха каким-либо способом – например, невскрытой индикаторной трубкой.. О герметичности соединения трубок свидетельствует возвращение поршня насоса в исходное положение после его вытягивания из корпуса примерно на  $1/3$  длины штока.

5. Прокачать через индикаторную трубку указанный на этикетке объем анализируемого воздуха с помощью насоса-пробоотборника, для чего выполнить следующие операции:

1) повернуть шток насоса по оси вращения так, чтобы метка «1» на направляющей втулке корпуса насоса не совпадала с меткой «2» на штоке на четверть оборота, т.е. около  $90^\circ$  (рис. 7.6);

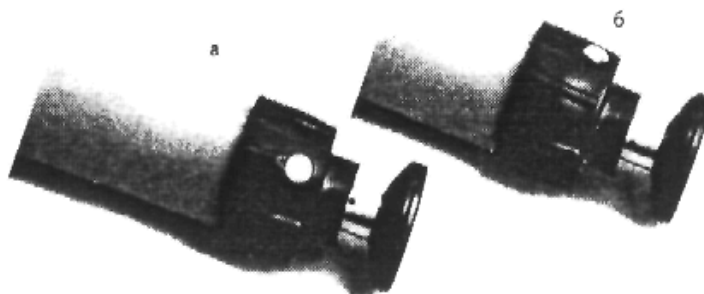


Рис. 7.6. Положение меток на штоке насоса-пробоотборника  
а – метки «1» и «2» совмещены, б – метки «1» и «2» разнесены

2) ввести шток целиком в корпус насоса (рис. 7.6а);

3) повернуть шток по оси вращения так, чтобы метка «1» (на направляющей втулке корпуса насоса) совпала с меткой «2» (на штоке рис. 7.6б).

4) оттянуть шток насоса на себя с усилием до второго щелчка фиксатора (до метки «100» на штоке), что соответствует одному полному ходу поршня объемом в  $100 \text{ см}^3$  (рисунок 6б);

5) выдержать поршень в зафиксированном положении в течение 1 мин или иного времени, необходимого для завершения цикла прокачивания (указано на упаковке индикаторных трубок). Об окончании цикла просасывания свидетельствует появление четкого изображения точки в окошке индикатора завершения цикла просасывания (рис. 7.3).

При необходимости прокачивания через индикаторную трубку большего объема анализируемого воздуха описанные выше операции с насосом повторять соответствующее число раз, не вынимая индикаторной трубки из резиновой втулки насоса.

6) Извлечь индикаторную трубку из резиновой втулки насоса, определить концентрацию анализируемого компонента по границе изменения окраски на наполнителя на контрольной шкале индикаторной трубки. Длина изменения окраски на наполнителе является мерой концентрации контролируемого компонента.

### **Порядок проведения работы**

1) Изучите правила техники безопасности при выполнении лабораторной работы.

2) Ознакомьтесь с устройством и работой универсального газоанализатора УГ-2 и насоса-пробоотборника НП-3М.

3) Приготовьте (или выберите) индикаторную трубку для определения содержания вредного вещества (по заданию преподавателя)

4) Измерьте концентрацию вредного вещества в воздухе рабочей зоны (по заданию преподавателя) универсальным газоанализатором УГ-2 или насосом-пробоотборником НП-3М и сравните с ПДК.

### **Отчет о лабораторной работе**

1. Название лабораторной работы.
3. Классификация вредных веществ по опасности
3. Методика контроля содержания вредных веществ в атмосферном воздухе.
4. Применяемые приборы и их назначение.
5. Методика проведения измерений.
6. Результаты измерений и расчетов.
7. Мероприятия по предупреждению загрязнения воздушной среды.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие классы опасности делятся вредные вещества?
2. Что такое ПДК вредных веществ в воздухе? Виды ПДК.
3. Особенности отбора максимальных и среднесуточных проб воздуха.
4. Какие операции включает в себя определение загрязнений в атмосфере?
5. Из каких основных элементов состоит газоанализатор УГ-2?
6. В чем заключается методика определения концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе универсальным газоанализатором?
7. Из каких основных узлов состоит насос-пробоотборник НП-3М?
8. Какова методика измерения содержания вредных веществ насосом-пробоотборником?

## **Лабораторная работа №8**

### **ОЦЕНКА УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

**Цель работы:** оценить шумовое загрязнение окружающей среды вблизи автомагистралей, перекрестков, в учебных аудиториях, студенческой столовой.

#### **Общие сведения**

Шум - беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности.

Слух человека воспринимает звуковые колебания от 16 до 20 000 Гц (наибольшая чувствительность от 50 до 5000 Гц). Слухом не воспринимается ультразвук (колебания выше 20 000 Гц) и инфразвук (ниже 16 Гц). Сила звука измеряется в децибелах (дБ). По частоте выделяют: низкочастотные шумы (ниже 350 Гц); среднечастотные шумы (от 350 до 800 Гц); высокочастотные (выше 800 Гц).

Шум обычно выделяют по:

- месту (дом, производство, улица и т.д.), где оценивается шум (бытовой, производственный, уличный);
- источнику шума (авиационный, автомобильный, шум от котельной и т.д.);
- физическим особенностям передачи (например, шум удара, передаваемый жильцам нижних этажей через толщу бетона; шум, передаваемый по воздуху) и др.

Продолжительное воздействие шума вызывает у человека головную боль, головокружение, приводит к заболеванию тугоухости и нарушению функций желудочно-кишечного тракта. При постоянном воздействии шума у работающих наблюдается повышенная утомляемость, замедленная скорость психических реакций, снижение памяти. Также шум нарушает концентрацию внимания, точность и координированность движений, ухудшает восприятие звуковых и световых сигналов опасности, а следовательно способствует росту травматизма.

Уровень звукового давления, измеряемый в децибелах (дБ или dB) равен

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (8.1)$$

где  $P$  – фактический уровень звукового давления;

$P_0$  – пороговый уровень звукового давления,  $20 \cdot 10^{-5}$  Па.

Применение шкалы децибел (рис. 8.1) удобно для оперирования данными измерений звукового давления, которое начинается со слухового порога, равного 0 дБ ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па) и кончается болевым порогом в 130 дБ и более.

