

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»

Утверждено на заседании кафедры
«Охрана труда и окружающей среды»
« 26 » 01 2021г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



В.М. Панарин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Безопасность жизнедеятельности»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
43.03.03 Гостиничное дело

с направленностью (профилем)
Гостиничная деятельность

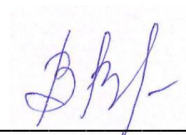
Форма обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 430303-01-21

Тула 2021год

Разработчик методических указаний

Векшина В.А., доцент, канд.биол. наук, доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

1. Цели и задачи работы

Цель работы: познакомиться со способами организации освещения производственных помещений, жилых и общественных зданий, видами и системами освещения; изучить методики расчета искусственного освещения.

Задачи работы: выполнить практическое задание по расчету общего искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока.

2. Теоретические сведения.

2.1. Виды и системы освещения

В зависимости от источников света различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

Естественное освещение в помещении может формироваться прямыми солнечными лучами, рассеянным светом небосвода и отраженным светом земли и других объектов. Однако оно переменное в течение суток, зависит от климатических и сезонных условий. Естественное освещение в производственных или строящихся зданиях в зависимости от направления поступления света может быть боковым, верхним или комбинированным.

Искусственное освещение создается электрическими источниками света.

Совмещенное освещение представляет собой дополнение естественного освещения искусственным в темное и светлое время суток при недостаточном по нормам естественном освещении.

Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение устраивают во всех помещениях, а также участках открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

При проектировании искусственного рабочего освещения применяют две системы освещения: **общее и комбинированное освещение**.

Общим называют освещение, которое освещает всю площадь помещения, строительной площадки. При этом принято два способа размещения осветительных установок: **равномерное и локализованное**.

Равномерное размещение осветительных установок общего освещения применяют, когда требуется обеспечить равномерность освещения всей площади. При необходимости дополнительной подсветки отдельных зон и участков используют локализованное **размещение** осветительных приборов.

Система **комбинированного освещения** включает общее и местное освещение. Местное освещение предназначено для освещения только лишь поверхностей рабочего места. Применение одного местного освещения внутри

зданий не допускается, кроме временного (ручными светильниками), относящегося к разряду переносного.

Аварийное освещение предусматривается во всех случаях, где внезапное отключение основного освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, опасность травмирования, длительное нарушение технологического процесса или нарушение работы, узлов связи, установок по водо и газоснабжению, дежурных постов и пунктов управления различными системами.

Эвакуационное освещение предусматривается в проходах производственных зданий с числом работающих более 50 человек, а также в общественных и административных зданиях с массовым скоплением людей (например, залы кинотеатров), где выход людей из помещения при внезапном отключении рабочего освещения связано с опасностью травматизма.

Охранное освещение предусматривается вдоль границ территории, охраняемых в ночное время.

2.2. Методика расчета общего искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Задачей расчета является определение потребной мощности электрической осветительной установки для создания в производственном помещении заданной освещенности. При проектировании различных систем искусственного освещения применяются различные методы. Для расчета общего равномерного освещения наиболее часто применяется метод светового потока (коэффициента использования).

В основу метода светового потока положена формула (1):

$$\hat{O} = \frac{100 \cdot \hat{A}_f \cdot S \cdot Z \cdot K}{N \cdot n \cdot \eta} \quad (1)$$

где \hat{O} - световой поток одной лампы, лм;

\hat{A}_f - нормируемая минимальная освещенность, лк;

S - площадь освещаемого помещения, м²;

Z - коэффициент минимальной освещенности, значения которого для дуговых ртутных ламп - 1,15, для люминесцентных ламп - 1,1;

K - коэффициент запаса (в задании равен 1,5);

N - число светильников в помещении;

n - число ламп в светильнике (для дуговых ртутных ламп $n=1$, для люминесцентных ламп $n=2$).

η - коэффициент использования светового потока лампы, %, зависящий от типа лампы, типа светильника, коэффициента отражения потолка и стен, высоты подвеса светильника и индекса помещения i .

Индекс помещения i определяется по формуле (2):

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} \quad (2)$$

где A и B - длина и ширина помещения, м;

H_p - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м,

$$H_p = H - H_1$$

H_1 - высота рабочей поверхности от пола, м.

Расчет общего равномерного освещения производится в следующей последовательности:

3. Порядок выполнения работы

Из таблицы 1 выписываются исходные данные для расчета.

1. Определяется площадь, подлежащая освещению.

2. Устанавливается норма освещенности на рабочих поверхностях в зависимости от разряда зрительных работ по СНиП 23-05-95 (таблица 2).

3. Выбирается схема размещения светильников в зависимости от ширины помещения (количество рядов светильников) (таблица 3, рисунок 1).

4. Исходя из длины помещения, определяется количество светильников в одном ряду (для люминесцентных ламп длина одного светильника - 1,5 м + зазор между светильниками 0,5 м, для дуговых ртутных длина светильника - 40 см) и общее количество светильников в помещении.

5. В соответствии с типом светильника определяется тип лампы и устанавливается количество ламп.

Каждому светильнику за исключением светильников специального назначения и для установки на транспорте присваивается шифр. Структура шифра такова: 1 - буква, обозначающая источник света, 2 - буква, обозначающая способ установки, 3 - буква, обозначающая основное назначение светильника, 4,5 - число, обозначающее количество ламп в светильнике. Буквы, обозначающие источник света: Н - лампы накаливания, Л - люминесцентные трубчатые лампы, Р - лампы типа ДРЛ (ртутные лампы высокого давления). Буквы, обозначающие способ установки: С - подвесные, П - потолочные, В - встраиваемые в подвесные потолки, Б - настенные. Буквы, обозначающие основное применение светильника: П - для промышленных предприятий, У - для наружного освещения, О - для общественных зданий, Р - для рудников и шахт, В - для бытовых помещений.

6. Определяется индекс помещения i по формуле 2.

7. Выбирается коэффициент использования светового потока η (табл. 4, 5).

8. Рассчитывается величина светового потока для одной лампы по формуле 1.

9. Из таблицы 6 выбирается конкретная марка лампы с величиной светового потока наиболее близкой к расчетной. Допустимое отклонение расчетного значения от табличного от -10 до +20%.

$$\Delta \hat{O} = \frac{\hat{O}_{\text{д.д.д.}} - \hat{O}_{\text{д}}}{\hat{O}_{\text{д.д.д.}}} \cdot 100$$

Если расчетная величина отклоняется от табличной на большую величину, производится корректировка системы освещения.

10. Выполняется эскиз системы общего равномерного освещения.

11. В заключение делается вывод: сколько ламп определенного типа требуется для создания в данном помещении нормированной освещенности для выполнения зрительных работ соответствующего разряда.

5.Задание на работу.

Расчет производится в соответствии с исходными данными, представленными в табл. 1

Таблица 1

Варианты заданий для расчета системы общего равномерного освещения

Номер варианта	Тип светильника	Размеры помещения, м			Разряд зрительных работ	Подразряд зрительных работ	Коэффициенты отражения ρ , %	
		Длина, А	Ширина, В	Высота, Н			Потолка	Стен
1	ЛСП01	24	9	8	IV	А	70	50
2	ЛВ001	18	18	12	III	Б	50	30
3	РСП05	24	12	6	IV	В	70	50
4	ЛСП01	24	9	6	V	Г	30	10
5	РСП07	18	12	6	IV	А	70	50
6	РСП05	30	30	16	IV	Б	50	30
7	ЛСП01	24	24	8	III	В	70	50
8	ЛВ001	18	18	14	V	Г	50	30
9	РСП07	24	9	6	IV	А	70	50
10	РСП07	30	9	8	III	Б	70	50

Примечание.

1. Н - высота помещения от пола до потолка.

2. При определении высоты подвеса светильника H_p принять высоту рабочей поверхности от пола $H_1=0,8$ м.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 2

Нормируемые величины освещенности для производственных помещений (фрагмент СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы по точности	Наименьший размер объекта различения	Разряд	Подразряд	Искусственное освещение			Естественное освещение	Совмещенное освещение
				Освещенность, лк				
				При системе комбинир. освещения		При системе общего освещения		
		зрительной работы		Всего	В т.ч. от общего		КЕО, %	
1	2	3	4	7	8	9	10	и
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	A	5000	500	-	-	2,0
			Б	3500	1000	1000		
			В	2500	300	750		
			Г	1250	200	300		
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	A	4000	400	-	-	1,5
			Б	2500	300	600		
			В	2000	200	400		
			Г	1000	200	300		
Высокой точности	Свыше 0,3 до 0,5	III	A	2000	200	500	-	1,2
			Б	1000	200	300		
			В	750	200	300		
			Г	400	200	200		
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	A	750	200	300	1,5	0,92
			Б.	500	200	200		
			В	400	200	200		
			Г	-	-	200		
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	A	400	200	300	1,0	0,8
			Б	-	-	200		
			В	-	-	200		
			Г	-	-	200		

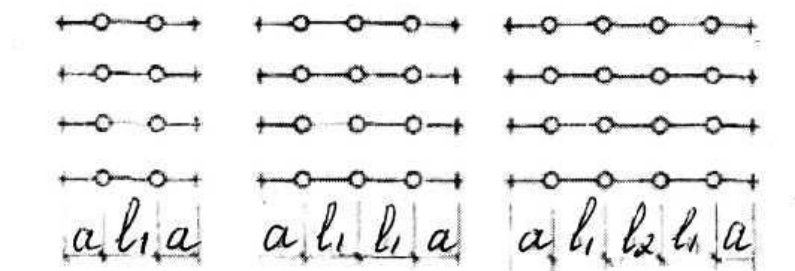


Рисунок 1 - Схемы размещения светильников

Таблица 3

Размещение светильников

Ширина помещения, м	Номер схемы по рис. 1	Расстояние, м		
		<i>a</i>	/,	<i>h</i>
9	1	1,5	6,0	-
	2	1,0	3,5	-
12	1	2,0	8,0	-
	2	1,5	4,5	-
	3	1,5	2,5	4,0
18	2	2,0	7,0	-
	3	2,0	4,0	6,0
24	2	3,0	9,0	-
	3	2,0	6,0	8,0
30	2	3,0	12,0	-
	3	3,0	8,0	8,0

Таблица 4

Коэффициент использования светового потока. Светильники с
люминесцентными лампами

Индекс помещения i	Тип светильника					
	ЛСП01			ЛВ001		
	Коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, %					
	70	50	30	70	50	30
	Коэффициент отражения стен $\rho_{\text{с}}$, %					
	50	30	10	50	30	10
	Коэффициент использования светового потока η , %					
0.5	25	23	22	13	13	10
0.6	31	29	26	17	16	13
0.7	35	33	30	19	18	15
0.8	38	36	32	21	19	17
0.9	41	38	35	23	21	18
1.0	43	40	37	24	22	20
1.5	50	46	44	29	27	25
2	54	50	48	31	29	28
3	59	54	52	35	32	31
4	61	56	55	36	34	32
5	63	58	57	38	35	34

Таблица 5

Коэффициент использования светового потока. Светильники с дуговыми
ртутными лампами

Индекс помещения i	Тип светильника					
	РСП05			РСП07		
	Коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, %					
	70	50	30	70	50	30
	Коэффициент отражения стен $\rho_{\text{с}}$, %					
	50	30	10	50	30	10
	Коэффициент использования светового потока η , %					
0,5	49	45	42	22	18	12
0,6	54	49	46	30	22	18
0,7	57	53	50	32	27	21
0,8	60	56	53	38	30	25
0,9	63	58	56	39	33	29
1,0	65	61	59	40	37	31
1,5	71	68	65	54	46	41
2	74	72	69	60	54	48
3	78	74	73	67	60	56
4	79	76	74	71	63	59
5	80	78	76	72	65	63

Таблица 6

Световые параметры люминесцентных и дуговых ртутных ламп

Люминесцентные лампы		Дуговые ртутные лампы	
Тип	Световой поток	Тип	Световой поток
ЛДЦ20	820	ДРЛ80	3400
ЛД20	920	ДРЛ125	6000
ЛБ20	1180	ДРЛ250	13000
ЛДЦ40	1450	ДРЛ400	23000
ЛД30	1640	ДРЛ700	40000
ЛБ30	2100	ДРЛ1000	57000
ЛД40	2340	ДРЛ2000	120000
ЛБ40	3120		
ЛДЦ80	3740		
ЛД80	4070		
ЛБ80	5220		

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА.

1. Цели и задачи работы

Цель работы: приобретение знаний по оценке шумового режима в помещениях, выбору и расчету средств защиты от шума.

Задачи работы:

1. выполнить практическое задание по расчету ожидаемых уровней звукового давления в производственном помещении;
2. произвести расчет мероприятий коллективной защиты от шума (звукоизолирующей перегородки; звукоизолирующего кожуха; звукопоглощающей облицовки).

2. Теоретические сведения.

Уровни шума в помещениях обусловлены акустическими характеристиками источников шума, их количеством и размещением, акустическими свойствами помещений.

Основными характеристиками, используемыми в практике борьбы с шумами, являются:

для источников шума – уровни звуковой мощности, L_P , дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

$$L_P = 10 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right),$$

где P – звуковая мощность источника, Вт; P_0 – пороговая звуковая мощность, равная 10^{-12} Вт;

для расчетных точек – уровни звукового давления, L_P , дБ, на тех же среднегеометрических частотах

$$L_P = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right),$$

где p – звуковое давление на рабочем месте, Па; p_0 – пороговое звуковое давление, равное $2 \cdot 10^{-5}$, Па.

Оценка звукового режима помещения проводится на основе расчетов ожидаемых уровней звукового давления в расчетных точках и сравнения их с допустимыми по нормам значениям. В качестве мер по снижению шума в помещениях могут быть предусмотрены акустические средства, включающие звукопоглощающие облицовки ограждающих конструкций зданий, звукоизолирующие конструкции (звукоизолирующие ограждения, звукоизолирующие кожухи, кабины и др.)

В настоящей работе студентам предлагается выполнить акустический

расчет:

ожидаемых уровней звукового давления в расчетной точке помещения; звукоизолирующего ограждения, звукопоглощающей облицовки.

3. Задание на работу

Дано. В рабочем помещении длиной A м, шириной B м, и высотой H м размещены источники шума – ИШ₁, ИШ₂,..., ИШ_n с уровнями звуковой мощности L_1, L_2, \dots, L_n (рис. 1). Источник шума ИШ₁ с заключен в кожух. В конце цеха находится помещение вспомогательных служб, которое отделено от основного цеха перегородкой с дверью площадью $S_{дв}=2,5 \text{ м}^2$. Расчетная точка находится на расстоянии r_i от источников шума.

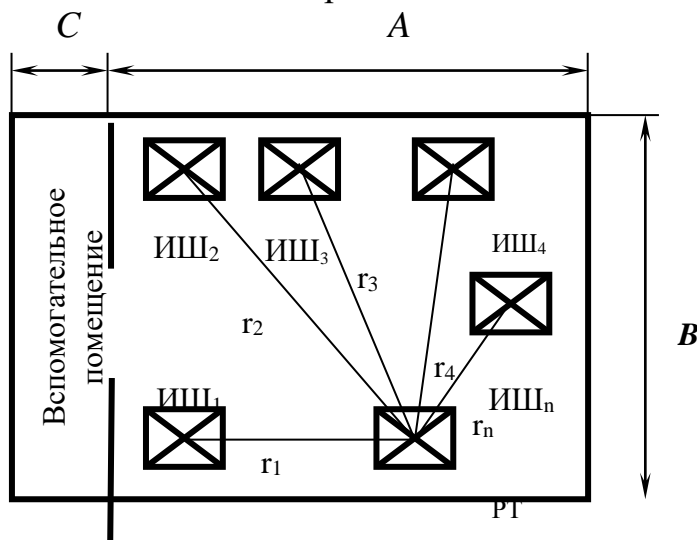


Рис. 1. Схема расположения оборудования – ИШ на участке и расчетной точки - РТ.

Рассчитать:

1. Уровни звукового давления в расчетной точке – РТ, сравнить с допустимыми по нормам, определить требуемое снижение шума на рабочих местах. Расчеты проводить в соответствии с п. 3.1.
2. Звукоизолирующую способность перегородки и двери в ней, подобрать материал для перегородки и двери. Расчеты производить в соответствии с п. 3.2.
3. Звукоизолирующую способность кожуха для источника ИШ₁. Источник шума установлен на полу, размеры его в а плане – $(a \times b)$ м, высота – h м. Подобрать материал для кожуха. Расчеты проводить в соответствии с п. 3.3.
4. Снижение шума при установке на участке цеха звукопоглощающей облицовки. Расчеты проводить в соответствии с п. 3.4.

Акустические расчеты проводятся в восьми октавных полосах на среднегеометрических частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Однако, в связи с повторяемостью и трудоемкостью, расчеты в практической работе студенты проводят не по всем частотам, а по

указанию преподавателя (3 – 4 частоты).

4. Методика расчетов

4.1. Расчет ожидаемых уровней звукового давления в расчетной точке и требуемого снижения уровней шума.