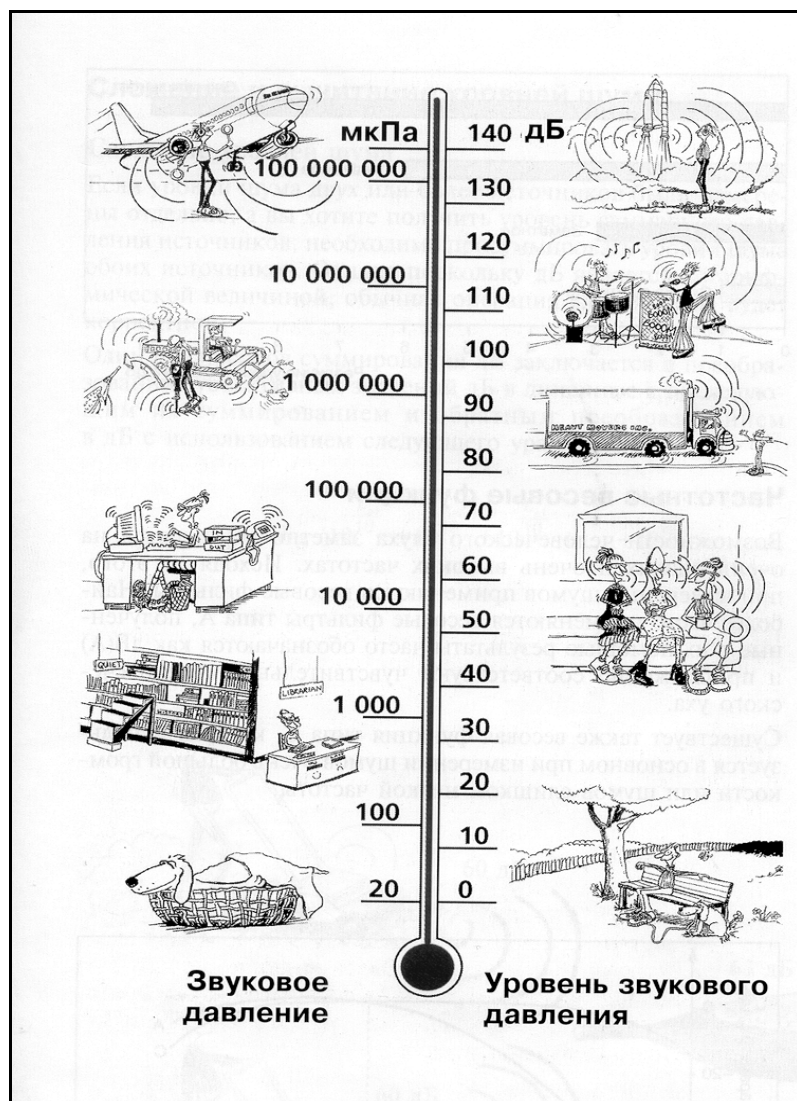


Рис. 8.1. Применение шкалы децибел для оценки уровней звукового давления

Допустимый уровень шума зависит от местоположения, назначения помещения (например, палаты больниц и санаториев, жилой дом), времени суток (днем, ночью) и др. факторов. В жилых помещениях не должен превышать 40 дБ (ночью) и 50 дБ (днем).

Таблица 8.1

Допустимые уровни проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Эквивалентные уровни звука, дБА
1	2	3
Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	с 7 до 23 ч.	35
	с 23 до 7 ч.	25
Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев		35



1	2	3
Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференцзалы, читальные залы библиотек		40
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23 ч.	40
	с 23 до 7 ч.	30
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч.	45
	с 23 до 7 ч.	35
Залы кафе, ресторанов, столовых		55
Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания		60
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч.	45
	с 23 до 7 ч.	35
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч.	55
	с 23 до 7 ч.	45
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч.	60
	с 23 до 7 ч.	50
Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		35
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений		45

*Воздействие на организмы.* Шум оказывает влияние на организм в целом, вызывая сердечно-сосудистые заболевания, атеросклероз, нарушения центральной нервной системы (ощущение хронической усталости, бессонница, раздражительность, падение работоспособности, уменьшение объема внимания, ухудшение памяти), нарушения слуха (вплоть до полной глухоты).

Особая опасность шума заключается в том, что он действует не на ограниченный контингент профессионалов, работающих в какой-то области, а практически на население в целом (в Зап. Европе более половины населения проживает в зонах с уровнем шума 55-65 дБ). Уровень акустического загрязнения больших городов остается очень высоким и продолжает увеличиваться. В среднем 30 – 40 % городского населения России подвергаются вредному воздействию городских шумов, основным источником которых является автотранспорт. В крупных городах России, в частности в Ростове-на-Дону, эквивалентные уровни шума на магистралях достигают 78 – 85 дБА, на жилых территориях –

66 – 72 дБА, в жилых помещениях – 55 – 63 дБА и выше, что приводит к акустическому дискомфорту (ухудшению состояния здоровья, снижению трудоспособности жителей города и населенных пунктов). В соответствии с принятыми санитарными нормами, допустимый шум в жилых помещениях не должен быть более 30 дБА в ночное время и 40 дБА в дневное время. Так, в США до 50 % городского населения страдает от шума. От 10 до 12 % жителей европейских городов подвержены дорожному шуму выше 65 дБА. Шум автотранспортного потока зависит от шума, создаваемого одиночным автомобилем; состава автотранспортного потока (автомобилей различного типа в потоке); интенсивности движения автомобилей; режима движения автомобилей (скорость, ускорение, замедление, равномерное движение); технического состояния автомобилей; характера и состояния дорожного покрытия; рельефа местности; атмосферных условий.

Звуковые колебания окружающей среды кроме уровня звукового давления характеризуются и частотой звука (Гц). Нормально слышащий молодой человек способен различать звуки в диапазоне от 20 Гц до 20000 Гц (20 кГц). Возможности человеческого слуха заметно ухудшаются на очень низких и очень высоких частотах. Исходя из этого, при измерении шумов применяются весовые фильтры.

Шумомеры должны иметь корректирующие фильтры для частотной характеристики  $A$  и дополнительно – для частотных характеристик  $B$ ,  $C$ .

Частотные характеристики шумомера  $A$ ,  $B$ ,  $C$  соответствуют кривым равной громкости, т.е. характеристикам чувствительности человеческого уха. Частотная характеристика  $A$  соответствует кривой малой громкости (40 фон);  $B$  – средней громкости (70 фон);  $C$  – большой громкости (100 фон). Фон – единица громкости звука.

Для гигиенической оценки шумов достаточно частотной характеристики  $A$ , поэтому наиболее часто применяется весовой фильтр типа  $A$ , который приближенно соответствует чувствительности человеческого уха на частоте 1000 Гц и громкости 40 фон. При применении такого вида фильтрации шума результаты измерений имеют обозначение  $L_{дБ(A)}$ ;  $L_{дБА}$ ;  $L_{ЭКВ}$ ;  $L_A$ .

Характеристикой постоянного шума являются уровни звукового давления  $L$  (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, а также уровни звукового давления по фильтру  $A$ .

Октава – единица частотного интервала, ограниченного частотами с отношением 2:1.

Значение частоты в октавах равно

$$L_f = \log_2 \frac{f}{f_o}, \quad (8.2)$$

где  $f$  – верхнее значение частоты;

$f_o$  – нижнее значение частоты.

По характеру спектра шум следует подразделять на:

- широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной окта-

вы;

- тональный, в спектре, которого имеются выраженные дискретные тона. Превышение уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам шум подразделяется на:

- постоянный, уровень звука за восьмичасовой интервал времени изменяется не более чем на 5 дБА;
- непостоянный, уровень звука за восьмичасовой интервал времени изменяется более чем на 5 дБА.

Комплекс мероприятий по снижению воздействия шума:

1. Архитектурно-планировочные (установление зон вокруг промышленных предприятий, устройство защитных полос, свободная застройка жилых районов; размещение аэропортов за городом; удаление жилых зданий от магистралей; применение зеленых насаждений; рациональное расположение домов.

2. Строительные (например, дополнительная звукоизоляция с помощью “плавающего пола” на слое пористой резины, что позволяет резко снизить передачу шумов, удара в зданиях; рациональное расположение спальных комнат в квартирах; применение перекрытий, стен и окон с хорошей звукоизоляцией. и т.д.).

3. Технические (уменьшение шума машин, выбор малошумных процессов и др.).

4. Технологические (защита для персонала – использование шумоизолированных кабин, дистанционное управление шумными машинами).

5. Организационные (защита для персонала – уменьшение времени пребывания в условиях действия шума и др.).

6. Индивидуальные (вкладыши, наушники, специальные шлемы).

### **Применяемые приборы, приспособления и инструменты**

Шумомер цифровой СЕМ DT-805 (рис.8.2) предназначен для контроля уровня громкости звука (шума) в диапазоне от 30 до 130 децибел в целях безопасности здоровья, профилактики заболеваемости и любых видов экологического контроля. Данные об уровне шума выводятся на контрастный четырехзначный жидкокристаллический дисплей с разрешением 0,1 дБ, оснащенный подсветкой для работы в условиях недостаточной освещенности.

Шумомер СЕМ DT-805 может использоваться для измерения уровня шума на производстве, транспорте, в образовательных учреждениях, офисах, жилых помещениях и т.п.