Если в помещении находится несколько источников шума с разными уровнями излучаемой звуковой мощности, то уровни звукового давления для среднегеометрических частот 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц в расчетной точке следует определять по формуле

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{\chi_i \Phi_i \Delta_i}{S_i} + \frac{4\Psi}{B} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right), \quad (1)$$

где

L – ожидаемые октавные уровни звукового давления в расчетной точке, дБ;

χ – эмпирический поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения расстояния r от расчетной точки до акустического центра к максимальному габаритному размеру источника $l_{\text{макс}}$, рис. 2. Акустическим центром источника шума, расположенного на полу, является проекция его геометрического центра на горизонтальную плоскость;

$\Delta_i - 10^{0,1L_{Pi}}$ – определяется по табл. 1;

L_{Pi} – октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ;

Φ – фактор направленности; для источников с равномерным излучением принимается $\Phi=1$;

S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку. В расчетах принять $S=2\pi r^2$, где r – расстояние от расчетной точки до источника шума;

Ψ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, принимаемый по графику (рис. 3) в зависимости от отношения постоянной помещения B к площади ограждающих поверхностей помещения $S_{\text{огр.}}$ ($S_{\text{огр.}}=S_{\text{пола}}+S_{\text{стен}}+S_{\text{потолка}}$);

B – постоянная помещения в октавных полосах частот, определяемая по формуле $B=B_{1000} \mu$, где B_{1000} – постоянная помещения на частоте 1000 Гц, м^2 , определяемая в зависимости от объема и типа помещения на частоте 1000 Гц (табл.2); μ – частотный множитель, определяемый по табл.3.;

m – количество источников шума, ближайших к расчетной точке, для которых $r_i < 5r_{\text{мин}}$, где $r_{\text{мин}}$ – расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего к ней источника шума, м;

n – общее количество источников шума в помещении с учетом коэффициента одновременности их работы.

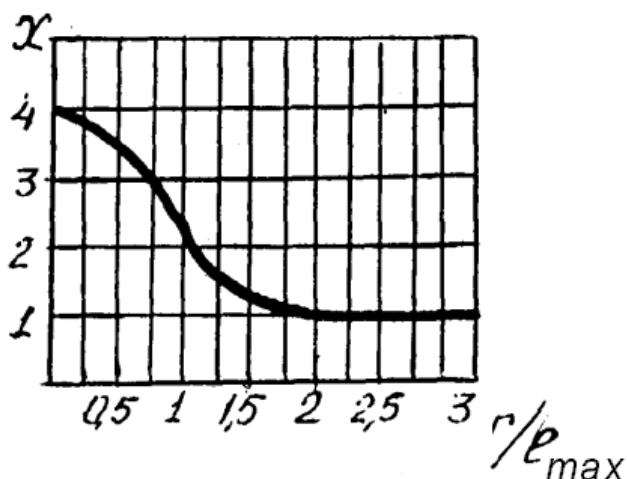


Рис . 2. График для
определения коэффициента χ

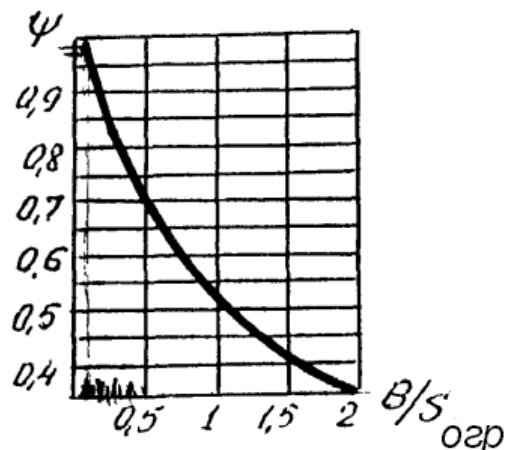


Рис . 3. График для
определения коэффициента ψ

Таблица 1

Определение величины $\Delta_i = 10^{0,1L_{pi}}$

Десятки	Единицы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	$1 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
4	$1 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$
5	$1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$
6	$1 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$
7	$1 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$
8	$1 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^8$
9	$1 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$	$6,3 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^9$
10	$1 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$	$6,3 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^{10}$
11	$1 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{11}$	$6,3 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^{11}$
12	$1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{12}$	$6,3 \cdot 10^{12}$	$8 \cdot 10^{12}$

Примечание: при пользовании таблицей величину L_{pi} следует округлять до целых значений децибел.

Пример. Найти величину Δ_i для $L_i=89,5$ дБ.

Решение: в столбце «Десятки» находим число 8, в строке «Единицы» находим число 9. Искомая величина $\Delta_i=8 \cdot 10^8$

Таблица 2

Значение постоянной помещения V_{1000}

Характеристика помещения	$V_{1000}, \text{м}^2$
С небольшим числом людей (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры, генераторные, машинные залы, испытательные стенды и т.п.).	$V/20$
С жесткой мебелью и большим количеством людей или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, деревообрабатывающие цехи, кабинеты и т.п.).	$V/10$
С большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения зданий управления, залы конструкторских бюро, аудитории и т.п.)	$V/6$
ПРИМЕЧАНИЕ. V – объем помещения	

Таблица 3

Значение коэффициента μ

Объем помещения, м^3	Значение μ на среднегеометрических частотах октавных полос							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V < 200$	0,8	0,75	0,8	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
$V = 200 - 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4	4,2
$V > 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

Требуемое снижение уровней звукового давления в расчетной точке для восьми октавных полос следует определять по формуле

$$\Delta L_{\text{треб}} = L_{\text{расч}} - L_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где:

$\Delta L_{\text{треб}}$ – требуемое снижение уровней звукового давления, дБ;

$L_{\text{расч}}$ – полученные расчетом октавные уровни звукового давления, дБ;

$L_{\text{доп}}$ – допустимые по нормам октавные уровни звукового давления, дБ.

Допустимые уровни шума на рабочих местах принимаются в соответствии с ГОСТ 12.1.003.-83. «Шум. Общие требования безопасности.» (табл. 4).

Таблица 4

Допустимые уровни шума на рабочих местах
(СН 2.2.4/2.1.8.562-96)

Вид трудовой деятельности	Условия звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Предприятия, учреждения и организации								
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность.	71	61	54	49	45	42	40	38
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории.	79	70	63	58	55	52	50	49
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, требующая постоянного слухового контроля, операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа.	83	74	68	63	60	57	55	54
4. Работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами.	91	83	77	73	70	68	66	64
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производстве и на территории предприятия.	95	87	82	78	75	73	71	69

4.2. Расчет звукоизолирующих ограждений, перегородок.

Звукоизолирующие ограждения, перегородки применяются для отдаления «тихих» помещений от смежных «шумных» помещений; выполняются из плотных, прочих материалов. В них возможно устройство дверей, окон. Подбор материала конструкций производится по требуемой звукоизолирующей способности $R_{\text{треб}}$, дБ, величина которой определяется по формуле

$$R_{\text{треб}} = L_{\text{сум}} - L_{\text{доп}} - 10 \lg B_{\text{и}} + 10 \lg S_{\text{и}} + 10 \lg m, \quad (3)$$

где:

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{\text{и}}} - \text{суммарный октавный уровень звуковой}$$

мощности излучаемой всеми источниками и определяемый с помощью табл. 1;

Таблица 5

Звукоизолирующая способность стен, перегородок, дБ

Материал конструкции	Толщина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичная кладка с двух сторон	1 кирпич	36	41	44	51	58	64	65	65
	2 кирпича	45	45	52	59	65	70	70	70
Железобетонная стена	50 мм	28	34	35	35	41	48	55	55
	100 мм	34	40	40	44	50	55	60	60
	200 мм	40	42	44	51	59	65	55	55
Гипсобебетонная плита	80 мм	-	28	33	37	36	44	44	42
Керамзитобетонная плита	80 мм	-	33	34	39	47	52	54	-
Шлакобетонная панель	250 мм	-	30	45	52	56	64	64	-
Древ. стружечная плита	20 мм	-	23	26	26	26	26	26	23
Фанера	3 мм	7	11	14	19	23	26	27	26
	5 мм	9	13	17	21	25	28	26	29
	10 мм	13	17	21	25	28	25	29	23
Стеклопластик	3 мм	9	13	17	21	25	29	31	32
	5 мм	12	16	20	24	28	31	31	34
	10 мм	17	21	25	28	31	31	34	38
Стальн. панели с ребрами жесткости	1 мм	13	17	21	25	28	32	35	35
	3 мм	19	23	27	31	35	37	30	39
	5 мм	22	26	30	34	37	32	36	42
	10 мм	26	30	34	36	32	36	42	46

$L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления в изолируемой от шума помещении, дБ, табл. 4;

$B_{\text{и}}$ – постоянная изолируемого помещения, м^2 ;

m – количество элементов в ограждении (сплошная перегородка – $m=1$, перегородка с окном или дверью – $m=3$).

Если звукоизолирующее ограждение включает окно, дверь, то требуемая звукоизолирующая способность $R_{\text{треб}}$ рассчитывается для каждого элемента. Материал конструкций выбирается по табл. 5 и 6

4.3. Звукоизолирующие кожухи

Применяются для снижения уровней звуковой мощности отдельных, наиболее шумных источников. Кожухи полностью закрывают источник шума, изготавливаются из листовых материалов (сталь, дюралюминий и др.). Внутренние поверхности стенок кожуха обычно облицовывают звукопоглощающим материалом. Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха определяется по формулам:

для необлицованных кожухов

$$R_{\text{треб}} = L_p + 10 \lg \left(\frac{\chi \Phi}{2\pi r^2} + \frac{4\Psi}{B} \right) - L_{\text{доп}} + 5; \quad (4)$$

для кожухов со звукопоглощающей облицовкой внутренних поверхностей

$$R_{\text{треб}} = L_p + 10 \lg \left(\frac{\chi \Phi}{2\pi r^2} + \frac{4\Psi}{B} \right) - L_{\text{доп}} + 5 - 10 \lg \alpha_{\text{обл}}; \quad (5)$$

где:

$L_{\text{доп}}$ – допустимые октавные уровни звукового давления, дБ;

$\alpha_{\text{обл}}$ – коэффициент звукопоглощения облицовочного материала;

Остальные обозначения такие же, как в формуле (1).

Выбор материала кожуха следует производить от $R_{\text{треб}}$ по справочникам или табл. 7.

4.4 Звукопоглощающие облицовки

Применяются для снижения интенсивности отраженных звуковых волн. Звукопоглощающие облицовки размещают на потолке и в верхних частях стен помещения. Для достижения максимально возможного поглощения звука рекомендуется облицовывать не менее 60% общей площади ограничивающих помещение поверхностей.

Выбор звукопоглощающей облицовки (материал, конструкция, коэффициент звукопоглощения и т.д.) следует производить по данным табл. 8 в зависимости от требуемого снижения шума $\Delta L_{\text{треб}}$. При этом реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки $\alpha_{\text{обл}}$ должен иметь максимальные значения в тех октавных полосах частотного диапазона, где наблюдается наибольшее превышение ожидаемых уровней звукового

давления над допустимыми значениями.

Таблица 6

Звукоизолирующая способность окон и дверей, дБ

Элемент конструкции	Условия прилегания по периметру	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Окно с силикатным стеклом толщиной 3 мм 6 мм	Без уплотняющих прокладок	8	12	16	18	20	22	20	20
		12	18	18	20	23	25	25	25
Оконный блок с двойным переплетом, толщина стекла 3 мм, воздушный зазор 170 мм	Без уплотняющих прокладок С уплотняющими прокладками из резины	22	27	26	28	30	28	27	27
		27	33	33	36	38	38	38	38
Двойное остекление со стеклами толщиной 4мм и 7мм и воздушным зазором: 200 мм 300 мм	То же	-	27	36	42	47	49	55	55
		-	32	39	43	47	51	55	55
Обыкновенная филенчатая дверь	Без уплотняющих прокладок С уплотняющими прокладками	7	12	14	16	22	22	20	20
		12	18	19	23	30	33	32	32
Глухая щитовая дверь толщиной 40	Без уплотняющих прокладок	17	22	23	24	24	24	23	23

мм, облицованная с двух сторон фанерой толщиной 4 мм	С уплотняющ ими прокладка ми	12	27	27	32	35	34	35	35
---	--	----	----	----	----	----	----	----	----

Таблица 7

Звукоизолирующая способность кожуха
со стенками плоской формы, дБ

Конструкция	Толщи на листа, мм	Размер листа, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стальной лист, покрытие из вибродемпфирующей мастики ВД – 17 – 58 толщиной 4 мм	0,7	2x2	20	24	28	33	37	39	42	45
Стальной лист, покрытие из минераловатных плит толщиной: 70 мм	1,5	1x1	-	20	26	35	39	40	46	48
Дюралюминиевый диск, покрытие из минераловатных плит толщиной: 80 мм 70 мм	2	2x2	20	15	20	28	36	43	50	53
	3	2x2	-	20	25	38	45	51	51	57
Стальной лист	1,2 – 2	2x2	26	23	28	33	38	44	48	30
		1x1	21	29	25	30	35	41	44	30
		0,5x0,5	18	25	31	29	33	37	40	30
		4x2	27	25	30	35	40	46	48	31
	3 – 4	2x1	22	30	28	33	37	42	44	31
		3x3	23	28	33	27	42	45	33	42
		2x2	28	25	30	35	41	44	33	42
		3x1,5	27	33	31	36	41	44	34	43
		2x1	23	32	29	35	41	43	34	43
Сплав	1,5x2	2x2	18	15	20	25	30	35	38	23

		1x1	15	21	17	27	27	32	35	22
		2x1	13	21	19	24	29	32	33	20

Таблица 8

Акустические характеристики звукопоглощающих материалов

Толщина звукопоглощающего материала, мм	Воздушный зазор, мм	Реверберационный коэффициент звукопоглощения на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Плиты ПА/О минераловатные акустические, размер 500x500 мм									
20	0	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20
20	50	0,02	0,03	0,42	0,93	0,90	0,79	0,45	0,20
Плиты «Акмигран» минераловатные размером 300x300 мм									
20	0	0,01	0,04	0,30	0,59	1	0,93	0,81	0,70
20	50	0,03	0,25	0,66	0,91	0,93	1	0,90	0,80
Маты из супертонкого волокна									
50	0	0,1	0,4	0,85	0,98	1	0,93	0,97	1
Супертонкое волокно с оболочкой из стеклоткани и покрытием из гипсовой плиты толщиной 7 мм с перфорацией									
100	0	0,9	0,66	1	1	1	0,96	0,7	0,5
Отходы капронового волокна, сетка из стеклоткани марки СЭ, покрытие из перфорированного металлического листа									
100	0	0,02	0,15	0,46	0,82	0,92	0,83	0,93	0,93
Плиты «Силапор» размерами 450x450 мм									
45	0	0,10	0,25	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
«Винипор» полужесткий									
35	0	-	-	0,07	0,12	0,19	0,45	0,89	0,89
Теплоизоляционный материал									
25	0	0,10	0,12	0,21	0,44	0,77	0,90	0,92	0,90
	50	0,11	0,16	0,40	0,83	0,94	0,82	0,92	0,80
Плиты ПП – 80, ППМ, ПММ звукопоглощающие полужесткие									
30	0	-	0,08	0,30	0,64	0,89	0,95	0,83	0,73
	50	-	0,21	0,40	0,72	0,98	0,79	0,75	0,75
50	0	-	0,14	0,52	0,92	0,99	0,42	0,82	0,78

	50	-	0,20	0,61	0,90	0,94	0,92	0,78	0,76
--	----	---	------	------	------	------	------	------	------

Величина возможного максимального снижения уровней звукового давления в расчетной точке при применении выбранных звукопоглощающих конструкций определяется по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \Psi}{B \Psi_1}, \quad (6)$$

где:

B – постоянная помещения до установки в нем звукопоглощающей облицовки, m^2 ; определяется так же, как в формуле (1);

B_1 – постоянная помещения после установки в нем звукопоглощающих конструкций, m^2 ; определение ее рассматривается ниже;

Ψ и Ψ_1 – коэффициенты, определяемые по графику на рис. 3, соответственно до и после установки звукопоглощающих конструкций.

Постоянную помещения B_1 следует определять по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1}, \quad (7)$$

где:

$A_1 = \alpha(S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}})$ – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностей не занятых звукопоглощающей облицовкой, m^2 ;

α – средний коэффициент звукопоглощения помещения до установки звукопоглощающей облицовки; определяется по формуле

$$\alpha = \frac{B}{(B + S_{\text{огр}})}; \quad \text{где } S_{\text{огр}} - \text{общая площадь ограждающих поверхностей}$$

помещения, m^2 ;

$S_{\text{обл}}$ – площадь звукопоглощающих облицовок, m^2 ;

ΔA – величина добавочного звукопоглощения, вносимого конструкцией звукопоглощающей облицовки, m^2 ; определяется по формуле

$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \cdot S_{\text{обл}}$, где $\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции облицовки в октавной полосе частот; определяемый по табл. 8.

α_1 – средний коэффициент звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями, определяемый по формуле

$$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S_{\text{огр}}}.$$

Выбранная звукопоглощающая облицовка будет обеспечивать необходимое снижение уровня шума в октавных полосах частот в том случае, если в результате расчетов получено $\Delta L_{\text{макс}} \geq \Delta L_{\text{треб}}$.

5. Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать наименование работы, ее цель, исходные данные, расчеты, выводы по результатам расчетов.

Результаты расчетов свести в таблицу 9.

6. Исходные данные для расчета

Работа выполняется по вариантам, которые согласовываются с преподавателем.

Уровни звуковой мощности источников шума выбирают по табл. 11 в соответствии с порядковыми номерами, указанными в табл. 10 по вариантам.

Исходные данные и результаты расчетов по варианту _____

Величина	Ссылка на рис., табл., формулу	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц
		63 124 250 500 1000 2000 4000 8000
Расчет ожидаемых уровней звукового давления		
1. L_1	табл. №11	
2. L_2	табл. №11	
3. L_3	табл. №11	
4. L_4	табл. №11	
5. L_5	табл. №11	
6. L	(1)	
7. $L_{\text{доп}}$	табл. №4	
8. $\Delta L_{\text{треб}}$	(2)	
Расчет звукоизолирующей перегородки с дверью		
1. $L_{\text{сум}}$	(3)	
2. $L_{\text{доп}}$	табл. №4	
3. $R_{\text{перег}}$	(3)	
4. $R_{\text{двери}}$	(3)	
и т. д.		

Таблица 10

Варианты заданий уровней звуковой мощности источников шума.

Вариант	Номер источников шума из табл. 11	Вариант	Номер источников шума из табл. 11
---------	-----------------------------------	---------	-----------------------------------

1	27*, 1, 2, 3, 4	14	24*, 4, 8, 12, 16
2	28*, 5, 6, 7, 8	15	31*, 20, 23, 19
3	26*, 9, 10, 11, 12	16	32*, 3, 7, 11, 23
4	30*, 13, 14, 15, 23	17	25*, 2, 6, 10, 14
5	31*, 17, 18, 19, 24	18	30*, 9, 13, 17, 21
6	25*, 16, 20, 21, 25	19	32*, 4, 7, 12, 15
7	33*, 1, 5, 9, 13	20	33*, 3, 6, 11, 14
8	32*, 2, 6, 17, 21	21	27*, 2, 5, 10, 13
9	27*, 10, 14, 18, 22	22	28*, 13, 15, 18, 20
10	24*, 3, 7, 11, 15	23	29*, 1, 6, 11, 16
11	25*, 4, 8, 19, 23	24	30*, 4, 7, 10, 12
12	26*, 12, 16, 20, 24	25	33*, 8, 11, 13, 14
13	29*, 5, 7, 14, 19		
* – уровни звуковой мощности для источника шума ИШ ₁			

Таблица 11

Уровни звуковой мощности оборудования L_{Pi} , дБ

№ по поряд ку	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	89	90	87	92	91	87	82	80
2	96	94	95	98	90	89	87	85
3	94	96	96	97	92	89	89	87
4	91	90	95	95	96	97	98	91
5	93	92	90	90	86	82	78	76
6	81	84	92	93	92	87	79	75
7	85	86	92	97	94	83	92	96
8	98	96	94	99	96	94	86	84
9	88	91	93	97	98	89	85	86
10	86	85	92	96	85	82	80	84
11	87	91	94	97	87	82	78	75
12	87	85	91	94	86	79	78	74
13	94	95	97	92	96	87	89	92
14	93	89	92	90	94	92	87	85
15	89	96	100	99	95	91	86	82
16	89	94	99	97	91	88	87	84
17	87	84	95	94	86	87	78	76
18	89	86	82	82	84	86	89	90
19	91	87	87	84	88	88	90	92
20	89	92	95	98	91	90	89	85
21	87	91	93	100	98	89	86	82
22	90	92	96	98	102	102	98	94
23	89	90	95	100	101	101	95	93
24	93	112	99	105	122	106	110	114
25	109	110	109	112	120	121	108	85
26	112	103	108	116	118	123	112	95
27	103	114	115	117	112	107	101	98
28	98	110	103	100	102	98	102	97
29	95	98	104	108	110	109	103	100
30	100	98	100	106	110	97	98	92
31	102	105	113	118	112	99	102	96
32	107	103	112	104	107	106	103	94
33	103	114	115	120	114	112	98	89

Таблица 12

Габаритные размеры участка цеха, кабины, источника шума ИШ₁,
размещение оборудования

Ва ри ан т	А, м	В, м	С, м	Н, м	r ₁ , м	r ₂ , м	r ₃ , м	r ₄ , м	r ₅ , м	l _{макс} , м	a, м	b, м	c, м	A _к , м	B _к , м	H _к , м
1	30	20	7	8	6	9	6,5	8	13	1,5	1,5	1,5	2	4	3	2,5
2	30	15	6	8	6	8	6	7	12	1,2	1,6	1,8	1,5	3	5	2,6
3	30	12	5	7	6	7	5	6	10	1,2	1,4	1,7	1,2	4	4	2,7
4	32	16	7	7	6,5	9	7	8	14	1,5	1,3	1,9	1,1	3	6	2,8
5	32	18	6	7	7	10	7,5	9	13	1,4	1,2	1,0	1,3	4	5	2,9
6	35	20	8	9	7,5	11	8	9,5	14	1,5	1,7	1,4	1,4	3	4	3,0
7	35	18	7	8	8	10	9	9	13	1,5	1,3	1,2	1,5	3	5	2,5
8	28	15	6	8	6	8	7	8	12	1,1	1,6	1,3	1,5	4	4	2,6
9	26	15	7	6	5	7	6	7,5	10	1,0	1,5	1,8	1,2	3	6	2,7
10	28	16	6	7	6,5	7,5	7	8	11	1,2	1,6	1,4	1,5	4	5	2,8
11	26	18	7	8	7	8	6	9	12	1,1	1,2	1,5	1,1	3	4	2,5
12	34	20	8	9	7	9	8	9,5	10	1,2	1,8	1,6	1,2	4	6	2,6
13	36	15	9	9	8	11	8,5	10	14	1,5	1,7	1,4	1,6	3	6	2,5
14	36	18	9	8	7	10	8	11	15	1,2	1,6	1,8	1,5	5	3	2,7
15	28	17	6	7	6	9	7	8	12	1,3	1,2	1,9	1,1	6	4	2,6
16	28	20	7	8	7	8	9	7	10	1,1	1,5	1,6	1,2	4	6	2,5
17	34	18]	9	10	8	10	9	11	14	1,3	1,6	1,7	1,3	3	5	2,7
18	34	22	8	9	9	11	10	9	15	1,4	1,4	1,5	1,6	5	3	2,8
19	29	17	7	8	6	8	7	8,5	13	1,2	1,3	1,8	1,2	3	4	2,8
20	32	19	6	9	7,5	12	8	9	12	1,3	1,2	1,7	1,5	4	4	2,0
21	45	22	7	9	7	8	9	10	13	1,4	1,6	1,3	1,6	4	5	2,5
22	35	24	9	9	8	9	10	9	14	1,5	1,7	1,4	1,4	4	6	2,8
23	29	16	5	8	6	8	6,5	7	12	1,3	1,2	1,2	1,7	5	3	2,9
24	31	17	7	9	7	9	7,5	8	11	1,2	1,3	1,4	1,8	5	6	2,5
25	32	18	6	7	6	8	7	9	12	1,1	1,5	1,6	1,3	6	3	3,0

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: освоить методику расчета параметров электромагнитных полей радиочастот и средств защиты.

Задачи работы: изучить основные характеристики электромагнитных полей радиочастот и их нормирование, выполнить расчет экрана.

2. Теоретические сведения

2.1. Общие сведения об электромагнитных полях.

Воздействие ЭМП на человека

Промышленными источниками электромагнитных полей являются высоковольтные линии электропередач, высокочастотные установки для нагрева материалов, радиотехнические и электронные устройства, антенны и др.

Электромагнитное поле (ЭМП) это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Переменное ЭМП представляет собой совокупность магнитного и электрического полей. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное - при прохождении тока по этим частям.

Электромагнитное поле обладает энергией и распространяется в виде электромагнитных волн. Скорость распространения колебаний в воздухе v равна скорости света $3 \cdot 10^8$ м/с. Длина волны зависит от частоты

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

где λ - длина волны, м;

v - скорость распространения колебаний, м/с;

f - частота колебаний, Гц.

Электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц) имеют длину волны 6 10 км. Электромагнитные поля радиочастот делятся на три диапазона:

Наименование диапазона	Частота колебаний	Длина волны
Высокие частоты (ВЧ)	60 кГц... 30 МГц	5 км...10м
Ультравысокие частоты (УВЧ)	30МГц...300МГц	10м...1м
Сверхвысокие частоты (СВЧ)	300МГц...300ГГц	1м...1мм

Примечание: 1 кГц - 10^3 Гц, 1 МГц = 10^6 Гц, 1 ГГц = 10^9

Область распространения электромагнитных волн от источника

излучения условно разделяют на три зоны: ближнюю (имеющую радиус менее $1/6$ длины волны), промежуточную и дальнюю (расположенную на расстоянии более $1/6$ длины волны от источника).

В ближней и промежуточной зонах Электромагнитная волна еще не сформирована, поэтому интенсивность ЭМП в этих зонах оценивается раздельно напряженностью электрической E (В/м) и магнитной H (А/м) составляющих поля.

В дальней зоне воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии

$$\vec{I} = \vec{A} \cdot \vec{I} ,$$

где P - плотность потока энергии, Вт/м²;

E - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м; H

H - напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м.

Персонал, обслуживающий высоковольтные электроэнергетические установки, находятся в ближней зоне ($1 < 1/6 \lambda$), и подвергается воздействию электромагнитных полей, причем основное воздействие оказывает электрическая составляющая поля.

Воздействие ЭМП на человека состоит в следующем: в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения ЭМП, появляются ионные токи.

Длительное воздействие ЭМП низкой частоты небольшой интенсивности приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.).

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает. При воздействии ЭМП частотой выше 60 кГц наступает нагрев тканей. Облучение особенно вредно для глаз, мозга, половых органов. Облучение глаз вызывает помутнение хрусталика (катаракту). При плотности потока энергии выше 100 Вт/м² организм не справляется с отводом образующейся теплоты и температура тела повышается. Это может привести к тепловому удару (головной боли, рвоте, обмороку).

При текущем санитарном контроле (не реже одного раза в год), а также в случае приемки источников ЭМП или изменения их конструкции и режимов работы, производится измерение параметров электромагнитного поля на рабочих местах. Измеренные значения сравниваются с нормативными по ГОСТ 12.1.002-84 1 или ГОСТ 12.1.006-84 и если они не соответствуют, то применяются меры защиты.

2.2 Характеристики источников электромагнитных полей

Источниками ЭМП высоких частот (ВЧ), ультравысоких частот (УВЧ) и

сверхвысоких частот (СВЧ) являются радиотехнические и электронные устройства, применяемые для радиосвязи, радиолокации и радиотелеметрии (генераторы высоких и сверхвысоких частот, открытые концы волноводов, антенны).

Рабочие места по обслуживанию источников ВЧ и УВЧ-колебаний обычно находятся в ближней зоне и воздействие оказывают как электрическая, так и магнитная составляющие поля.

Рабочие места по обслуживанию СВЧ-аппаратуры практически находятся в дальней зоне. В этой зоне воздействия ЭМП оценивается плотностью потока энергии.

Обычно электромагнитное поле от источника распределяется во все стороны равномерно. В этом случае плотность потока энергии рассчитывается по формуле:

$$\dot{I} = \frac{D_e}{4\pi \cdot r^2}, \quad (1)$$

где \dot{I} - плотность потока энергии ЭМП, Вт/м²;

D_e - мощность излучения от источника, Вт;

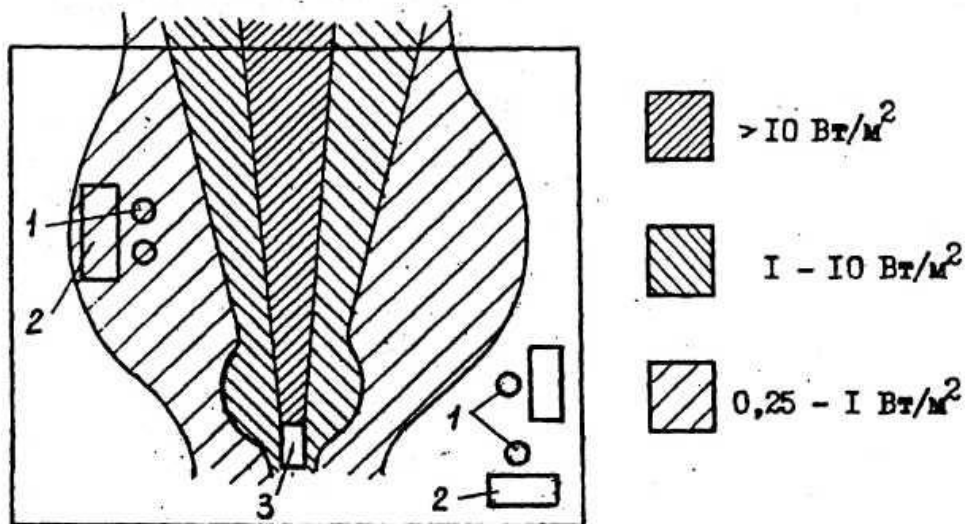
r - расстояние до источника излучения, м.

Если излучение имеет направленный характер, тогда формула принимает вид

$$\dot{I} = \frac{D_e \hat{e}_f}{4\pi \cdot r^2}, \quad (2)$$

где \hat{e}_f - коэффициент направленности излучения.

Наиболее опасны антенны радиолокационных станций (РЛС), так как они обладают высоким коэффициентом концентрации энергии в определенном направлении (коэффициентом усиления антенны), достигающим десятков тысяч единиц. Однако и в других направлениях их излучение может достигать нескольких Вт/м² (рис. 1).



1 - рабочее место; 2 - стол (стенд); 3 - РЛС
Рисунок 1 - Зоны излучения РЛС в помещении

2.3. Нормирование воздействия ЭМП высокой, ультравысокой и сверхвысокой частот

По ГОСТ 12.1.006-84 в диапазоне частот от 60 кГц до 300 МГц (ВЧ и УВЧ) нормируется напряженность электрической и магнитной составляющих ЭМП, а также энергетическая нагрузка на человека. Предельные значения \dot{A}_{ra} , \dot{I}_{ra} , \dot{Y}_{ra} , \dot{Y}_{ia} приведены в таблице 1.

$$\dot{Y}_A = \dot{A}^2 \cdot \dot{O} \quad (3)$$

$$\dot{Y}_I = \dot{I}^2 \cdot \dot{O} \quad (4)$$

где \dot{Y}_A - энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, (В/м)²*ч;

\dot{Y}_I - энергетическая нагрузка, создаваемая магнитным полем, (А/м)²-ч;

\dot{O} - время воздействия на человека, ч.

Предельно допустимое значение \dot{E} и \dot{H} в диапазоне частот 60кГц...300 МГц на рабочих местах персонала следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$\dot{A}_{ra} = \sqrt{\frac{\dot{Y}_{ra}}{\dot{O}}} \quad (5)$$

$$\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}} = \sqrt{\frac{\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}}{\dot{O}}} \quad (6)$$

где $\dot{A}_{\dot{r}\ddot{a}}$ и $\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}}$ - предельно допустимые значения напряженности электрического, В/м и магнитного, А/м, полей;

$\dot{Y}_{\dot{A}\ddot{a}}$ и $\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня (В/м)²*ч и (А/м)²*ч.

Таблица 1— Значения $\dot{A}_{\dot{r}\ddot{a}}$, $\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}}$, $\dot{Y}_{\dot{A}\ddot{a}}$ и $\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}$

Параметр	Предельные значения в диапазоне, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	^ св.30 до 300
$\dot{A}_{\dot{r}\ddot{a}}$, В/м	500	300	80
$\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}}$, А/м	50	-	-
$\dot{Y}_{\dot{A}\ddot{a}}$ (В/м) ² *ч	20000	7000	800
$\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}$, (А/м) ² *ч	200	-	-

Одновременное воздействие электрических и магнитных полей в диапазоне частот от 0,06 до 3 МГц следует считать допустимой при условии

$$\frac{\dot{Y}_{\dot{A}}}{\dot{Y}_{\dot{A}\ddot{a}}} + \frac{\dot{Y}_{\dot{f}}}{\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}} \leq 1 \quad (7)$$

2.3.1. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц измеренное значение напряженности электрического поля $E = 50$ В/м, время воздействия 8 ч.

Энергетическая нагрузка

$$\dot{Y}_{\dot{A}} = \dot{A}^2 \cdot \dot{O} = 50^2 \cdot 8 = 20000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч} \quad (8)$$

т.е. при $E = 50$ В/м допускается в течение рабочего дня нахождение людей без средств защиты.