Соответствует стандарту IEC651 класс 2 и ANSI категория 2 для шумометров и позволяет удерживать на экране минимальное, максимальное или текущее значение, а также отображает уровень заряда батареи и оснащен цифровым индикатором перегрузки.



Рис. 8.2. Шумомер цифровой DT-805

Шумомер СЕМ DT-805 имеет две формы частотной (А и С) и временной (Slow – 1 с, Fast – 125 мс) характеристик. Питание прибора осуществляется от 9-вольтовой батарейки. Функция автоматического отключения после 15 минут простоя позволяет продлить срок службы элементов питания.

#### *Элементы прибора*

1-Защитный экран. В случае применения прибора при скорости ветра свыше 10 м/с, рекомендуется установить защитный экран на микрофон.

2-Микрофон. 1/2 -дюймовый электретный конденсаторный микрофон.

3- ЖК-дисплей.

#### *Индикаторы:*

A. MAX - удержания максимального показания.

B. HOLD - удержания показаний.

- C. FAST - режима мгновенных измерений.
- D. SLOW - режима усреднённых измерений.
- E. Hi, Lo - диапазонов измерений.
- F. BAT - низкого заряда батареи.
- G. dBA, dBC - типов фильтра.
- H. OVER - выхода за пределы диапазона измерений.

4-Кнопка включения и выключения прибора.

5-Кнопка выбора временного взвешивания (S/F). F (быстрое измерение): стандартный режим измерения (быстро меняющийся шум). S (медленное измерение): проверка среднего уровня флуктуационного шума.

6-Включение/выключение подсветки.

7-Кнопка выбора диапазонов уровня шума (Lo/Hi). Lo: 30 – 100 дБ; Hi: 60 – 130 дБ. При срабатывании индикатора «OVER» происходит переключение диапазонов измерения уровня шума.

8-Кнопка выбора режимов взвешивания. А-взвешивание – для измерения общего уровня шума. С-взвешивание – для проверки низкочастотной составляющей шума. (Если С-взвешенный уровень гораздо выше, чем А-взвешенный уровень, значит, присутствует сильный низкочастотный шум).

9-Кнопка фиксации максимального значения (MAX) и данных (HOLD). Для измерения максимального уровня шума. Максимальный уровень постоянно обновляется. Для перехода в стандартный режим измерений следует повторно нажать данную кнопку. Нажать и удерживать кнопку «HOLD» в течение более 2 секунд для фиксации данных или выключения данного режима.

10-Крышка батарейного отсека.

### *Порядок работы*

1. Установить батарею в отсек питания, соблюдая полярность. При появлении на дисплее индикатора BAT замените батарею.
2. Включить питание и выбрать временное взвешивание (медленное или быстрое), а также шкалу А или С. Если шум представляет собой кратковременные вспышки или неустойчивые пики, установить БЫСТРЫЙ режим. Выбрать МЕДЛЕННЫЙ режим для измерения среднего шума. Выбрать А-взвешивание для измерения общего уровня шума, С-взвешивание – для измерения уровня шума акустического материала.
3. Выбрать требуемый уровень звукового давления.
4. Держать прибор в руке или закрепить на штативе. Направить микрофон на предполагаемый источник шума. На экране отображается уровень шума.
5. Для удержания текущего показания на дисплее нажмите и удерживайте кнопку MAX/HOLD в течение 1 секунды. Для возврата к режиму измерений нажмите и удерживайте кнопку MAX/HOLD в течение 2 секунд.
6. Для определения максимального показания нажмите MAX/HOLD. На экране появится индикатор MAX, и будет зафиксировано наибольшее значение уровня звука, которое будет оставаться на дисплее до момента регистрации более сильного сигнала. Для выхода из режима нажмите на кнопку MAX/HOLD повторно.

### *Меры предосторожности*

- Движение воздуха через микрофон приводит к появлению дополнительных внешних шумов. Если прибор используется в ветреных условиях, необходимо установить защитный экран, чтобы не допустить появления неточных сигналов.
- Для получения более точных результатов измерений микрофон необходимо подключить к прибору с помощью кабеля.
- Следует провести калибровку прибора, если он не использовался в течение длительного периода времени или работал в сложных условиях.
- Запрещено хранить и использовать прибор в условиях высоких температур и влажности.
- Следует защитить микрофон от попадания влаги и сильных вибраций.
- Если прибор не используется, следует хранить его и элемент питания в условиях низкой влажности.

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить уровень звукового давления по маршрутам:

- улица с интенсивным автомобильным движением (ул. Менжинского вблизи учебного корпуса);
- улица с менее интенсивным автомобильным движением (ул. Страны Советов вблизи учебного корпуса).

Результаты измерений занести в таблицу.

В конце измерений по каждому маршруту с помощью шумомера определить максимальные и минимальные значения уровня звукового давления.

Высчитать средние значения по каждому маршруту. Результаты занести в таблицу:

Номер маршрута	Маршрут	Дата и время измерений	Эквивалентные уровни звука, дБА*	Примечания
1.				Например, проезд скорой помощи с включенной сиреной
Максимальное значение				
Минимальное значение				
Среднее значение				

\* не менее 15 измерений по каждому маршруту.

Измерить уровень звукового давления в 2 характерных точках по выбору студентов (лекционный зал, аудитория для лабораторных занятий, читальный зал, кафе и др.). Каждое измерение проводить в течение 1 минуты. Результаты измерений занести в таблицу:

Номер точки	Точка	Дата и время измерений	Эквивалентные уровни звука, дБА*	Примечания
1				
Максимальное значение				
Минимальное значение				
Среднее значение				

\* не менее 7 измерений в каждой точке.

В конце измерений по каждой точке с помощью шумомера определить максимальные и минимальные значения уровня звукового давления. Вычислить средние значения по каждой точке. Результаты занести в таблицу. Оценить уровень шума исследуемых территорий по сравнению с государственными нормами (табл. 8.1).

### Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Общие сведения о шуме (параметры, единицы измерения, принцип нормирования).
3. Характеристика и составные части измерителя шума DT-805.
4. Результаты измерений шума согласно заданию.
5. Вывод.

### Контрольные вопросы

1. Какое действие оказывает шум на организм человека?
2. По каким признакам классифицируются шумы?
3. Какой уровень шума в зависимости от местоположения считается допустимым?
4. Как определится суммарный уровень звукового давления нескольких источников шума?
5. В зависимости от каких параметров шума осуществляется его нормирование?
6. Что называется уровнем звука, звуковым давлением?
7. Что в себя включает комплекс мероприятий по снижению воздействия шума?
8. Какова методика измерения параметров шума шумомером DT-805?

## **Лабораторная работа №9**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

#### **Цель работы**

1. Изучение общих сведений о воздействии электромагнитных полей на окружающую среду, влиянии электростатического поля на организм человека, нормировании и методах защиты.
2. Ознакомление с измерителем напряженности электростатического поля СТ-01 и методикой проведения измерения напряженности электростатического поля на рабочем месте оператора ПЭВМ.

#### **Общие сведения**

В последние несколько десятилетий применение устройств, которые излучают электромагнитные поля (ЭМП), значительно возросло. Начало освоения человеком ЭМП связано с использованием диапазона длинных волн (длина волны 1...10 км), что было обусловлено развитием радиосвязи и радиовещания в этом диапазоне. Затем бурными темпами стало развиваться телевидение, и диапазон используемых длин волн стал расширяться в сторону их укорочения. С развитием радиолокации и радионавигации активно стали осваиваться диапазоны метровых, дециметровых и сантиметровых волн. В настоящее время трудно назвать такую область науки, техники, народного хозяйства, где бы ни использовалась радиоэлектронная аппаратура, в том числе излучающая ЭМП. Человечество использует практически весь частотный диапазон электромагнитного излучения. Созданная человеком электромагнитная обстановка состоит из полей, которые излучаются преднамеренно или являются продуктами использования других устройств.