2.3.2. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность магнитного поля $H = 50$ А/м. Возможное время нахождения людей в этой зоне без средств защиты

$$\dot{O} = \frac{\dot{Y}_{\dot{f}\ddot{a}}}{\dot{I}^2} = \frac{200}{50^2} = 0,08 \div = 4,8 \text{ ÷ } \dot{t} \quad (9)$$

т.е. время меньше 5 мин. Поэтому $\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}} = 50$ А/м, и если H будет выше $\dot{I}_{\dot{r}\ddot{a}}$, то запрещается даже кратковременное пребывание людей в этой зоне без средств защиты.

2.3.3. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность электрической составляющей поля $E = 50$ В/м и напряженность магнитной составляющей поля $H = 5$ А/м. Энергетическая нагрузка при времени работы 4 ч:

$$\dot{Y}_A = 50^2 \cdot 4 = 10000 (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$$

$$\dot{Y}_I = 5^2 \cdot 4 = 100 (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$$

условие
$$\frac{\dot{Y}_A}{\dot{Y}_{A\ddot{a}}} + \frac{\dot{Y}_I}{\dot{Y}_{I\ddot{a}}} = \frac{10000}{20000} + \frac{100}{200} = 1$$

т.е. допускается работа в течение 4 ч без средств защиты.

В диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц (СВЧ) по ГОСТ 12.1.006-84 [2] нормируется плотность потока энергии $\ddot{I}_{\ddot{a}}$ и энергетическая нагрузка на человека за рабочий день $\dot{Y}_{\ddot{a}}$.

Значение плотности потока энергии не должна превышать 10 Вт/м², даже при кратковременном нахождении людей в этой зоне, т.е. при П больше 10 Вт/м² нахождение людей без средств защиты запрещается.

Если плотность потока энергии П менее 10 Вт/м² можно рассчитать допустимое время нахождения людей в этой зоне (или, при известном времени, рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии):

$$\dot{O}_{\ddot{a}} = \frac{\dot{Y}_{\ddot{a}}}{\ddot{I}} \quad \text{при } П \leq 10 \text{ Вт/м}^2, \quad (8)$$

$$\ddot{I}_{\ddot{a}} = \frac{\dot{Y}_{\ddot{a}}}{\dot{O}} \quad \text{при } \ddot{I}_{\ddot{a}} \leq 10 \text{ Вт/м}^2, \quad (9)$$

где $\dot{O}_{\ddot{a}}$ - предельно допустимое время пребывания людей в зоне электромагнитного поля, ч;

$\dot{Y}_{\ddot{a}}$ - нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день Вт*ч/м²;

П - значение плотности потока энергии в зоне нахождения людей, Вт/м²;

$\ddot{I}_{\ddot{a}}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м²;

Т - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Энергетическая нагрузка Э представляет собой суммарный поток энергии П, проходящий через единицу облучаемой поверхности за время действия Т, и выражается произведением

$$\dot{Y} = \ddot{I} \cdot \dot{O} \quad (10)$$

Нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день принимается равной:

$\dot{Y}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = 2 \text{ Вт} * \text{ч/м}^2$ - для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

$\dot{Y}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = 20 \text{ Вт} * \text{ч/м}^2$ - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скваженностью не менее 50.

2.3.4. Пример. Источником ЭМП частотой 100 ГГц является антенна, вращающаяся с периодом 5 об/мин. На рабочем месте оператора плотность потока энергии составляет 4 Вт/м². Определить допустимое время нахождения оператора на рабочем месте в смену.

Решение.

Допустимая энергетическая нагрузка на человека в день по ГОСТ 12.1.006-84 составляет 20 Вт * ч/м². По формуле (8)

$$\dot{O}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = \frac{\dot{Y}_{\dot{\imath}\ddot{a}}}{\dot{I}} = \frac{20}{4} = 5 \text{ ч.}$$

т.е. допустимое время $\dot{O}_{\dot{\imath}\ddot{a}}$ не более 5 ч.

2.3.5. Пример. Рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии на рабочем месте оператора СВЧ-установки. Время работы оператора 8 ч.

Решение.

Принимаем по ГОСТ 12.1.006-84 нормативную величину энергетической нагрузки $\dot{Y}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = 2 \text{ Вт} * \text{ч/м}^2$.

По формуле (9)

$$\ddot{I}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = \frac{\dot{Y}_{\dot{\imath}\ddot{a}}}{\dot{O}} = \frac{2}{8} = 0,25 \text{ Вт/м}^2$$

Проверяем $\ddot{I}_{\dot{\imath}\ddot{a}} = 0,25 \text{ Вт/м}^2 < 10 \text{ Вт/м}^2$.

Таким образом предельно допустимое значение $\ddot{I}_{\dot{\imath}\ddot{a}}$ равно 0,25 Вт/м².

Из примера 2.3.5 видно, что для наихудших условий и работе в течение

всего рабочего дня предельно допустимое значение плотности потока энергии от источника СВЧ составляет 0,25 Вт/м².

2.4 Защита от воздействия ЭМП радиочастот

Для уменьшения воздействия ЭМП радиочастот применяются следующие меры:

- уменьшение напряженности и плотности потока энергии ЭМП путем согласования нагрузок и поглотителей мощности;
- экранирование рабочих мест;

- удаление рабочего места от источника ЭМП (дистанционное управление);
- рациональное размещение в рабочем помещении оборудования, излучающего электромагнитную энергию;
- установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала;
 - применение предупреждающей сигнализации (световой, звуковой);
 - применение индивидуальных средств защиты.

Наибольшая эффективность защиты от ЭМП может быть достигнута локализацией электромагнитного поля радиотехнического устройства с помощью корпуса, а также применением экрана

Экраны изготавливаются из стали или алюминия. Глубина проникновения ЭМП в экран мала, поэтому любой экран из соображения прочности изготавливают толщиной не менее 0,5 мм. Листы экрана должны быть надежно соединены между собой, обеспечивая электрический контакт. Шов выполняется сваркой, пайкой или точечной сваркой с шагом не более 50 - 100 мм. Экраны должны быть заземлены.

Очень часто в экранирующих устройствах необходимо предусмотреть окна и вентиляционные отверстия. Для того, чтобы не было излучений, отверстия выполняются обычно в виде патрубка с сетками на обоих концах (рисунок 2, а), в виде отдельных отрезков труб (рисунок 2, б) или в виде сотовых конструкций (рисунок 2, в). Патрубки и отрезки труб (рисунок 2, б) выполняют роль заградительных волноводов, т.е. волноводов в которых поперечные размеры меньше размеров, соответствующих критическим длинам волн. В таких волноводах происходит быстрое ослабление излучения.

Если высокочастотные установки размещаются в общем производственном корпусе, то их необходимо устанавливать в угловых специально выделенных помещениях. При мощности до 30 кВт установка должна размещаться на площади не менее 25 м², а выше 30 кВт - более 40 м². Помещение должно быть оборудовано общеобменной вентиляцией. Воздуховоды, во избежание высокочастотного нагрева, выполняются из асбоцемента, текстолита, гетинакса. Излучение от установки не должно проникать через стены, перекрытия, оконные рамы и двери.

Аналогичным образом должны быть защищены люди, находящиеся в здании, от внешнего излучения (от антенн радиовещания, телевидения, радиолокации).

При решении вопросов защиты от ЭМП необходимо рассчитать радиус опасной зоны по формулам (1) или (2), приняв значение плотности потока энергии P равным предельно допустимому значению.

Если здания попадают в опасную зону, то необходимо учитывать, что элементы здания снижают воздействие ЭМП на 5...20дБ (табл. 2).

Лесонасаждения, расположенные в непосредственной близости от источников излучения, ослабляют ЭМП на 3... 10 дБ.

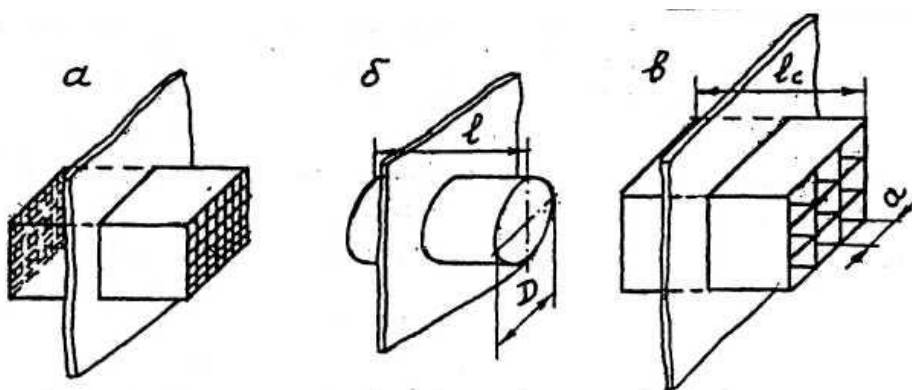
Если ослабление ЭМП строительными конструкциями не достаточно, то в помещении должны быть экранированы стены, потолок, оконные и дверные

проемы, вентиляционная система. Монтаж экранов производится прикреплением стальных или дюралевых листов к поверхностям помещения. Отверстия в экранах должны быть выполнены по принципу запердельного волновода.

Также могут быть использованы экранированные кабины, собираемые из стальных щитов.

Для исключения отражения электромагнитных волн применяются радиопоглощающие материалы в виде тонких резиновых ковриков, листов перлона или древесины, пропитанной соответствующим составом. Их склеивают или присоединяют к основе конструкции экрана специальными скребками.

В тех случаях, когда перечисленные выше методы защиты от ВЧ, УВЧ и СВЧ излучений не дают достаточного эффекта (например, при настройке устройств), необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты. Если излучение имеет интенсивность более 10 Вт/м^2 , то необходимо использовать очки даже при кратковременных работах. Очки типа ОРЗ-5 изготавливаются из стекла, покрытого слоем полупроводникового оксида олова. В диапазоне СВЧ они ослабляют мощность излучения в 1000 раз.



а - патрубок с сетками; б - отрезок трубы; в - сотовая конструкция

Рис. 2 - Конструкции вентиляционных и смотровых отверстий и экранов

Таблица 2— Ослабление электромагнитных излучений СВЧ строительными конструкциями

Материал и элементы конструкции	Ослабление потока энергии	
	$\lambda = 3 \text{ см}$	$\lambda = 10 \text{ см}$
Кирпичная стена толщиной 70 см	21	16
Междуэтажное перекрытие	22	20
Оштукатуренная стена здания	12	8
Окна с двойными рамами	13	7

2.5 Методика расчета экранов

Методика расчета экранирующего устройства от воздействия ЭМП заключается в оценке эффективности применения материалов и конструкций.

Исходными данными расчета являются геометрические размеры экрана и технологических проемов, электрические и магнитные характеристики материалов экрана, длина волны излучения, напряженность поля в рабочей зоне и длительность пребывания в ЭМП.

Порядок расчета следующий.

2.5.1. Определяется в какой зоне (ближней или дальней) находится расчетная точка (рабочее место) от источника ЭМП и какими параметрами оценивается интенсивность электромагнитного поля (таблица 3).

Таблица 3 — Зоны воздействия ЭМП

Ближняя зона $r = \lambda / 2\pi$	Промежуточная зона	Дальняя зона $r > \lambda / 2\pi$
Воздействие ЭМП оценивается напряженностью электрической составляющей поля E , В/м, или напряженностью магнитной составляющей поля H , А/м		Воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии P , Вт/м ²

Рабочие места по обслуживанию источников ВЧ и УВЧ колебаний обычно находятся в ближней зоне, а рабочие места по обслуживанию СВЧ-аппаратуры практически находятся в дальней зоне.

2.5.2. По ГОСТ 12.1.006-84 определяются предельно допустимые уровни напряженности $\dot{A}_{i\ddot{a}}$ или $\dot{I}_{i\ddot{a}}$ (см. таблицу 1) или предельно допустимый уровень плотности потока энергии $\dot{I}_{i\ddot{a}}$ (см. формулу 6).

2.5.3. Рассчитывается радиус опасной зоны по одной из формул.

Если расчетная точка (рабочее место) находится вне опасной зоны, то защитных мероприятий не требуется. Если же рабочее место находится в опасной зоне, то следует либо уменьшить время пребывания в этой зоне, либо установить защитный экран. Методика расчета экрана приведена ниже.

2.5.4. Рассчитывается напряженность E или H электромагнитного поля, или плотность потока энергии по одной го формул.

2.5.5. Определяется требуемая эффективность экрана

$$\dot{Y}_{\partial\partial} = \frac{\dot{A}}{\dot{A}_{i\ddot{a}}} \quad (11)$$

$$Y_{\delta\delta} = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}} \quad (12)$$

$$Y_{\delta\delta} = \frac{\ddot{I}}{\ddot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}} \quad (13)$$

где $Y_{\delta\delta}$ - требуемая эффективность экранирования, показывающая во сколько раз необходимо снизить воздействие ЭМП;

Е, Н, П - соответственно электрическая и магнитная составляющие поля и плотность потока энергии в точке пространства, в которой возможно нахождение людей;

$\dot{A}_{\ddot{r}\ddot{a}}$, $\dot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}$, $\ddot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}$ - предельно допустимые уровни соответственно электрической и магнитной составляющих поля и плотности потока энергии.

В связи с тем, что эффективность экранирования может изменяться в очень больших пределах (от единиц до 10^{10}), то на практике обычно эффективность экранирования представляют в логарифмических единицах - децибелах (дБ):

$$L_A = 20 \lg \frac{\dot{A}}{\dot{A}_{\ddot{r}\ddot{a}}} \quad (14)$$

$$L_I = 20 \lg \frac{\dot{I}}{\dot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}} \quad (15)$$

$$L_{\ddot{I}} = 20 \lg \frac{\ddot{I}}{\ddot{I}_{\ddot{r}\ddot{a}}} \quad (16)$$

2.5.6. Рассчитывается эффективность проектируемого экрана $Y_{\delta\delta}$. Расчет проводится по формулам в зависимости от зоны действия ЭМП (ближняя $r < \lambda / 2\pi$ или дальняя $r > \lambda / 2\pi$) и вида экрана (металлический сплошной, сетчатый и т.д.). Формулы приведены в разделе 2.6.

Если в экране имеются отверстия или смотровые окна закрытые сеткой, стеклом с токопроводящей поверхностью или выполненными в виде сотовой решетки, то общая эффективность экранирования определяется по этому наиболее опасному участку. Рекомендации по определению максимальных размеров отверстий, патрубков, сотовых решеток и т.п. приведены в разделе 2.7.

Толщина экрана обычно принимается из условия прочности и вида сварки от 0,8 до 2 мм. При использовании сетчатых экранов или экранов из электрических тонких материалов необходимо проверять, чтобы эквивалентная толщина сетки d , или толщина металлического слоя d была больше в π раз значения глубины проникновения электромагнитного поля, т.е.

$$d > \pi\delta$$

2.5.7. Проверяется условие

$$\dot{Y}_{\delta \delta} \geq \dot{Y}_{\delta \delta} \quad (17)$$

т.е. что экранирующее устройство обеспечивает ослабление электромагнитного поля до допустимого значения.

2.6 Формулы расчета эффективности экранов (сплошных, с перфорацией, сетчатых, из тонких материалов, из токопроводящей краски)

2.6.1. Эффективность металлического сплошного экрана рассчитывается по формуле из книги [5, с. 139]:

$$\dot{Y}_{\delta \delta} = (\delta Z / \rho)^{1/2} \cdot (\lambda / R_Y)^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \cdot \exp(2\pi \cdot d / m) \quad (18)$$

где $\dot{Y}_{\delta \delta}$ - эффективность экранирования (по электрической составляющей ЭМП, магнитной составляющей ЭМП, или по плотности потока энергии);

δ - глубина проникновения (расстояние, на котором напряженность поля уменьшается в $e = 2,73$ раза), м;

Z - волновое сопротивление электромагнитного поля, Ом;

ρ - удельное сопротивление материала экрана, Ом м;

λ - длина волны ЭМП, м;

R_Y - эквивалентный радиус экрана, м;

d - толщина металлического листа экрана, м;

m - наибольший размер технологических отверстий (щелей), м.

Глубина δ проникновения вычисляется по формуле (19), где параметры ρ и μ принимаются по таблице 4.

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f_i}} = 0,03 \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho}{\mu}} \quad (19)$$

где μ - относительная магнитная проницаемость материала экрана (таблица 4)

f_i - частота колебаний электромагнитного излучения, МГц;

λ - длина волны ЭМП, м.

Таблица 4 - Характеристики материалов экранов

Материал	Удельное сопротивление ρ , Ом м	Относительная магнитная проницаемость
Алюминий	$0,28 \cdot 10^{-7}$	1
Медь	$0,17 \cdot 10^{-7}$	1
Сталь	$1,5 \cdot 10^{-7}$	150

Волновое сопротивление Z имеет различное значение для электрической магнитной составляющих поля, поэтому в формуле (18) при определении эффективности экрана по электрической составляющей нужно

подставлял волновое сопротивление $Z = Z_{\dot{A}}$ по магнитной составляющей $Z = Z_{\dot{I}}$, по плотности потока энергии $Z = Z_{\dot{I}}$.