В настоящее время наблюдается ухудшение экологической ситуации по электромагнитному фактору. Это следует связывать, в первую очередь, с преобладанием ведомственных, чисто коммерческих и потребительских подходов к вопросам использования ЭМП. Излучающие технические средства и объекты размещаются на крышах жилых домов и вблизи зон массового пребывания людей без анализа уже существующей электромагнитной обстановки, прогнозирования ЭМП размещаемых средств. Как правило, для размещения излучающих технических средств используются одни и те же удобные с точки зрения массового обслуживания места установки антенн (мачты, башни, высотные здания и т.д.).

Основным «поставщиком» ЭМП в окружающую среду являются радиотехнические системы телекоммуникаций. Это связано с тем, что излучение ЭМП – неотъемлемое явление для радиоканала. Излучающие технические средства радиосвязи, радиовещания и телевидения распределяются по территориям, как правило, равномерно. Это делается для того, чтобы создать необходимую интенсивность ЭМП в местах пребывания людей, (чтобы работали приемники). Исторически сложившаяся ситуация с размещением технических



средств обостряет вопросы электромагнитной экологии, поскольку строили и размещали излучающие технические средства так, чтобы было удобно эксплуатировать, не задумываясь об экологических последствиях. Результат – излучающие технические средства попали в границы городов, телецентры – в самых населенных местах и т.д. Как следствие всего этого, под высокие уровни ЭМП попал не только обслуживающий персонал излучающих технических средств, но и население близлежащих территорий.

Общим в характере биологического действия ЭМП радиочастот большой интенсивности на организм человека является тепловой эффект, который может выразиться либо в интегральном повышении температуры тела, либо в избирательном нагреве отдельных тканей и органов, причем органы и ткани недостаточно хорошо снабженные кровеносными сосудами (хрусталик глаза, желчный пузырь, мочевой пузырь, семенники и др.), более чувствительны к такому локальному перегреву. Наиболее чувствительными к воздействию радиоволн являются центральная нервная и сердечно-сосудистая системы. Клиническая картина хронического действия электромагнитных полей радиочастот нетермогенных интенсивностей развивается на фоне нарастающей неврастенической симптоматики. На ранних стадиях воздействия фактора характерны жалобы на головную боль, повышенную утомляемость, раздражительность, нарушение сна, боли в области сердца. Нередко выраженный астеновегетативный синдром протекает по гипотоническому типу (гипотензия, брадикардия).

В более выраженной стадии астенический (неврастенический) синдром с вегетососудистой дисфункцией развивается по гипертоническому типу, иногда с церебральными кризами симпатико-адреналинового характера. Отмечается усиление жалоб – легкая возбудимость, нарушение сна, снижение памяти, приступообразные головные боли, возможны головокружения, обморочные состояния, сжимающие боли в области сердца, лабильность пульса, гипертензия, ангиоспастические реакции – сужение артерий сетчатки. В момент приступа наблюдается дрожь, побледнение или покраснение лица, резкая слабость, нередко повышение температуры тела, подъем артериального давления.

В последнее время все большее внимание привлекают две сферы деятельности, которые создают электромагнитное загрязнение – это энергетика и информатика. Электромагнитные поля, сопровождающие использование человеком электроэнергии промышленной частоты и компьютеров, вызывают определенное беспокойство у экологов, гигиенистов и т.д.

Массовая компьютеризация и производства, и быта привела к тому, что большое количество людей, в том числе дети, проводят длительное время у компьютера не только как источника информации, но и источника энергетического загрязнения, причем находясь в непосредственной близости от него.

Частным видом электромагнитного поля является *электростатическое поле*. Оно создается совокупностью электрических зарядов, неподвижных в пространстве по отношению к наблюдателю и неизменных во времени.

*Статическое электричество* – это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых мате-

риалов, изделий или на изолированных проводниках. Заряды статического электричества образуются при трении веществ с различной диэлектрической проницаемостью, при перемещении слоев жидких и сыпучих материалов, кристаллизации, в зоне работы электронно-вычислительных машин, на участках множительной техники, при изготовлении, испытаниях полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Воздействие статического электричества на людей сказывается в разрядах статических зарядов через человека и воздействиях электростатического поля.

Непосредственно ток разряда не опасен, т.к. время его протекания через тело человека мало (равно миллисекундам). Такие кратковременные импульсы могут вызвать электрические удары, которые приводят к испугу, что опасно при работе с подвижными частями оборудования или на высоте.

*Постоянное электростатическое поле (ЭСП)* – это поле неподвижных электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними. ЭСП характеризуется напряженностью ( $E$ ), определяемой отношением силы, действующей в поле на точечный электрический заряд, к величине этого заряда. Единицей измерения напряженности ЭСП является вольт на метр (В/м). Напряженность ЭСП, создаваемая точечным зарядом, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Наиболее чувствительными к электростатическим полям являются нервная и сердечно-сосудистая системы организма. У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна или сонливость, снижение аппетита, повышенную утомляемость и др. Характерны своеобразные «фобии», обусловленные страхом ожидаемого разряда. Склонность к «фобиям» обычно сочетается с повышенной эмоциональным напряжением.

Допустимые уровни напряженности электростатических полей нормируются СанПиН 2.2.4.1191-03.

Допустимый уровень напряженности электростатических полей ( $E_{пред.}$ ) устанавливается равным 60 кВ/м в течение 1 часа.

При напряженности электростатических полей менее 20 кВ/м время пребывания людей в электростатических полях не регламентируется.

В диапазоне напряженности от 20 до 60 кВ/м допустимое время пребывания человека в электростатическом поле без средств защиты –  $t_{доп.}$  (ч), определяется по формуле

$$t = \frac{E_{пред}}{E_{факт}} \quad (9.1)$$

где  $E_{факт}$  – фактическое значение напряженности поля, кВ/м.

При определенном времени воздействия ( $t$ ) допустимая напряженность ( $E_{доп.}$ ) ЭСП определяется по формуле

$$E_{доп.} = 60 / \sqrt{t}, \text{ кВ/м} \quad (9.2)$$

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» *допус-*

*тимые уровни напряженности электростатического поля, создаваемые монитором, клавиатурой, системным блоком, манипулятором «мышью», из- делием в целом не должны превышать 15,0 кВ/м.*

Меры защиты от статического электричества направлены на предупреждение возникновения и накопления зарядов статического электричества, создание условий рассеивания зарядов и устранение опасности их вредного воздействия.

### **Методы и средства защиты**

Одним из распространенных средств защиты от статического электричества является уменьшение генерации электростатических зарядов или их отвод с наэлектризованного материала, что достигается:

- заземлением металлических и электропроводных элементов оборудования;
- увеличением поверхностной и объемной проводимости диэлектриков;
- установкой нейтрализаторов статического электричества;
- увеличением относительной влажности воздуха до 65 – 75 %.

В качестве индивидуальных средств защиты могут применяться обувь с электропроводящей подошвой; при выполнении работ сидя применяют антистатические халаты в сочетании с электропроводной подушкой стула или электропроводные браслеты, соединенные с заземляющим устройством. Заземление проводится независимо от использования других методов защиты. Заземляются не только элементы оборудования, но и изолированные электропроводящие участки технологических установок.

### **Экспериментальная часть**

В данной лабораторной работе для измерений используется измеритель напряженности электростатического поля СТ – 01.

Измеритель СТ-01 предназначен для измерений напряженности электростатического поля при обеспечении контроля за биологически опасными уровнями электростатических полей в соответствии с требованиями Сан-ПиН 2.2.2/2.4.1340-03 («Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы») и СанПиН 2.2.4.1191-03 («Электронные поля в производственных условиях»). Внешний вид измерителя представлен на рис. 9.1.

Рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от +5 до 40<sup>0</sup>С;
- относительная влажность до 90% при температуре окружающего воздуха +25<sup>0</sup>С;
- атмосферное давление от 70 до 106 кПа.

Измеритель СТ-01 предназначен для измерений напряженности электростатического поля в диапазоне от 0.3 до 180 кВ/м. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения напряженности электростатического поля  $\pm 15\%$ .

Время установления рабочего режима не более одной минуты. Время установления показания измерителя при внесении преобразователя напряженности электростатического поля в исследуемое поле, не более 5 сек.

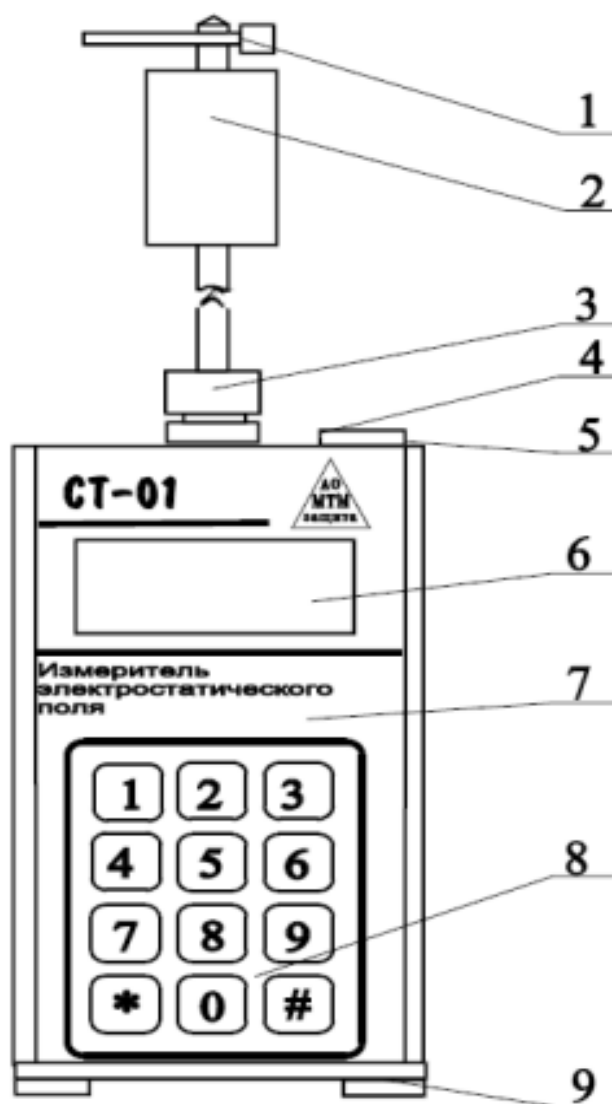
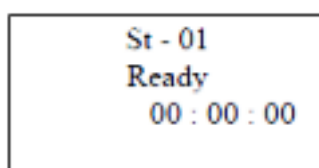


Рис. 9.1. Внешний вид измерителя

1 - модулятор; 2 – преобразователь напряженности электростатического поля; 3 - разъем с накидной гайкой; 4 - тумблер включения и выключения напряжения; 5 - разъем для подключения сетевого блока питания; 6- жидкокристаллический индикатор; 7 - лицевая панель блока управления и индикации; 8 - гибкая пленочная клавиатура; 9 - крышка отсека автономного источника питания.

### ***Порядок работы с измерителем напряженности электростатического поля СТ-01***

Включить питание измерителя переключателем ПИТАНИЕ, поставив его в положение «1» (край переключателя с цифрой «1»-утоплен). При этом на матричном жидкокристаллическом дисплее появится надпись, сопровождаемая кратковременными звуковыми сигналами.



На нижней строке отображается текущее время работы прибора. Далее измеритель автоматически входит в рабочий режим и ожидает команду от пользователя. Выбор режима работы измерителя осуществляется путем нажатия одной из кнопок 1 – 9 на лицевой панели. Остановка соответствующего режима работы осуществляется при вторичном нажатии данной кнопки.

В измерителе предусмотрено два режима работы:

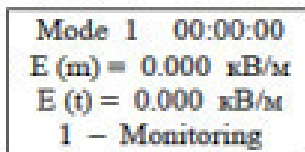
- измерение значения проекции вектора напряженности электростатического поля на плоскость вращения лепестка модулятора;
- измерение модуля напряженности электростатического поля, включающее измерение трех ортогональных компонент вектора напряженности электростатического поля, с последующим вычислением его модуля.

Результаты измерений напряженности электростатических полей выдаются на мониторе в единицах кВ/м (киловольт на метр).

*а) Режим непрерывного измерения значения проекции вектора напряженности электростатического поля на плоскость вращения лепестка модулятора с последующей индикацией текущего и наибольшего значения из зарегистрированных (Mode 1).*

Режим целесообразно использовать для общего обследования рабочих помещений: определения среднего уровня напряженности электростатического поля в помещении, поиска возможных источников излучения (по увеличению уровня напряженности полей при приближении к источнику).

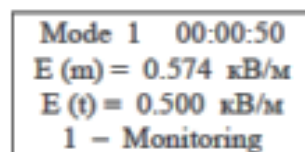
Выбор режима осуществляется путем нажатия кнопки 1, затем на дисплее появляется надпись:



Mode 1 00:00:00  
E (m) = 0.000 кВ/м  
E (t) = 0.000 кВ/м  
1 – Monitoring

и начинаются измерения проекции вектора напряженности электростатического поля на плоскость вращения лепестка модулятора.

После вторичного нажатия кнопки 1 измерения прекращаются и на мониторе появляется надпись:



Mode 1 00:00:50  
E (m) = 0.574 кВ/м  
E (t) = 0.500 кВ/м  
1 – Monitoring

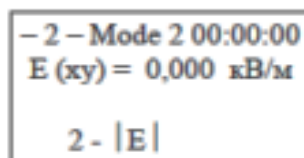
где: E (m) - Наибольшее значение из зарегистрированных;

E (t) - Последнее текущее значение.

*б) Режим измерения модуля напряженности электростатического поля, включающий измерения трех ортогональных компонент вектора напряженности электростатического поля, с последующим вычислением его модуля (Mode 2).*

Режим целесообразно использовать для исследования рабочих мест операторов ПВМ и других электротехнических устройств.

Выбор режима осуществляется путем нажатия кнопки 2, затем на дисплее появляется надпись:

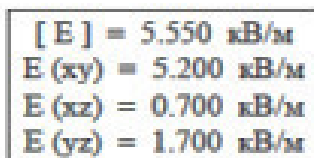


Проводят три измерения, помещая плоскость вращения лепестка модулятора последовательно в трех взаимно перпендикулярных (ортогональных) плоскостях.

Данные измерений заносятся последовательно после нажатия кнопки 2. Конечный результат определяется по формуле:

$$E = (E_{xz}^2/2 + E_{yz}^2/2 + E_{xy}^2/2) \cdot 1/2$$

где  $E_{xz}$ ,  $E_{yz}$ ,  $E_{xy}$  проекции вектора напряженности электростатического поля соответственно на плоскости  $xz$ ,  $yz$ ,  $xy$ . По завершении последнего измерения автоматически вычисляются значения  $E$  и результаты выводятся на монитор:



Вычисленное значение модуля напряженности электростатического поля находится в верхней строчке экрана.

Выключение измерителя осуществляется при установке переключателя ПИТАНИЕ в положение «0».

### ***Исследование напряженности электростатического поля (E), создаваемого ПЭВМ в зоне работы оператора.***

Провести измерения напряженности электростатического поля (E) на рабочем месте оператора ПЭВМ.