Волновое сопротивление $Z_{\dot{A}}$ определяется выражением

$$Z_{\dot{A}} = \frac{Z_{\dot{I}} \lambda}{2\pi R_{\dot{Y}}} \text{ при } \frac{2\pi R_{\dot{Y}}}{\lambda} = 1 \quad (20)$$

в остальных случаях $Z_{\dot{A}} = 377 \text{ Ом}$, где $Z_{\dot{I}}$ - волновое сопротивление воздуха, $Z_{\dot{I}} = 377 \text{ Ом}$.

Волновое сопротивление $Z_{\dot{I}}$ определяется выражением

$$Z_{\dot{I}} = \frac{2\pi R_{\dot{Y}}}{\lambda} Z_{\dot{I}} \quad (21)$$

Для экрана прямоугольной формы

$$R_{\dot{Y}} = 0,62(V_{\dot{Y}\dot{e}\dot{d}})^{1/3} \quad (22)$$

где, $V_{\dot{Y}\dot{e}\dot{d}}$ - внутренний объем экрана, м^3 .

2.6.2. Эффективность металлического экрана с перфорацией (отверстиями) рассчитывается по формуле из книги [5, с. 139]:

$$\dot{Y}_{\dot{Y}\dot{e}\dot{d}.i} = (\delta Z / \rho)^{1/2} \cdot (1 - D / \alpha_{\dot{o}})^2 \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \cdot \exp(2\pi d / m) \quad (23)$$

где $\alpha_{\dot{o}}$ - расстояние между центрами отверстий перфорации или щелей в экране, м;

D - диаметр отверстий перфорации, м;

Формула (23) применима для широкого диапазона волн пока $\lambda > m\pi$. При $\lambda \rightarrow m\pi$ множитель $(1 - \pi m / \lambda)^6$ резко уменьшается и эффективность экрана становится незначительной.

2.6.3. Эффективность сетчатых экранов вычисляется по формуле

$$\dot{Y}_{\dot{Y}\dot{e}\dot{d}.n} = (d_{\dot{Y}} \cdot \frac{Z_{\dot{I}}}{\rho})^{1/2} \cdot (\frac{\lambda}{R_{\dot{Y}}})^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \cdot \exp(\frac{\pi d_s}{S - d_s}) \quad (24)$$

где d_s - эквивалентная толщина сетки, м,

$$d_{\dot{Y}} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4S} \quad (25)$$

где d_s - диаметр провода сетки, м;

S - шаг сетки, м.

Для обеспечения эффективности сетчатого экрана его эквивалентная толщина d_{γ} должна быть не менее, чем в π раз больше глубины проникновения электромагнитного поля δ , то есть

$$d_{\gamma} > \pi \delta$$

2.6.4. Эффективность экранов, изготовленных из электрически тонких материалов, в том числе с металлизированными поверхностями, определяется выражением [5, с. 140]:

$$\dot{Y}_{\gamma\delta\delta.\delta} = 1,25\pi \cdot (d \cdot Z / \rho)^{1/2} \cdot (\lambda / R_{\gamma})^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \quad (26)$$

За толщину экрана d принимается толщина нанесенного слоя металла. Для обеспечения эффективности экрана толщина должна быть больше 3δ .

2.6.5. Эффективность экранирования токопроводящей краской, нанесенной на экраны, кабины и т.п. изготовленных из диэлектрических материалов (дерева, пластмассы), вычисляется по формуле из книги [5, с. 140]:

$$\dot{Y}_{\gamma\delta\delta.\delta} = 1,25\pi \cdot (Z / R_f)^{1/2} \cdot (\lambda / R_{\gamma})^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \quad (27)$$

где, R_f - поверхностное сопротивление краски, Ом.

Для лака 9-32 и 300%-ного карандашного графита марки КГБ, поверхностное сопротивление примерно равно 7-7,5 Ом при толщине покрытия 0,15-0,17 мм и 5-6 Ом - при толщине покрытия 0,20-0,21 мм.

2.7. Расчет размеров соединений, технологических отверстий, патрубков, сотовых решеток

2.7.1. Для обеспечения электрической герметичности листы (полотна) экрана должны быть соответствующим образом соединены: внахлест (с перекрытием), встык или двойным фланцем [5, с. 95].

Сварка непрерывным швом может быть заменена точечной сваркой или креплением листов винтами. При этом среднее число n контактных точек

на 1 м длины контакта определяется формулой

$$n = 10,6(L_{\delta\delta} / \lambda)^{0,25} \quad (28)$$

где $L_{\delta\delta}$ - требуемая эффективность экранирования, дБ.

Для обеспечения снижения воздействия ЭМП на 40 дБ при длине волны менее 5 м следует отказаться от точечных контактов и прибегать к использованию сплошных соединений элементов конструкции экрана.

2.7.2. Вентиляционные и коммутационные отверстия в экране не должны снижать эффективность экрана. Эти отверстия должны быть выполнены по принципу заградительного волновода.

Минимальное затухание, вносимое отверстием как фильтром, может быть рассчитано по формуле из книги [5, с. 106].

Для прямоугольного отверстия

$$\hat{A}_{i \rightarrow i} = \frac{27,3}{\alpha} \sqrt{1 - \left(\frac{2\alpha}{\lambda}\right)^2} \quad (29)$$

где $\hat{A}_{i \rightarrow i}$, - минимальное затухание, вносимое волноводом как фильтром, (т.е. снижение электромагнитных колебаний) на 1 м длины, дБ/м;

α - минимальный размер отверстия, м;

λ - длина волны ЭМП, м.

Для круглого отверстия (см. рисунок 2, б) следует принимать

$$\alpha = 0,853 D,$$

где D - диаметр отверстия, м.

2.7.3. В диапазоне сантиметровых волн отверстия в экранах закрываются волноводными фильтрами типа "сотовая решетка" (см. рисунок 2, в). Сотовая конструкция патрубка обладает большей эффективностью, чем эффективность отдельного волновода. Дополнительное ослабление излучения сотовой конструкции $L_{\text{ср}}$, дБ, для квадратного или прямоугольного патрубка вычисляется по формуле

$$L_{\text{ср}} = 20 \ln \sqrt{n_{\beta}}, \quad (30)$$

где n_{β} - число ячеек в общем сотовом волноводе.

Дополнительное ослабление сотовым патрубком $L_{\text{ср}}$ должно вычисляться из заданного ослабления при определении минимальной длины заградительного волновода, поэтому длина сотовой решетки

$$L_{\text{ср}} = \frac{L_{\text{зв}} - 20 \ln \sqrt{n_{\beta}}}{B_{i \rightarrow i}} \quad (31)$$

где $L_{\text{ср}}$ - длина сотовой решетки (рисунок 2, в), м.

2.8. Примеры расчета воздействия ЭМП и эффективности защиты экранов

2.8.1. Пример. Рассчитать эффективность сплошного экрана ЛП-37. Частота тока индуктора 70 кГц. Экран изготовлен из стального листа толщиной 2 мм,

имеет размеры 1х1х1,2 м. В экране имеются вентиляционные щели размером 10 мм. Рабочее место находится на расстоянии 0,8 м от индуктора.

Решение.

Уточняем по табл. 3. в какой зоне воздействия ЭМП находится рабочее место. Для этого вычисляем длину волны по формуле

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{70 \cdot 10^3} = 4286 \text{ м} \quad (32)$$

Расстояние r от индуктора до рабочего места значительно меньше $\lambda / 2\pi$, поэтому воздействие электромагнитного поля будет в ближней зоне.

Расчет эффективности экрана будем проводить по формуле (18). Так как основное влияние будет оказывать магнитная составляющая поля, то эффективность экрана следует проводить по магнитному полю

$$\dot{Y}_{\text{эд.и.}} = (\delta \cdot Z_{\text{и}} / \rho)^{1/2} \cdot (\lambda / R_{\text{э}})^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \cdot \exp(2\pi d / m)$$

Глубину проникновения ЭМП вычисляем по формуле (19)

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f_{\text{и}}}}$$

Из таблицы 4 принимаем для стального экрана $\rho = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\mu = 150$.

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^{-7}}{150 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}} = 0,062 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Вычисляем эквивалентный радиус экрана по формуле (22)

$$R_{\text{э}} = 0,62 \sqrt[3]{V_{\text{эд}}} = 0,62 \sqrt[3]{1 \cdot 1 \cdot 1,2} = 0,66 \text{ м}$$

Волновое сопротивление $Z_{\text{н}}$ вычисляем по формуле (21)

$$Z_{\text{и}} = \frac{2\pi R_{\text{э}}}{\lambda} Z_{\text{н}} = \frac{2\pi \cdot 0,66}{4286} \cdot 377 = 0,365 \text{ Ом}$$

Подставляя все значения в формулу (18) получим

$$\dot{Y}_{\text{эд.и.}} = \sqrt{\frac{0,062 \cdot 10^{-3} \cdot 0,385}{1,5 \cdot 10^{-7}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{4286}{0,66}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0,01}{4286}\right) \cdot \exp\left(\frac{2\pi \cdot 0,002}{0,01}\right)^6 = 802$$

В логарифмических единицах эффективность экранирования

$$L_{\text{эд}} = 20 \cdot \lg \dot{Y}_{\text{эд.и.}} = 20 \cdot \lg 802 = 58 \text{ дБ}$$

Таким образом получено, что экран ослабляет магнитную составляющую электромагнитного поля в 802 раза или на 58 дБ.

2.8.2. Пример. Источником излучения является генератор аэродромной радиолокационной станции дециметрового диапазона (0,3... 3,0 ГГц). Мощность генератора составляет 0,6 кВт. Обслуживающий

персонал должен находиться на расстоянии 10 м от генератора
Найти радиус опасной зоны и определить требуемую эффективность экранирования помещения для защиты обслуживающего персонала.

Что выбрать в качестве экрана?

Решение.

Определяем по ГОСТ 12.1.001-84 (см. раздел 2.3 методических указаний) предельно допустимое значение плотности потока энергии в заданном диапазоне частот и по формуле (9) находим

$$\dot{I}_{\dot{I}\dot{A}} = \dot{Y}_{\dot{I}\dot{A}} / \dot{D} = 2 / 8 = 0,25 \text{ Вт/м}^2$$

Радиус опасной зоны находим по формуле (1)

$$r_{\dot{I}\dot{I}} = \sqrt{\frac{\dot{D}}{4\pi \cdot \dot{I}_{\dot{I}\dot{A}}}} = \sqrt{\frac{600}{4\pi \cdot 0,25}} = 13,8 \text{ м}$$

Рассчитываем по формуле (1) плотность потока энергии на расстоянии 10 м от генератора

$$\dot{I} = \frac{\dot{D}_E}{4\pi \cdot r^2} = \frac{600}{4\pi \cdot 10^2} = 0,48 \text{ Вт/м}^2$$

Определяем требуемую эффективность экранирования помещения

$$\dot{Y}_{\dot{O}\dot{O}} = \dot{I} / \dot{I}_{\dot{I}\dot{A}} = 0,48 / 0,25 = 1,92$$

или в логарифмических единицах

$$L_{\dot{O}\dot{O}} = 10 \cdot \lg(\dot{I} / \dot{I}_{\dot{I}\dot{A}}) = 10 \cdot \lg(0,48 / 0,25) = 2,83 \text{ дБ}$$

Требуемая эффективность экранирования небольшая (2,83 дБ), поэтому в качестве экрана достаточно оштукатуренной стены.

2.8.3. Пример. Требуется оценить эффективность экранирования корпуса кабины размерами 2х2,5х4 м, собранной из щитов, изготовленных из листовой стали толщиной 1,5 мм. Листы прикреплены к металлическому каркасу болтами с шагом крепления 10 см. Диапазон длин волн $3 \cdot 10^3 \dots 0,3$ м. Источник излучения (генератор РЛС) находится внутри кабины.

Решение.

Расчет эффективности экрана проводим по формуле (18)

$$\dot{Y}_{\dot{Y}\dot{E}\dot{O}\dot{I}} = (\delta Z / \rho)^{1/2} \cdot (\lambda / R_Y)^{1/3} \cdot (1 - \pi m / \lambda)^6 \cdot \exp(2\pi \cdot d / m)$$

Определяем значение параметров, входящих в эту формулу. Глубину проникновения ЭМП в экран вычисляем по формуле (19):

$$\delta = 0,03(\lambda \rho / \mu)^{1/2} = 0,03(0,3 \cdot 1,5 \cdot 10^7 / 150)^{1/2} = 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

По таблице 4 для стали $\mu = 150$, $\rho = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Волновое сопротивление воздуха $Z_f = 377 \text{ Ом}$. Эквивалентный радиус экрана определяем по формуле (22)

$$R_{\text{экв}} = 0,62(V_{\text{эф}})^{1/3} = 0,62(2 \cdot 2,5 \cdot 4)^{1/3} = 2,28 \text{ м}$$

Толщина листа экрана $d = 0,0015 \text{ м}$, размер щелей $m = 0,01 \text{ м}$. Подставив полученные данные в расчетную формулу (22) получим

$$Y_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{0,52 \cdot 10^{-6} \cdot 377}{1,5 \cdot 10^{-7}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3}{2,28}} \cdot \left(\frac{1 - \pi \cdot 0,01}{0,3} \right)^6 \cdot \exp\left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0015}{0,01} \right) = 22$$

Таким образом получено, что экранирующее устройство обеспечивает ослабление электромагнитного поля в 22 раза (на 26,6 дБ).

2.8.4. Пример. Определить размеры волновода фильтра воздуховода сечением $0,8 \times 0,8 \text{ м}^2$ при экранировании источника ЭМП высокой частоты (27 МГц). Эффективность экранирования следует обеспечить 40 дБ.

Решение.

Вначале определяем снижение ЭМП в волноводе сечением $0,8 \times 0,8 \text{ м}$ и длиной 1 м по формуле (29)

$$\hat{A}_{\text{экв}} = \frac{27,3}{\alpha} \sqrt{1 - \left(\frac{2\alpha}{\lambda} \right)^2} = \frac{27,3}{\alpha} \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 0,8}{11,1} \right)^2} = 33,8 \text{ дБ}$$

где длину волны вычисляем по формуле

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{27 \cdot 10^6} = 11,1 \text{ м}$$

Для получения эффективности экранирования 40 дБ длину волновода следует принимать равной

$$l = 40/33,8 = 1,2 \text{ м},$$

что не может быть реализовано. Поэтому следует принять фильтр типа "сотовая решетка" (см. рисунок 2, в). Размер ячеек принимаем $0,05 \times 0,05 \text{ м}$. Число ячеек определяется по формуле

$$n_{\beta} = \frac{S_{\delta}}{S_{\gamma}} = \frac{0,8 \cdot 0,8}{0,05 \cdot 0,05} = 256$$

где S_{δ} - площадь волноводного фильтра (воздуховода), м²;

S_{γ} - площадь ячейки, м².

Снижение плотности потока энергии на 1 м длины ячейки составляет

$$\hat{A}_{i \rightarrow i} = \frac{27,3}{\alpha} \sqrt{1 - \left(\frac{2\alpha}{\lambda}\right)^2} = \frac{27,3}{0,05} \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 0,05}{11,1}\right)^2} = 546 \text{ дБ}$$

Длину волновода "сотовая решетка" определяем по формуле (31):

$$L_{\tilde{N}} = \frac{L_{\delta \delta} - 20 \ln \sqrt{n_{\beta}}}{B_{i \rightarrow i}} = \frac{40 - 20 \cdot \ln \sqrt{256}}{546} = 0,03 \text{ м}$$

Таким образом для обеспечения эффективности экранирования 40 дБ необходимо применить волноводный фильтр типа "сотовая решетка" с ячейками 5х5 см и длиной 3 см.

Решить Задачу. Источником излучения ЭМП является генератор радиолокационной станции. Мощность генератора, частота излучения ЭМП, общие размеры экрана и его конструктивных элементов, размеры помещения, время работы персонала даны в таблице 5. Генератор установлен в центре помещения. Рабочее место оператора выбрать самостоятельно, где плотность потока ЭМП имеет минимальное значение (см. рисунок 1). Коэффициент направленности излучения принять равным 1.

Необходимо определить радиус опасной зоны, требуемую эффективность экранирования, выбрать материал экрана, толщину листов экрана (или толщину провода сетки), рассчитать эффективность экранирования и сравнить с требуемым значением.

В задаче приняты следующие обозначения:

P - мощность генератора, кВт;

f - частота излучения, ГГц;

$l_{\gamma}, b_{\gamma}, h_{\gamma}$ - размеры экрана (длина, ширина, высота), м;

m - наибольший размер технологических отверстий (щелей), м;

D - диаметр вентиляционных и технологических отверстий, см;

$l_{\Gamma}, b_{\Gamma}, h_{\Gamma}$ - размеры помещения (длина, ширина, высота), м;

t - время работы персонала, ч.

Таблица 5 - Исходные данные для задачи

Вариант	Мощность P , кВт	Частота f , ГГц	Размеры экрана $l_{\gamma}, b_{\gamma}, h_{\gamma}$ м	Разм. щелей t , см	Диаметр D , м	Размеры помещения l_l, b_l, h_l м	Время работы t , ч
1	1,0	300	1,0 x 0,4 x 0,3	1,5	2	10 x 8 x 4	4
2	0,4	300	0,8 x 0,6 x 0,4	1,0	5	15 x 10 x 5	8
3	1,6	30	0,6 x 0,4 x 0,5	2	10	18 x 14 x 6	3
4	0,8	3	0,8 x 0,4 x 0,5	5	40	20 x 12 x 6	2
5	1,0	0,3	1,5 x 1,0 x 0,8	2	50	24 x 14 x 4	8
6	1,2	0,03	1,2 x 0,8 x 0,6	1	80	16 x 12 x 6	6
7	1,4	300	1,2 x 0,6 x 0,8	3	60	18 x 10 x 6	3
8	1,6	30	1,5 x 1,2 x 1,0	4	50	15 x 10 x 4	2
9	1,8	3	2,0 x 1,4 x 0,8	2	40	20 x 12 x 5	6
0	2,0	0,3	2,0 x 1,2 x 1,0	1	60	20 x 14 x 5	2

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить методику расчета параметров электромагнитного поля и нормирование.

4.2. Решить задачу по заданному варианту.

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать: название работы, цель работы, решение задачи. Все параметры в формулах должны быть названы и иметь единицы измерения.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какое вредное воздействие оказывает на организм человека электромагнитное поле от генераторов радиочастот и антенн? Чему равны предельно допустимые значения электрической составляющей напряженности ЭМП высокой частоты (60 кГц ... 3 МГц) и ультравысокой частоты (30 МГц...300 МГц)?

6.2. Какое биологическое действие оказывает ЭМП сверхвысоких частот на организм человека. Для каких органов человека воздействие

ЭМП СВЧ наиболее опасно? Чему равно предельно допустимое значение плотности потока энергии СВЧ, выше которого не допускается нахождение людей без средств защиты?

6.3. На какие диапазоны частот и длин волн делятся источники электромагнитных полей?

6.4. Какая существует зависимость плотности потока энергии в исследуемой точке от мощности источника и расстояния до источника излучения?

6.5. В чем заключаются организационные меры защиты от ЭМП ("защита расстоянием", "защита временем")?

6.6. В каких нормативных документах даны значения допустимых уровней напряженности ЭМП радиочастот?

6.7. Как рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии при известном времени нахождения людей в зоне действия ЭМП СВЧ?

6.8. Как определяется энергетическая нагрузка на человека при воздействии ЭМП СВЧ? Чему равна нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день для вращающихся антенн и стационарных установок?

6.9. Какие меры могут быть применены для уменьшения воздействия ЭМП радиочастот? Какие мероприятия необходимо проводить в первую, а какие в последнюю очередь?

6.10. Какие виды экранов применяются для защиты от ЭМП радиочастот?

6.11. Из какого материала изготавливаются защитные экраны от воздействия радиочастот? Как должны быть устроены вентиляционные и смотровые отверстия в экранах?

6.12. Объясните формулу расчета требуемой эффективности экранирования ЭМП высоких частот?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4 ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: изучение основ обеспечения электробезопасности в быту и на производстве.

Задачи работы: изучить основные характеристики электромагнитных полей радиочастот и их нормирование, выполнить расчет экрана.

2. Теоретические сведения

2.1. Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током

Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током, разделяются на три группы:

- **факторы электрического характера** (сила тока, род и частота тока, величина напряжения, сопротивление цепи человека электрическому току);
- **факторы неэлектрического характера** (индивидуальные особенности человека, фактор внимания, продолжительность действия тока, путь тока через человека);
- **факторы окружающей среды.**

Ток, проходящий через человека, является главным поражающим фактором при электротравме. Различные по величине токи оказывают различное воздействие на человека. Выделяются следующие *пороговые значения* электрического тока:

ощутимый ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего ощутимые раздражения при прохождении через организм (0,6-1,5 мА при переменном токе частотой 50 Гц и 5-7 мА при постоянном токе);

неотпускающий ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник (10-15 мА при 50 Гц и 50-80 мА при постоянном токе), то есть он не может разжать руку, которой касается токоведущей части, отбросить от себя провод, оказываясь как бы прикованным к токоведущей части;

фибрилляционный ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм фибрилляцию (быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы) сердца (100 мА при 50 Гц и 500 мА при постоянном токе).

Электрическое **сопротивление цепи человека** ($R_{ч}$) представляет собой эквивалентное сопротивление нескольких элементов, включаемых последовательно:

- сопротивление тела человека $\tilde{a}_{\dot{\imath}\ddot{a}}$;
- сопротивление одежды $\tilde{a}'_{\dot{\imath}\ddot{a}}$ (если человек прикоснулся к частям под напряжением защищенным одеждой участком тела);
- сопротивление подошвы обуви $\tilde{a}'_{\dot{\imath}\ddot{a}}$;
- сопротивление опорной поверхности ног $\tilde{a}'_{\dot{\imath}}$.

Как видно из схем на рис. 1 сопротивление цепи человека электрическому току R_{\div} рассчитывается при различных прикосновениях к участку под напряжением относительно опорной поверхности ног следующим образом:

а) однополюсное и однофазное включения или попадание под напряжение прикосновения:

$$R_{\div} = r_{\dot{o}\div\ddot{a}} + r_{\dot{\imath}\ddot{a}} + 0,5(r'_{\dot{\imath}\ddot{a}} + r'_{\dot{\imath}}) \quad (1)$$

б) двухполюсное или двухфазное включения человека:

$$R_{\div} = r_{\dot{o}\div\ddot{a}} + 2r_{\dot{\imath}\ddot{a}} \quad (2)$$

в) при попадании под напряжение шага:

$$R_{\div} = r_{\dot{o}\div\ddot{a}} + 2(r'_{\dot{\imath}\ddot{a}} + r'_{\dot{\imath}}) \quad (3)$$

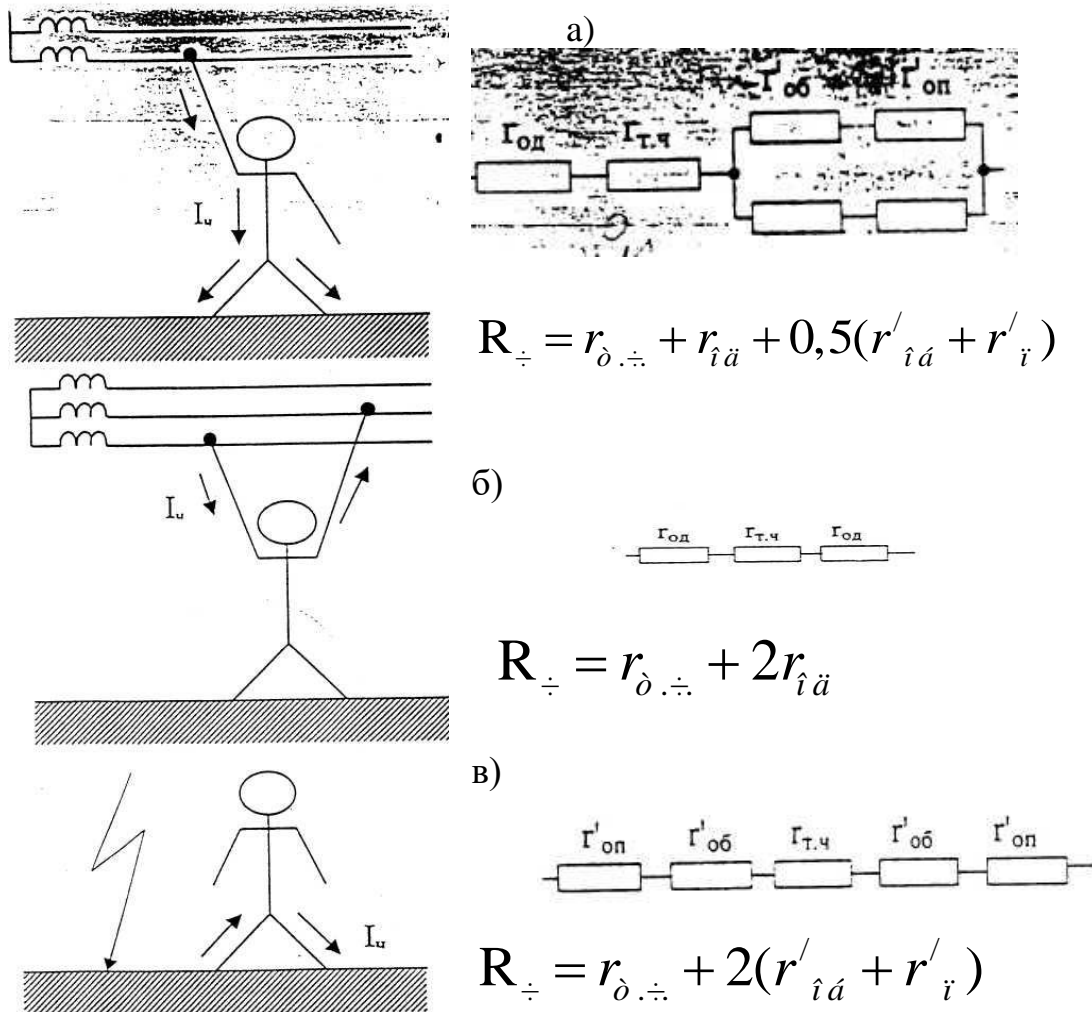


Рис. 1. Характерные схемы попадания человека под напряжение и

эквивалентные им схемы цепи человека:

- а) прикосновение к части под напряжением при стекании тока через тело человека к опорной поверхности ног;
- б) одновременное прикосновение к двум частям под напряжением при протекании тока по пути рука - рука;
- в) при попадании под напряжение шага.

Так как сопротивление тела электрическому току нелинейно и нестабильно и вести расчеты с такими сопротивлениями сложно, условились считать, что **сопротивление тела человека** составляет 1000 Ом.

Электрическое **сопротивление одежды** зависит от вида и влажности и ткани. Электрическое сопротивление хлопчатобумажной ткани при площади электрода 100 см² для сухой ткани составляет 10-15 кОм, для влажной - 0,5-1 кОм.

Электрическое **сопротивление обуви** зависит от материала подошвы, состояния помещения и напряжения (табл. 1).

Таблица 1
Ориентировочные значения сопротивления обуви

Помещение	Материал подошвы	Сопротивление, кОм , при напряжении сети, В			
		<i>до 65</i>	<i>127</i>	<i>220</i>	<i>выше 220</i>
Сухое	кожа	200	150	100	50
	резина	500	500	500	500
Влажное и сырое	кожа	1,6	0,8	0,5	0,2
	резина	2,0	1,8	1,5	1,0

Электрическое сопротивление опорной поверхности ног на полу (**сопротивление пола**) зависит от материала и степени влажности пола (табл.2).

Таблица 2
Ориентировочные значения сопротивления пола

Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног, кОм			Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног, кОм		
	Пол сухой	Пол влажный	Пол мокрый		Пол сухой	Пол влажный	Пол мокрый
Металл	0,01	0	0	Линолеум	1500	50	4
Земля	20	0,8	0,3	Бетон	2000	0,9	0,1
Дерево	30	3	0,3	Асфальт	2000	10	0,8
Метлахская плитка	25	2	0,3	Кирпич	10	1,5	0,8

2. Опасность эксплуатации электрических сетей

Для анализа опасности эксплуатации электрических сетей установлены

зависимости, позволяющие определить *величину тока* I_{\div} , протекающего через человека в случае прикосновения к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, в зависимости от *вида прикосновения и вида электрической сети* (см. Приложение).

Прикосновения могут быть одно и двухфазными в трехфазных сетях, а также одно и двухполюсными в однофазных сетях.

Опасность сетей однофазного тока. В формулах (4) - (8) приняты следующие условные обозначения: R_k - переходное сопротивление в месте замыкания на землю (для расчетов примем $R_k = 100 \text{ Ом}$);

U - напряжение сети постоянного тока или однофазной сети;

R_o - сопротивление рабочего заземления нейтрали ($R_o = 4 \text{ Ом}$);

$R_{\epsilon\zeta}$ - сопротивление изоляции одной фазы сети' относительно земли (в нормальных условиях эксплуатации $R_{\epsilon\zeta} \geq 50 \text{ 000 Ом}$).

Однофазные сети могут быть изолированными от земли, иметь заземленный полюс или среднюю точку.

При **однополюсном** прикосновении к проводу *изолированной* сети человек оказывается "подключенным" к другому проводу через сопротивление утечки. Для упрощения выводов примем, что сопротивление утечки обоих проводов одинаковы. В этом случае выражение для тока, протекающего через человека, имеет вид:

$$I_{\div} = \frac{U}{2R_{\div} + R_{\epsilon\zeta}} \quad (4)$$

При прикосновении к одному из проводов сети с **заземленной средней точкой** человек попадает под напряжение, равное половине напряжения сети:

$$I_{\div} = \frac{U}{2(R_{\div} + R_i)} \approx \frac{U}{2R_{\div}} \quad (5)$$

Прикосновение человека к незаземленному проводу сети с **заземленным полюсом** вызывает протекание тока:

$$I_{\div} = \frac{U}{R_{\div} + R_i} \approx \frac{U}{R_{\div}} \quad (6)$$

Прикосновение к исправному проводу при замыкании другого провода на землю (аварийный режим) вызывает ток через человека:

$$I_{\div} = \frac{U}{R_{\div} + R_e} \quad (7)$$

В случае прикосновения к двум проводам сети прикосновение (**двухполюсное прикосновение**) человек попадает под напряжение сети:

$$I_{\div} = \frac{U}{R_{\div}} \quad (8)$$

Анализируя выражения (4) - (8) для токов, проходящих через человека

при различных случаях прикосновения к однофазным сетям постоянного тока, можно сделать следующие выводы:

1) наиболее опасно двухполюсное прикосновение при любом режиме сети относительно земли (изолированной, с заземленным полюсом или средней точкой), так как в этом случае ток, протекающий через человека, определяется только сопротивлением его тела;

2) наименее опасно однополюсное прикосновение к проводу изолированной сети в нормальном режиме работы.

Опасность трехфазных электрических цепей. В формулах (9) - (13) приняты следующие обозначения:

U_{ϕ} - фазное напряжение сети;

U_{ℓ} - линейное напряжение сети: $U_{\ell} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$

R_k - переходное сопротивление в месте замыкания на землю;

R_o - сопротивление рабочего заземления нейтрали ($R_o = 4 \text{ Ом}$).

При прикосновении человека к одному из фазных проводов (**однофазное прикосновение**) сети с **изолированной нейтралью** в случае коротких электрических сетей (при малых емкостях фазных проводов относительно земли $C = 0$) выражение для тока через человека запишется так:

$$I_{\div} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\div} + R_{\phi\zeta}} \quad (9)$$

В аварийном режиме работы сети с **изолированной нейтралью** при наличии замыкания на одной из фаз на землю ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к исправной фазе, выразится зависимостью:

$$I_{\div} = \frac{U_{\ell}}{R_{\div} + R_{\ell}} \quad (10)$$

Трехфазные сети с **заземленной нейтралью** обладают малым сопротивлением между нейтралью и землей. Напряжение любой фазы исправной сети относительно земли равно фазному напряжению, и ток через человека, прикоснувшегося к одной из фаз (**однофазное прикосновение**), определится выражением:

$$I_{\div} = \frac{U_{\phi}}{R_{\div} + R_i} \approx \frac{U_{\phi}}{R_{\div}} \quad (11)$$

В аварийном режиме, когда одна из фаз сети с **заземленной нейтралью** замкнута на землю, происходит перераспределение напряжения и напряжения исправных фаз по отношению к земле отличны от фазного напряжения сети. Прикасаясь к исправной фазе, человек попадает под напряжение U_{\div} , которое больше фазного, но меньше линейного, и ток, проходящий через человека, определяется выражением:

$$I_{\div} = \frac{U_{\div}}{R_{\div}} \quad (12)$$

При **двухфазном прикосновении** человек попадает под линейное напряжение как в сетях с изолированной нейтралью, так и в сетях с заземленной нейтралью:

$$I_{\div} = \frac{U_{\div}}{R_{\div}} \quad (13)$$

Анализируя различные случаи прикосновения человека к проводам трехфазных электрических сетей, можно сделать следующие выводы:

- 1) наиболее опасным является двухфазное прикосновение при любом режиме нейтрали;
- 2) наименее опасным является однофазное прикосновение к проводу исправной сети с изолированной нейтралью;
- 3) при замыкании одной из фаз на землю опасность однофазного прикосновения к исправной фазе больше, чем в исправной сети при любом режиме нейтрали.

В сетях напряжением выше 1000 В вследствие большой их протяженности, а, следовательно, большой емкостной проводимости между фазами и землей (т.е. R_{ec} невелико), опасность однофазного и двухфазного включений человека практически одинакова и не зависят от режима, нейтрали сети. Любое из таких включений весьма опасно, т.к. сила тока, протекающего через человека, достигает очень больших значений.

3. Задание на работу

1. Рассчитать величину тока, проходящего через человека, для указанных в табл. 3 видов электрических сетей с нормальным режимом работы для случаев одно и двухполюсного прикосновения к однофазным сетям и одно и двухфазного прикосновения к трехфазным сетям. Расчет провести для двух ситуаций:

1) человек находится в сухом помещении, стоит на сухом полу (материал — линолеум), обувь имеет резиновую подошву.