Для этого на расстоянии 50 см от экрана правой, левой, верхней и тыльной поверхностей видеомонитора, клавиатуры, системного блока и манипулятора «мышь» измерить прибором СТ-01 напряженность электростатического поля.

Измеренные значения занести в табл. 9.1, после чего сделать вывод о соответствии измеренных фактических значений напряженности электростатического поля предельно допустимым уровням согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 9.1

Протокол замеров напряженности электростатического поля

№, п/п	Наименование места замера	Дата	ПДУ $E_{\text{доп}}$ , кВ/м	Фактическое значение E, кВ/м	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Экран монитора				
2	Правая поверхность монитора				
3	Левая поверхность монитора				

Окончание таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6
4	Верхняя поверхность монитора				
5	Тыльная поверхность монитора				
6	Клавиатура				
7	Системный блок				
8	Мышь				

### Контрольные вопросы

1. Основные источники излучения электромагнитных полей.
2. Какие основные сферы деятельности человека создают электромагнитное загрязнение?
3. Какое воздействие оказывают ЭМП на человека?
4. Понятие статического электричества.
5. Электростатическое поле и его основные характеристики.
6. Нормирование напряженности электростатического поля.
7. Методы и средства защиты от статического электричества.
8. Назначение и устройство измерителя напряженности электростатического поля СТ – 01.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность технологических процессов и производств»

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ (ЭКОЛОГИЯ)

Методические указания для выполнения контрольной работы  
для всех направлений подготовки (специальностей)  
и форм обучения

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2018



УДК 577.4:629.113

Составитель А.В. Рамзаев

Промышленная экология (экология): метод. указания для выполнения контр. работы – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018. – 16 с.

Изложены цели, задачи, требования к содержанию контрольной работы по дисциплинам «Экология» и «Промышленная экология».

Предназначены для бакалавров и специалистов всех направлений подготовки и форм обучения.

УДК 577.4:629.113

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Научный редактор д-р. тех. наук, профессор Д.М. Кузнецов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» д-р техн. наук, профессор С.Л. Пушенко

---

В печать \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_\_\_ г.  
Формат 60×84/16. Объем \_\_\_\_ усл. п. л.  
Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ №. \_\_\_\_.

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи контрольной работы.....	4
2. Выбор варианта контрольной работы.....	4
3. Содержание и оформление контрольной работы.....	4
4. Задание на выполнение контрольной работы.....	4
5 Литература.....	14
6. Приложения.....	15

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью и задачей контрольной работы по дисциплинам «Экология» и «Промышленная экология» является изучение общего и целостного представления об экологии как главной научной основе природопользования при решении проблем оптимизации технологических и проектно-конструкторских задач, исходя из минимума ущерба природе и здоровью человека.

## 2. АЛГОРИТМ ВЫБОРА ВАРИАНТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Номер варианта для выполнения контрольной работы определяется порядковым номером студента в списке группы.

## 3. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа должна содержать:

*Титульный лист* установленного образца (Приложение 1) с подписью студента.

*Содержание* – где отражается перечень вопросов, содержащихся в контрольной работе (Приложение 2).

*Введение* – где отражаются цели и задачи контрольной работы.

*Индивидуальное задание* – где излагаются ответы на вопросы контрольной работы в соответствии с вариантом.

*Список литературы* - при написании контрольной работы необходимо использовать научно-теоретические источники (учебники, учебные пособия, Интернет - сайты и т.п.), которые рекомендуют преподаватели по изучаемым дисциплинам.

Текст должен быть оформлен в текстовом редакторе Word for Windows версии не ниже 6.0. Тип шрифта: Times New Roman Cyr. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов: полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Межсимвольный интервал: обычный. Межстрочный интервал: одинарный.

Иллюстрации должны быть вставлены в текст. Текст отчета выполняется на листах формата А4 (210х297 мм) без рамки, соблюдая следующие размеры полей: левое - не менее 20 мм, правое - не менее 10 мм, верхнее - не менее 20 мм, нижнее - не менее 20 мм. Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют внизу страницы от центра без точки в конце. Контрольная работа должна содержать 10-20 страниц машинописного текста. Текст работы должен содержать ссылки на литературные источники [...], используемые при написании работы и приведенные в списке литературы.

## 4. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Общее задание состоит из двух заданий:

1 – студенты пишут реферативную работу, состоящую из 2-х тем (задание в табл. 4.1-4.2);

2 – проводятся расчет требуемой степени очистки производственных стоков; расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от одиночных стационарных источников загрязнения (варианты для расчета см. табл. 4.4, 4.5).

Таблица 4.1

Перечень тем для выбора

№ темы	Наименование тем
1	2
1	Предмет экологии. Классификация экологии. Задачи экологии (общетеоретические, прикладные, стратегическая).
2	Дать общие понятия об экологических факторах (абиотических, биотических, антропогенных). Сформулировать законы лимитирующих факторов (Либиха, Митчерлиха, Вильмса, Шелфорда).
3	Дать два определения экосистемы. Описать состав экосистемы (биогеоценоз, биоценоз, биотоп, продуценты, консументы, редуценты).
4	Экологическая ниша. Модель экологической ниши Хатчинсона. Экологическое дублирование.
5	Энергетика экосистемы. Описать процесс передачи энергии в биосфере. Закономерности перехода энергии вместе с пищей. Как проявляются первое и второе начала термодинамики применительно к живому организму. Дайте определение термодинамического равновесия. Дайте определение энтропия и негэнтропия.
6	Дайте два определения биологической продуктивности экосистемы, первичной и вторичной продукции, чистой продукции, общей биомассе, единицам ее выражения. Как расходуется биомасса в стабильных экосистемах?
7	Опишите основные типы экологических пирамид и соответствующие правила.
8	Экологическое равновесие. Его виды и признаки. Антропогенное на него влияние.
9	Круговорот (большой, малый) вещества в природе.
10	Описать биохимические циклы углерода, кислорода, азота, фосфора, серы и антропогенное влияние на эти циклы. Функции живого вещества в биосфере. Резервный и обменный фонды круговорота.
11	Учение В. И. Вернадского о биосфере. Опишите три биогеохимических принципа Вернадского и шесть выводов из них. Какие эмпирические обобщения Вернадского Вам известны. Концепция ноосферы.
12	Загрязнение атмосферы. Структура атмосферы. Влияние загрязнения атмосферы на экосистемы.
13	Общие понятия о загрязнении гидросферы. Биологическое загрязнение вод. Химическое загрязнение вод.
14	Особенности загрязнения почв. Эрозия почвы и методы борьбы с ней. Нормирование и контроль загрязнения почв.

Окончание таблицы 4.1

1	2
15	Тепловое и радиоактивное загрязнение окружающей среды. Экологические последствия радиоактивного загрязнения.
16	Принципиальные направления инженерной защиты окружающей природной среды.
17	Понятия и виды природопользования. Рациональное природопользование. Общие представления о безотходных и малоотходных технологиях.
18	Понятие, предметы и источник экологического права. Экологические правонарушения.
19	Понятие об экологических кризисах и экологических катастрофах.
20	Экологический мониторинг и его задачи. Международное сотрудничество в области экологии.