2) человек находится в сыром помещении, стоит босиком на мокром полу (материал - метлахская плитка).

Значения сопротивления обуви и пола взять из табл. 1, 2.

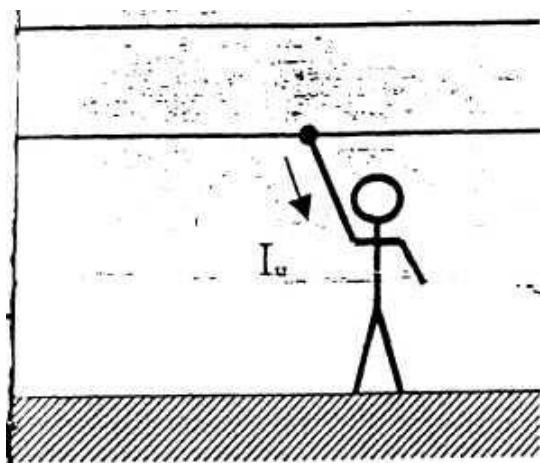
Результаты расчета свести в табл. 3.

Проанализировать на основании полученных результатов степень опасности однофазного включения человека в сеть с изолированной нейтралью и в сеть с заземленной нейтралью при нормальных (безаварийных) условиях работы сети.

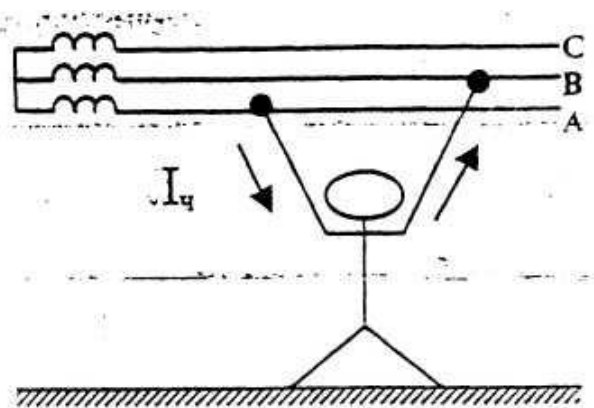
Таблица 3

Результаты расчета $I_{\dot{z}}$, мА

Вид электрической сети	Ситуация № 1		Ситуация № 2	
однофазная электрическая сеть ($U = 220 \text{ В}$, $R_{\dot{z}\dot{c}} = 50000 \text{ Ом}$)\				
	Однополюсное прикосновение	Двухполюсное прикосновение	Однополюсное прикосновение	Двухполюсное прикосновение
изолированная от земли				
с заземленным полюсом				
трехфазная электрическая сеть ($U_{\dot{o}} = 220 \text{ В}$, $R_{\dot{z}\dot{c}} = 50000 \text{ Ом}$)				
	Однофазное прикосновение	Двухфазное прикосновение	Однофазное прикосновение	Двухфазное прикосновение
изолированной нейтралью				
с заземленной нейтралью				



(a)



(б)

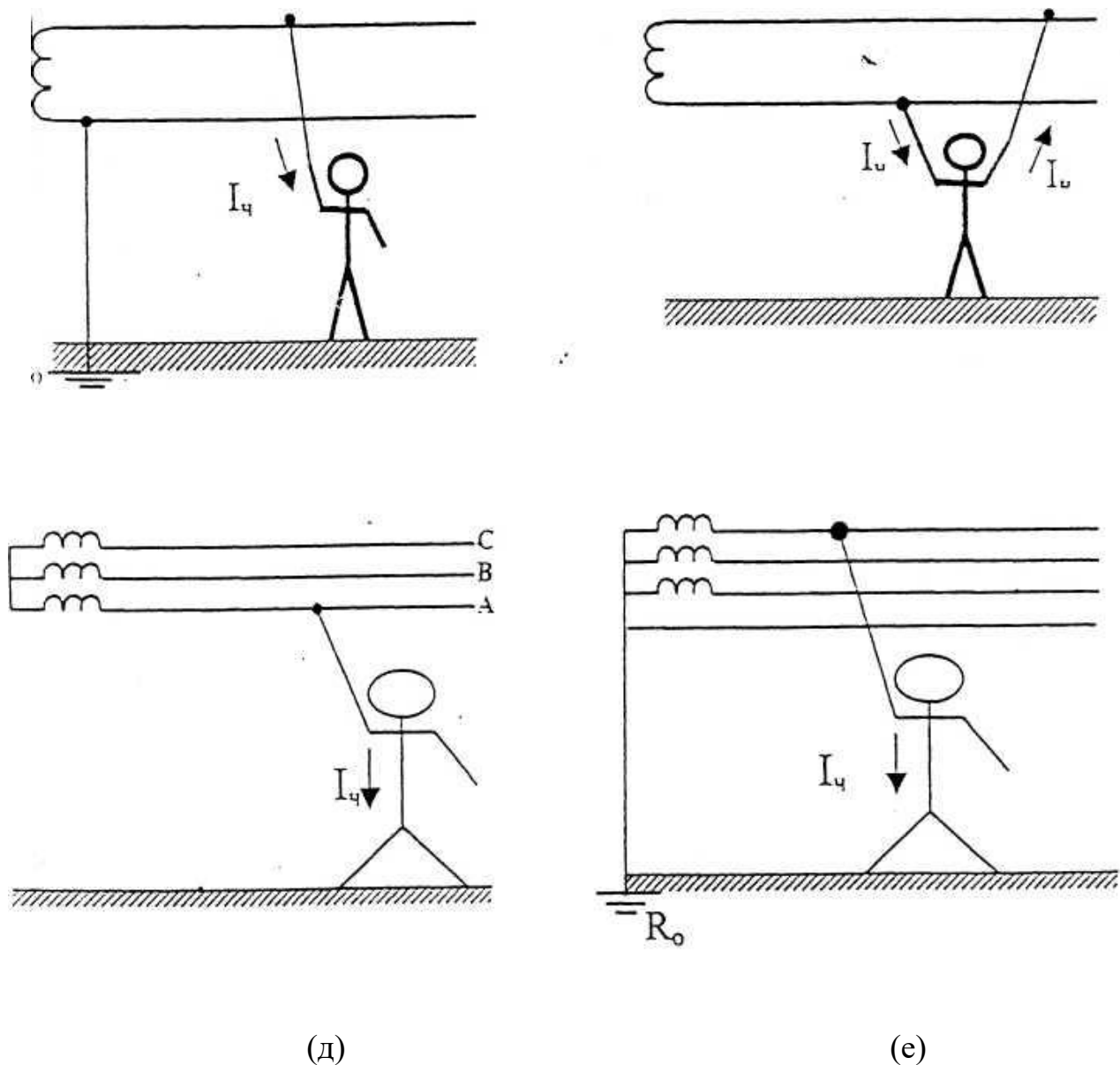


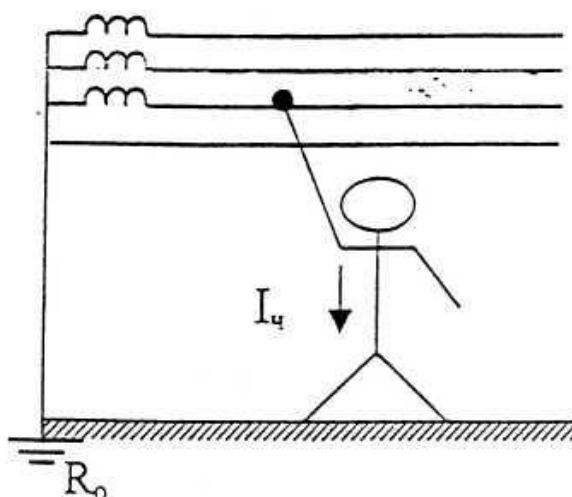
Рис. 2. Схемы прикосновения к проводам электрических цепей

2. Определите вид прикосновения человека к сети (рис. 2)
3. Рассчитайте величину тока, проходящего через человека ($I_{\text{ч}}$, мА), для нормального и аварийного режима работы сети, при условии, что человек находится:
 - а) в помещении без повышенной опасности;
 - б) в особо опасном помещении.
 Исходные данные для расчета:
 $U = 220 \text{ В}$; $U_{\text{о}} = 220 \text{ В}$; $R_{\text{е}\zeta} = 50000 \text{ Ом}$; $R_{\text{е}} = 100 \text{ Ом}$.
4. Оцените опасность $I_{\text{ч}}$ для жизни человека.

Схемы прикосновения к проводам электрических цепей ТРЕХФАЗНЫЕ СЕТИ

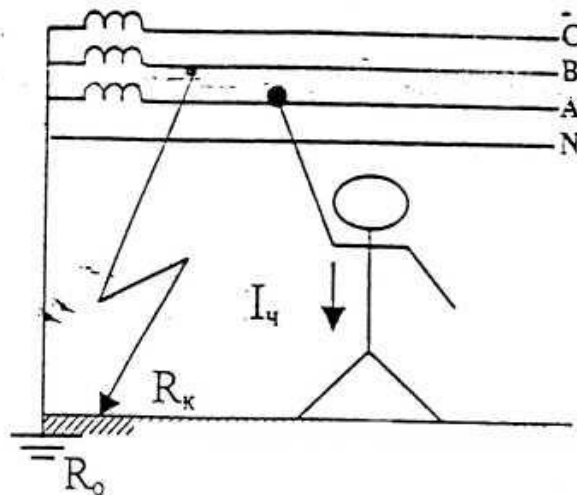
Однофазовое прикосновение

а) к сети с заземленной нейтралью:



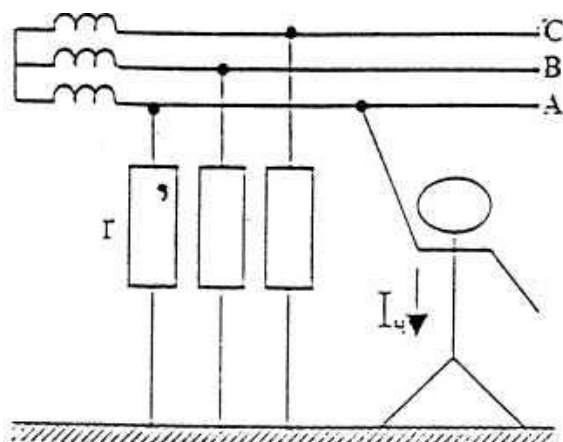
$$I_{\div} = \frac{U_{\phi}}{R_{\div} + R_i} \approx \frac{U_{\phi}}{R_{\div}}; R_i = R_{\div}$$

б) к сети с заземленной нейтралью, одна из фаз которой замкнута на землю:



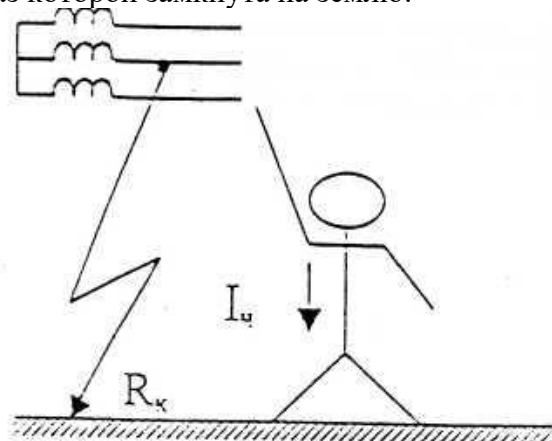
$$I_{\div} = \frac{U_{\phi}}{R_{\div}}; U_{\ddot{e}} > U_{\div} > U_{\phi}$$

в) к сети с изолированной нейтралью:



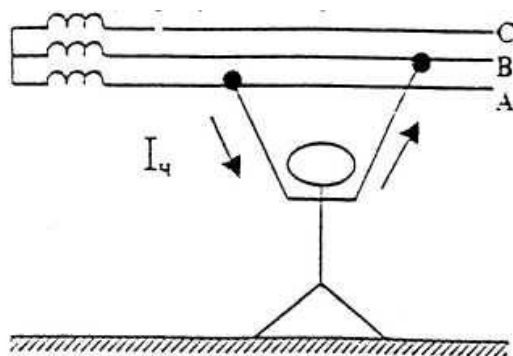
$$I_{\div} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\div} + R_{e\zeta}}$$

г) к сети с изолированной нейтралью, одна из фаз которой замкнута на землю:



$$I_{\div} = \frac{U_{\ddot{e}}}{R_{\div} + R_{\dot{e}}}$$

Двухфазное прикосновение



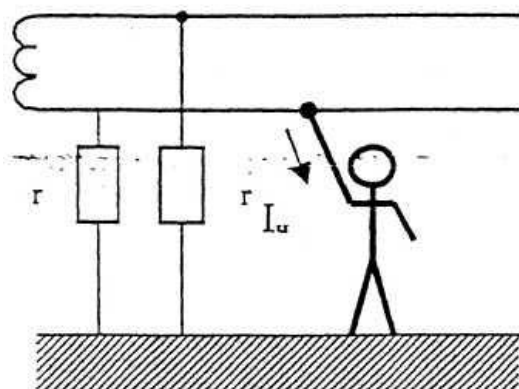
$$I_{\dot{\div}} = \frac{U_{\dot{\div}}}{R_{\dot{\div}}}$$

ОДНОФАЗНЫЕ СЕТИ

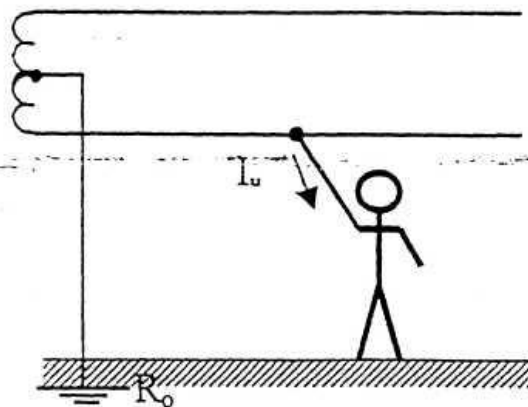
Однополюсное прикосновение

а) к изолированной от земли сети:

б) к сети с заземленной средней точкой:



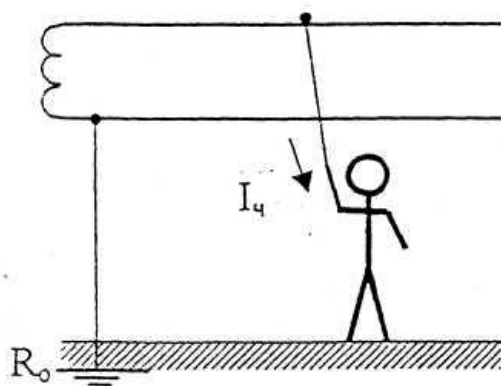
$$I_{\dot{\div}} = \frac{U}{2R_{\dot{\div}} + R_{\dot{\div}\varphi}}$$



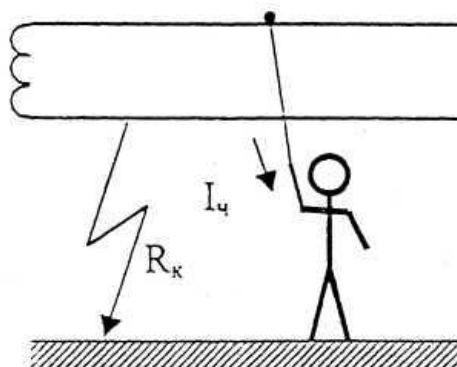
$$I_{\dot{\div}} = \frac{U}{2(R_{\dot{\div}} + R_i)} \approx \frac{U}{2R_{\dot{\div}}}; R_i = R_{\dot{\div}}$$

в) к сети с заземленным полюсом:

г) к проводу неисправной сети:

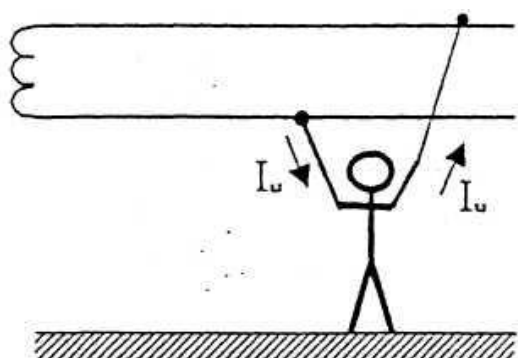


$$I_{\dot{\div}} = \frac{U}{R_{\dot{\div}} + R_i} \approx \frac{U}{R_{\dot{\div}}}; R_i = R_{\dot{\div}}$$



$$I_{\dot{\div}} = \frac{U}{R_{\dot{\div}} + R_{\dot{\div}}}$$

Двухполюсное прикосновение



$$I_{\omega} = \frac{U}{R_{\omega}}$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПЕРВИЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: ознакомиться с назначением, устройством и принципом действия средств пожарной сигнализации.

Задачи работы: изучить устройство, принцип действия и область применения различных типов огнетушителей.

2. Теоретические сведения

2.1. Общие положения

Горение – это физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя, сопровождающийся выделением тепла и излучением света. Необходимым условием возникновения горения является наличие горючего материала, окислителя и теплового импульса.