Таблица 4.2

Исходные данные для первого задания

Вариан- ты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номера тем															
1	+														+
2		+												+	
3			+										+		
4				+								+			
5					+						+				
6						+									
7							+								
8								+							
9									+						
10										+					
11	+										+				
12		+										+			
13			+										+		
14				+										+	
15					+										+
16						+									
17							+								
18								+							
19									+						
20										+					

Вариан- ты	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номера тем															
1							+								+
2	+									+					
3		+											+		
4			+								+				
5				+		+									
6					+				+						
7						+								+	
8							+					+			
9								+							
10									+						
11										+					
12											+				
13												+			
14		+											+		
15														+	
16				+											+
17								+							
18			+												
19					+										
20	+														

### Задача 1. Расчет требуемой степени очистки производственных стоков

#### 1.1 Методика расчета

Оценка требуемой очистки сточных вод (СВ) позволяет сделать обоснованный выбор типа и мощности очистных сооружений, вариантов размещения оголовков выпуска (у берега или в стрелу) и их конструктивных особенностей. Участок водоема от места выпуска стоков условно делят на зоны: 1) начального разбавления, в которой скорости истечения стоков ( $V_c$ ) существенно выше скорости потока воды ( $V_n$ ); 2) основного разбавления, в которой  $V_c = V_n$  и перемешивание стоков идет за счет турбулентной диффузии; 3) зона самоочищения, которую в расчетах не учитывают. Общее разбавление СВ определяют как произведение кратности начального и основного разбавления ( $n_n$  и  $n_o$ ), являющихся результатом перемешивания стоков в 1 и 2 зонах.

Значение  $n_n$  определяют по формуле

$$n_n = \frac{0,248}{m} \cdot d^2 \cdot \left( \sqrt{m^2 + 8,1 \left( \frac{1-m}{d^2} \right)} - m \right) \quad (1.1)$$

где  $d$  – отношение расчетного диаметра струи к диаметру выпускных отверстий;  $m$  – безразмерный коэффициент, величину которого находят по формуле

$$m = \sqrt{\frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{V_n^2}{V_c^2}} \quad (1.2)$$

$P_n$  и  $P_c$  – плотности соответственно потоков воды водоема и СВ, принимаемые обычно равными единице.

Значение  $n_o$  находят как обратную величину коэффициента смешения  $\gamma$  ( $n_o = 1/\gamma$ ) определяемого по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{l_\phi}}}{1 + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{l_\phi}}} \quad (1.3)$$

где  $l_\phi$  – расстояние от выпуска СВ до створа водопользования по фарватеру, км;  $\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий гидрологические особенности водоема. Значение  $\alpha$  находят по формуле

$$\alpha = \tau \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{\max}}} \quad (1.4)$$

где  $\tau$  – коэффициент, учитывавший место выпуска (при выпуске в стрелу  $\tau = 1,5$ , у берега –  $1,0$ );  $\beta$  – коэффициент извилистости, равный отношению расстояния от места выпуска до створа водопользования по прямой  $l_n$  к расстоянию между местом выпуска и створом водопользования по фарватеру –  $l_\phi$ ,  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Для условий задания  $D$  вычисляют по формуле

$$D = \frac{V_n \cdot h}{200} \quad (1.5)$$

где  $h$  – глубина водоема, м.

Расчетную концентрацию ЗВ ( $C_p$ , мг/л) после полного перемешивания находят по формуле

$$C_p = C_{исх} / (n_n \cdot n_o) \quad (1.6)$$

где  $C_{исх}$  – концентрация ЗВ в неочищенных стоках, мг/л. Требуемая степень очистки  $\mathcal{E}_0$  определяется по формуле

$$\mathcal{E}_0 = (C_p - C_{ндк}) / C_p \quad (1.7)$$

Значения ПДК для ЗВ берут из таблицы 4.3.

Таблица 4.3

Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Вещество	ПДК, мг/л	Вещество	ПДК, мг/л
1	2	3	4
Cu	1,0	Бензол	0,001
Fe	0,3	Толуол	0,024

Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4
Zn	1,0	Аммиак	2,0
Mn	0,1	Ацетон	2,2
Cr	0,05	Хлорпикрин	0,007

Если  $C_p \leq \text{ПДК}$ , то  $\mathcal{E}_0$  не определяют по формуле (1.7) из-за нецелесообразности очистки.

### 1.2. Задание на расчет

По исходным данным табл. 4.4 определить требуемую степень очистки производственных стоков с максимальным расходом  $Q_{\text{макс}}$  содержащих загрязняющие вещества (ЗВ) с концентрацией  $C_{\text{исх}}$ , при двух вариантах выпуска – у берега и в стрежень реки. Глубина реки  $h$ , минимальный расход воды  $Q_{\text{мин}}$ , скорость потока  $V_n$ , скорость истечения стоков  $V_c$ . Створ водопользования находится от места выпуска на расстоянии  $l_n$  по прямой и  $l_\phi$  по фарватеру. Отношение расчетного диаметра струи к диаметру оголовков равно  $d$ , плотности стоков и воды в потоке равны единице. Створ водопользования совпадает со створом полного разбавления. Дать оценку каждому варианту выпуска и определить требуемую степень очистки от загрязнения, превышающего ПДК.

Таблица 4.4

Исходные данные к задаче 1

Вариант	Загрязняющее вещество	$Q_{\text{мин}}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{макс}}, \text{м}^3/\text{с}$	$V_c, \text{м/с}$	$V_n, \text{м/с}$	$h, \text{м}$	$l_n, \text{км}$	$l_\phi, \text{км}$	$C_{\text{исх}}, \text{мг/л}$	$d$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Медь	1	100	2,5	0,35	3	2	3	150	2
2	Железо	2	90	2,6	0,40	3,1	2	4	120	2,5
3	Хром	4	160	2,8	0,50	3,3	2,2	4	100	3,5
4	Ацетон	2	140	3,0	0,60	3,5	2,4	4	200	4,5
5	Бензол	3	130	3,1	0,55	3,6	2,6	3	100	5
6	Аммиак	4	120	3,2	0,50	3,7	2,6	4	350	5,5
7	Железо	2	100	3,4	0,40	3,9	2,8	4	100	6
8	Толуол	3	90	2,5	0,35	4,0	3,0	6	100	2
9	Хлорпикрин	4	100	2,6	0,40	4,1	3,0	4	140	2,5
10	Ацетон	3	130	3,2	0,50	3,8	3,1	6	300	5,5
11	Железо	1	150	4,5	0,35	4,0	3,2	5	100	6
12	Хром	2	120	2,8	0,50	4,3	3,2	7	300	3,5
13	Медь	3	130	2,9	0,55	4,4	3,4	6	80	4
14	Бензол	4	140	4,0	0,40	4,5	3,6	7	500	3,5
15	Аммиак	2	160	4,2	0,50	4,3	3,4	8	120	4,5
16	Хром	2	160	3,0	0,40	3,6	2,4	6	350	2
17	Ацетон	3	140	3,1	0,35	3,7	2,6	4	100	2,5
18	Бензол	4	130	3,2	0,40	3,9	2,6	6	100	3,5
19	Аммиак	3	120	3,4	0,50	4,0	2,8	5	140	4,5



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	Железо	1	100	2,5	0,35	4,1	3,0	7	300	5
21	Толуол	2	90	2,6	0,50	3,8	3,0	6	100	5,5
22	Хром	2	100	3,2	0,55	4,0	3,1	7	300	6
23	Ацетон	3	160	4,5	0,40	4,3	3,2	8	80	2

### 1.3 Методические указания по выполнению задания и анализу результатов расчета

По формулам (1.1...1.7) студент находит кратности начального и основного разбавлений, расчетную концентрацию загрязняющего вещества (после его полного перемешивания) в водоеме по двум вариантам сброса ЗВ (у берега и в стрежень) и требуемую степень очистки по обоим вариантам сброса. Далее студент выбирает из двух вариантов наиболее предпочтительный метод сброса ЗВ, при котором требуется меньшая степень очистки либо не требуется совсем.

## Задача 2. Расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от одиночных стационарных источников загрязнения

### 2.1 Методика расчетов

Расчеты рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере, высоты трубы ( $H$ ) и предельно допустимых выбросов (ПДВ) от одиночных стационарных источников загрязнения атмосферы (ИЗА) выполняются по ОНД-86. Они проводятся в нашем случае для ИЗА, расположенного в Ростовской области на ровной и слабопересеченной местности. При этом ИЗА имеет одну дымовую трубу высотой  $H$ , м, с диаметром устья  $D$ , м, скоростью выхода газо-воздушной смеси  $W_0$ , м/с, разницей температур выбросов и окружающего атмосферного воздуха  $\Delta T$ , °C, и массой ЗВ  $M$ , г/с.

Последовательность расчетов следующая.

1. Определяют расход газо-воздушной смеси  $V$  м<sup>3</sup>/с, безразмерные параметры  $f$ ,  $v_m$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $d$  и значение опасной скорости ветра  $U_m$ , при которой достигается максимальная приземная концентрация ЗВ по формулам:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} W_0 \quad (2.1)$$

$$f = 1000 \frac{W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (2.2)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} \quad (2.3)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (2.4)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \quad \text{при } v_m < 2 \quad (2.5 \text{ а})$$

$$n = 1 \quad \text{при } v_m \geq 2 \quad (2.5 \text{ б})$$

$$d = 4,95 \cdot v_m (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_m < 2 \quad (2.6 \text{ а})$$

$$d = 7\sqrt{v_m} ((1 + 0,28\sqrt[3]{f})) \quad \text{при } v_m \geq 2 \quad (2.6 \text{ б})$$

$$U_m = v_m \quad \text{при } v_m < 2 \quad (2.7 \text{ а})$$

$$U_m = v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \quad \text{при } v_m \geq 2 \quad (2.7 \text{ б})$$

2. Рассчитывают максимальную концентрацию ЗВ  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>), и расстояние  $X_m$  (м) от источника выбросов, на котором приземная концентрация  $c$  (мг/м<sup>3</sup>) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения  $C_m$ , определяется по формулам:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (2.8)$$

$$X_m = \frac{5-F}{4} d \cdot H \quad (2.9)$$

где  $A$  - безразмерный коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (распределение температур воздуха по высоте, влияющее на его вертикальное перемещение), который равен для Ростовской области 200;  $M$  - масса выбросов ЗВ, г/с;  $F$  - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания выбросов (для газов  $F=1$ );  $\eta$  - безразмерный коэффициент, отражающий влияние рельефа местности (для ровной и слабопересеченной местности принимаем 1,0).

## 2.2. Задание на расчеты

По исходным данным табл. 4.5 рассчитать максимальную приземную концентрацию ЗВ, создаваемую ИЗА. По результатам расчетов рассмотреть и предложить инженерные решения по снижению приземных концентраций ЗВ, рассчитав для этого требуемую высоту трубы, эффективность предварительной очистки выбросов и величины ПДВ.

## 2.3. Методические указания по выполнению задания и анализу результатов расчета

Перед выполнением задания студент изучает основные закономерности рассеивания выбросов в атмосфере, методику расчета и свой вариант задания. После расчетов основных показателей выброса ИЗА по формулам 2.1-2.9 необходимо сравнить максимальную концентрацию  $C_m$  (формула 2.8) со среднесуточной предельно допустимой концентрацией (ПДК) рассматриваемого вещества в атмосфере. Среднесуточные ПДК студент принимает 0,04 мг/м<sup>3</sup> для NO<sub>2</sub>, 0,05 мг/м<sup>3</sup> для SO<sub>2</sub> и 3 мг/м<sup>3</sup> для CO. В случае превышения  $C_m$  значения ПДК рассчитываются 3 показателя, характеризующие мероприятия по снижению максимальной концентрации загрязняющего вещества до допустимых значений (пункт 2.3.1 – 2.3.3).

2.3.1. Применение высоких труб. Требуемую для данного ИЗА высоту дымовой трубы  $H_{тр}$ , м, легко рассчитать по преобразованной формуле (2.8), введя в нее ограничивающий фактор ПДК данного ЗВ.

$$H_{mp} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{ПДК \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}} \quad (2.10)$$

2.3.2. Предварительная очистка выбросов средствами пылегазовой очистки (ПГО). Из соотношения требуемой концентрации и его реального содержания в приземном слое воздуха можно легко определить требуемую степень очистки, %, по формуле

$$\mathcal{E}_{mp} = \frac{C_m - ПДК}{C_m} \cdot 100 \quad (2.11)$$

2.3.3. Предельно допустимые выбросы. Для предупреждения загрязнений больших, чем ПДК, мг/м<sup>3</sup> предприятию устанавливаются предельно допустимые выбросы ЗВ, г/с, определяемые по формуле

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_\phi) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}; \quad (2.12)$$

где  $C_\phi$  - фоновая концентрация ЗВ в атмосфере региона, мг/м<sup>3</sup> ( $C_\phi = 0$  при отсутствии ее в исходных данных).

Таблица 4.5

Исходные данные к задаче 2

Вариант	Масса выбросов, г/с			Высота трубы Н, м	Диаметр устья трубы Д, м	Скорость выхода газовоздушной струи W <sub>0</sub> , м/с	Разница температур выбросов и наружного воздуха, ΔТ,С
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO				
1	2	3	4	5	6	7	8
1			280	25	1,1	2	175
2			300	27	1,2	1,5	180
3			350	29	1,3	2	185
4			370	31	1,4	2,5	190
5			500	33	1,5	3	195
6			800	35	1,6	4	200
7		32		37	1,7	5,5	225
8		34		40	1,8	6	230
9		38		42	1,9	6,5	235
10		40		43	2,0	7	240
11		42		45	1,9	7,5	245
12		44		47	1,8	8	250
13	30			49	1,7	9,5	220
14	28			45	1,6	9	210
15	27			42	1,5	8,5	200
16	26			37	1,4	7	195
17	25			29	1,3	6	190
18	24			31	1,4	4	185
19	23			37	1,6	3,5	180
20		45		45	1,5	3	175

Окончание таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8
21		46		43	1,7	2,5	190
22		47		36	1,8	2	180
23			420	39	1,9	7	195
24			530	43	2,0	3,5	210

## ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов В.В. Экология: учеб. пособие для бакалавров технических вузов / В.В. Денисов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 414 с.
2. Горохов В.Л. Экология: учебное пособие / В.Л. Горохов, Л.М. Кузнецов, А.Ю. Шмыков. – СПб.: Издательский дом «Герда», 2005.– 688 с.
3. Гапонов В. Л. Техносферная безопасность. Расчёты: учеб. пособие для вузов /В.Л. Гапонов [и др.]. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 131 с.
4. Об охране окружающей среды: федер. закон РФ № 7-ФЗ// Собрание законодательства Российской Федерации. 2002, № 36. Ст. 133.
5. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 17.12.2007 N 333 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».
6. Приказ Минприроды РФ от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Безопасность технологических процессов и производств»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
по дисциплине «Экология» («Промышленная экология»)

Студента(ки) \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Проверил

\_\_\_\_\_  
(должность, фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Ростов-на-Дону  
201\_\_

**ПРИМЕР СОДЕРЖАНИЯ по 5 варианту**

Берем с табл. 4.2 номера тем из 5 варианта, потом из табл 4.1 выбираем формулировку тем: № 5, № 15.

1. Энергетика экосистемы. Описать процесс передачи энергии в биосфере. Закономерности перехода энергии вместе с пищей (формула энергии потребленной пищи). Как проявляются первое и второе начала термодинамики применительно к живому организму. Дайте определение термодинамического равновесия. Дайте определение энтропия и негэнтропия.....	
2. Тепловое и радиоактивное загрязнение окружающей среды. Экологические последствия радиоактивного загрязнения.....	
3. Задача 1. Расчет требуемой степени очистки производственных стоков.....	
4. Задача 2. Расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от одиночных стационарных источников загрязнения.....	
5. Литература.....	