Пожар – это неорганизованное и неуправляемое горение, в результате которого уничтожаются материальные ценности и создается угроза для жизни людей.

Опасными факторами, воздействующими на людей при пожаре, являются: открытый огонь; искры; повышенная температура воздуха, предметов и т.п.; токсичные продукты горения; дым: пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок: взрывы.

2.2. Пожарная связь и сигнализация

Электрическая пожарная сигнализация (ЭПС) – комплекс технических средств для обнаружения пожара и оповещения о месте его возникновения.

ЭПС состоит из четырех основных частей: 1) извещателей, устанавливаемых в цехах, отделениях, складах и т.п.; 2) приемной станции, находящейся в дежурной комнате пожарной команды; 3) линии связи; 4) источника постоянного тока для питания электросигнализации.

В зависимости от схемы соединения извещателей с приемной станцией ЭПС может быть лучевой (радиальной) или шлейфной (кольцевой).

В лучевой системе ЭПС каждый извещатель соединен с приемной станцией двумя проводами, образующими отдельный луч. При нажатии на кнопку одного из этих ручных извещателей или срабатывании автоматического извещателя на приемной станции возникает сигнал, указывающий номер луча, т.е. место пожара. Приемный аппарат (типа ТЛО-10) по устройству похож на телефонный коммутатор.

В шлейфной системе все извещатели соединены с приемной станцией

последовательно одним общим проводником. При срабатывании извещателя, кроме звукового или светового сигнала тревоги, на ленте приемного аппарата записывается номер извещателя, время и дата поступления сигнала и производится автоматическая трансляция сигнала тревоги на центральную станцию. В случае возникновения повреждения в сети оно отмечается на станции особым сигналом. В последнее время значительно уменьшается производство установок пожарной сигнализации с ручным пуском, и из-за невысокой надежности прекратилось изготовление шлейфной системы ЭПС.

Пожарные извещатели представляют собой устройства для подачи электрического сигнала о пожаре на пункт охраны.

Выделяют следующие типы чувствительных элементов пожарных автоматических извещателей: *тепловые* – реагируют на повышение температуры (термоизвещатели); *световые* – реагируют на открытый огонь (искры, пламя); *дымовые* – реагируют на возникновение дыма.

Термоизвещатели по принципу действия делятся:

- максимальные – срабатывают при достижении контролируемых параметров (дыма, температуры, излучения) определенного значения;
- дифференциальные – реагируют на скорость изменения контролируемого параметра;
- максимально-дифференциальные – реагируют как на достижение контролируемого параметра заданной величины, так и на скорость его изменения.

2.3. Методы прекращения горения

Для прекращения горения должно быть обеспечено выполнение хотя бы одного из следующих условий:

- 1)изоляция очага горения от воздуха или снижение в воздухе концентрации кислорода путем введения в воздух негорючих газов;
- 2)охлаждение очага горения ниже температуры воспламенения (самовоспламенения);
- 3)интенсивное торможение (ингибирование) скорости химических реакций в пламени;
- 4) механический срыв пламени в результате воздействия на него струей воды или инертного газа.

2.4. Огнетушащие вещества

Огнетушащие вещества (ОВ) – это вещества, обладающие физико-химическими свойствами, позволяющими создать условия для прекращения горения.

В соответствии со способами прекращения горения огнетушащие вещества подразделяются на:

- охлаждающие,
- разбавляющие,
- изолирующие,

-ингибирующие.

Строго разделить огнетушащие вещества по этим признакам не представляется возможным, т. к. все они обладают комбинированным воздействием при наличии доминирующего свойства.

В настоящее время широко используются следующие огнетушащие вещества:

- вода,
- вода с добавками,
- пена (химическая или воздушно-механическая),
- огнетушащие порошки,
- углекислый газ,
- галоидированные углеводороды.

Вода – жидкость при температуре от 0 до 100 °С. Основной способ воздействия на горение – охлаждение. Обладает вторичным эффектом – при превращении в пар изолирует очаг пожара и снижает содержание кислорода в зоне горения.

Способы подачи: компактная или распыленная струя.

Вода с добавками. С целью улучшения свойств и повышения эффективности тушения в воду добавляют различные вещества. Для снижения поверхностного натяжения применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ): (пенообразователи, сульфанола и др.). Для повышения вязкости применяют загущающие добавки, например, натрий-карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ).

Пена – дисперсная система, состоящая из ячеек – пузырьков газа, разделенных пленками жидкости. Основной способ воздействия на горение – изоляция очага горения. Дополнительный – охлаждение за счет имеющейся воды.

По способу получения пены разделяются на химические и воздушно-механические. Химическая пена образуется в результате химической реакции между щелочной и кислотной частями заряда. Воздушно-механическая пена образуется в результате механического распыления раствора пенообразователя и его смешивания с воздухом в пеногенераторах

Пены разделяются по кратности (отношение объема пены к объему раствора, из которого она получена) на пены низкой кратности (до 10), средней (10-200), высокой (более 200).

Огнетушащие порошки – мелкоизмельченные минеральные соли с различными добавками. Основной способ воздействия на горение – ингибирование. Дополнительные эффекты: разбавление паров горючего топлива, создание условий огнепреграждения, охлаждение.

Огнетушащие порошки разделяются на порошки общего и специального назначения.

Огнетушащие порошки общего назначения применяются для тушения пожаров классов А, Б, С и электрооборудования под напряжением (за исключением ПСБ-3, который не предназначен для тушения пожара класса А).

Огнетушащие порошки специального назначения применяются для тушения пожаров горючих металлов. Способ воздействия – изоляция горячей поверхности от окружающего воздуха.

Углекислый газ – бесцветный газ без запаха и вкуса при 0 °С и 760 мм. рт. ст. Температура замерзания минус 56.6 °С. Критическая температура: минус 31 °С.

Основной способ воздействия на горение – разбавление парогазовоздушной смеси горючих паров и газов с воздухом (кислородом), дополнительный – охлаждение (твердый диоксид углерода).

Галоидированные углеводороды – вещества, основными компонентами которых являются бромистый этил, бромистый метил, дибромтетрафторэтан и др. Они состоят из атомов углерода, водорода, галоидов фтора, хлора, брома и йода. В практике пожаротушения применяются главным образом бромфторхлорпроизводные метана и этана, которые имеют промышленные названия *фреоны* или *хладоны*. Основной способ воздействия на горение – ингибирование, дополнительный – разбавление.

2.5. Огнетушители

Огнетушитель – это переносное или передвижное устройство для тушения очагов пожара за счет выпуска запасенного огнетушащего вещества.

Огнетушители подразделяются:

по **способу транспортирования** на:

- переносные (ручные и ранцевые),
- передвижные;

по **виду огнетушащего вещества** на:

- водные,
- пенные (воздушно-пенные и химические пенные),
- порошковые.
- углекислотные,
- хладоновые,
- комбинированные;

по **способу создания избыточного давления**:

- за счет сжатого газа, находящегося: а) в баллоне высокого давления; б) в корпусе огнетушителя (такие огнетушители получили название закачных);
- за счет сжатого газа, образующегося в результате химической реакции: а) компонентов газогенерирующего устройства; б) компонентов огнетушащего вещества (химические пенные огнетушители).

Огнетушитель состоит: из корпуса для хранения огнетушащего вещества или компонентов для его получения; устройства подготовки огнетушащего вещества и подачи его на очаг пожара; устройств, предохраняющих от превышения давления сверх допустимого и от случайного срабатывания; источника избыточного давления (сжатый газ может находиться в корпусе огнетушителя).

Общий принцип работы огнетушителей заключается в создании избыточного давления в корпусе (за исключением закачных), под действием

которого огнетушащее вещество подается на очаг пожара.

Конструкция огнетушителя зависит от вида огнегасительного вещества и способа его вытеснения.

Огнетушитель химический пенный (ОХП-10): длина струи достигает 6 метров, продолжительность действия 60 с, масса огнетушителя – 14 кг, температурный режим эксплуатации: +5... +45 °С. Средний срок службы – 8 лет.

В качестве огнегасительного вещества в этом огнетушителе применяется химическая пена, получаемая в результате реакции взаимодействия щелочной и кислотной частей. После приведения огнетушителя в действие эти части заряда смешиваются, образуя большое количество мелких пузырьков углекислого газа, отделенных друг от друга тонкими пленками жидкости.

При пожаре нужно:

1. Поднести огнетушитель к очагу пожара, прочистить сливное отверстие гвоздиком (проволочкой).
2. Поднять рукоятку вверх и перекинуть до отказа.
3. Опрокинуть огнетушитель вверх дном и встряхнуть, направляя струю в огонь.

Особенности:

1. Замерзает и становится непригодным при температуре 0 °С.
2. Необходимо ежегодно перезаряжать.
3. Имеет невысокую огнетушащую способность.
4. Нельзя применять для тушения электроустановок под напряжением.
5. Следует предохранять от попадания прямых солнечных лучей и от действия нагревательных приборов.

Огнетушитель ОХП-10 уже снят с производства, но тем не менее такие огнетушители еще достаточно широко используются населением.

Огнетушитель воздушно-пенный (ОВП-10): длина струи – 4 м, продолжительность действия – 45 с, масса огнетушителя с зарядом – 13 кг, температурный режим эксплуатации: +3...+ 50 °С. Эффективность действия в 2,5 раза выше, чем у ОХП-10. Средний срок службы – 8 лет

В качестве заряда в огнетушителях этого типа используется 5 %-ный раствор пенообразователя ПО-1, который в очаг пожара подается сжатым рабочим газом (диоксидом углерода, азота или воздухом), находящимся в баллоне внутри корпуса огнетушителя.

При пожаре нужно:

1. Поднести огнетушитель к очагу пожара.
2. Выдернув чеку, взять в руки шланг с насадкой и направить в огонь.
3. Нажать на спусковой рычаг (кнопку) и отпустить. Держать в строго вертикальном положении, *не переворачивать*.

Особенности:

1. Пенообразователь (комплект заряда) чувствителен к нефтепродуктам. Так при содержании в пенообразователе 1% керосина, бензина и т.п.

пенообразующие свойства теряются.

2. Заряд обладает высокой коррозионной активностью.

3. Нельзя применять для тушения электроустановок под напряжением.

Огнетушитель углекислотный (ОУ-5): длина струи до 4,5 м, масса заряда – 3,5 кг, масса огнетушителя с зарядом – 13 кг, продолжительность действия – 15 с. Средний срок службы – 11 лет.

В качестве заряда в углекислотных огнетушителях применяют сжиженный диоксид углерода под давлением 7 МПа, заполняющий баллон на 3/4 объема, остальная часть заполнена газообразным диоксидом.

При пожаре нужно:

1. Поднести огнетушитель к очагу пожара.

2. Сорвать пломбу, выдернуть чеку, нажать на курок затвора (либо поднять рычаг кверху), затем повернуть маховичок вентиля до упора, одновременно направив в очаг пожара струю из раструба огнетушителя.

3. При тушении пожара огнетушитель держать строго в вертикальном положении, *не переворачивать*.

Особенности:

Необходимо соблюдать осторожность при выпуске заряда из раструба, т. к. температура его поверхности понижается до минус 60-70 °С.

На поверхности раструба может концентрироваться электростатическое напряжение, способное пробить диэлектрическую перчатку.

Предохранять от действия прямых солнечных лучей и нагревательных приборов.

Огнетушитель подлежит периодической проверке один раз в полгода на герметичность и соответствие веса паспортным данным. Если вес баллона ниже предусмотренного техническими характеристиками или истек срок освидетельствования баллона, он подлежит проверке и перезарядке на специализированной станции перезарядки и технического обслуживания

Огнетушитель порошковый (ОП-5, ОП-10, ОПУ-2): длина струи ОП-5 до 5 м, масса заряда ОП-5 – 5 кг, ОП-10 – 10 кг, время выброса ОП-5 – 15 с, ОП-10 – 20 с, ОПУ-2 – 8 с, температурный интервал эксплуатации: -40 ... + 50 °С. Средний срок службы в зависимости от марки и материала корпуса 5-10 лет.

Порошок из корпусов огнетушителей выбрасывается избыточным давлением рабочего газа (воздуха, азота, диоксида-углерода), находящихся в баллончике внутри огнетушителя.

При пожаре нужно:

1. Поднести огнетушитель к очагу пожарам

2. Сорвать пломбу, выдернуть чеку.

3. Нажать на пусковой рычаг, направить на пламя.

Комбинированный огнетушитель (химический, воздушно-пенный ОХВП-10).

По своей конструкции, назначению и тактико-техническим параметрам аналогичен огнетушителю ОХП-10.

2.6. Тактические приемы применения огнетушителей

Успешное использование огнетушителей зависит от правильных тактических приемов применения. Переносные огнетушители содержат ограниченное количество огнетушащего вещества и, как правило, непрерывная подача производится в течение короткого промежутка времени; вследствие чего ошибки, допущенные при применении, исправить не представляется возможным.

Классификация пожаров приведена в Приложении 1.

Водные огнетушители применяются для тушения пожаров класса А.

Струю воды необходимо подавать в основание очага пожара, манипулируя насадком для охвата горящей поверхности; после того, как пламя сбито, можно приблизиться и продолжать манипулировать насадком и, подавая воду небольшими порциями, покрыть максимально возможную площадь, дотушивая отдельные очаги пожара.

После окончания тушения при наличии огнетушащего вещества следует продолжить подачу с целью охлаждения поверхности.

Пенные огнетушители применяются для тушения пожаров классов А и В.

При тушении пожаров класса А пену необходимо подавать так, чтобы создавался слой, покрывающий горящие поверхности.

При тушении пожаров класса В пена должна подаваться аккуратно, на горящую жидкость, которая при этом не разбрызгивается.

При тушении жидкости в емкости в первоначальный момент пену подают на задний внутренний борт, а затем с разных направлений, стремясь покрыть пеной всю площадь.

При тушении разлива подают струю на поверхность горения вокруг, создавая преграду для распространения огня.

Порошковые огнетушители применяются для тушения пожаров классов А (кроме огнетушителей с порошком ПСБ-3), В, С и электрооборудования под напряжением.

При тушении пожаров класса А огнетушащий порошок необходимо подавать в очаг пожара, перемещая струю из стороны в сторону с целью сбить пламя. После того как пламя сбито, надо приблизиться и покрыть все поверхности, горящего вещества и особенно отдельные очаги слоем порошка, подавая его прерывистыми порциями.

При тушении пожаров класса В струю порошка вначале подают на ближайший край, передвигая насадок из стороны в сторону для покрытия пожара по всей ширине. Подачу порошка производить непрерывно при полностью открытом клапане, передвигаясь вперед и не оставляя сзади и по бокам непотушенные участки, стремясь постоянно поддерживать в зоне

горения порошковое облако.

При тушении пожаров класса С струю огнетушащего порошка необходимо направить в струю газа почти параллельно газовому потоку должна направляться непосредственно в источник пламени.

До начала тушения обесточить электрооборудование.

Углекислотные огнетушители применяются для тушения пожаров класса В и электрооборудования.

При тушении пожаров класса В раструб должен быть направлен в основание очага пожара, находящегося ближе всего к оператору. Во время тушения оператору необходимо совершать движения раструбом из стороны в сторону, продвигаясь вперед.

При тушении электрооборудования тактика аналогична применению порошковых огнетушителей.

Хладоновые огнетушители применяются для тушения пожаров класса В и электрооборудования.

Тактика их применения аналогична тактике применения углекислотных огнетушителей.

При применении всех типов огнетушителей необходимо соблюдать следующие общие правила безопасности:

- при обнаружении пожара подать сигнал тревоги и оповестить пожарную охрану;
- не проходить мимо пожара в поисках огнетушителя, так как тупиковое помещение может оказаться для вас ловушкой;
- при тушении электрооборудования, находящегося под напряжением, необходимо, чтобы расстояние от электрооборудования до насадка (раструба) огнетушителя было не менее 1 метра;
- тушение производить с наветренной стороны;
- оставлять свободным путь эвакуации;
- при неудачном тушении немедленно покинуть помещение и ожидать помощи.

Ваше знание обстановки поможет пришедшим на помощь;

- при тушении одновременно несколькими огнетушителями не производить тушение струями огнетушащего вещества, направленными навстречу друг другу,
- после окончания тушения отход необходимо производить находясь лицом к очагу,
- при наличии запасного огнетушителя с огнетушащим веществом охлаждающего действия произвести обработку нагретых поверхностей с целью предупреждения повторного воспламенения.

Классификация пожаров по ГОСТ 27331-87

«Пожарная техника. Классификация пожаров»

Класс пожара	Символ класса пожара	Характеристика класса
A		Горение твердых веществ
B		Горение жидких веществ
C		Горение газообразных веществ (например, бытовой газ, водород, пропан)
D		Горение металлов
(E)		Горение электроустановок

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ПЕРВИЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ (по ППБ-01-03)

1. При определении видов и количества первичных средств пожаротушения следует учитывать физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, их отношение к огнетушащим веществам, а также площадь производственных помещений, открытых площадок и установок.

2. Асбестовые полотна, грубошерстные ткани и войлок размером не менее 1х1м предназначены для тушения небольших очагов пожаров при воспламенении веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха. В местах применения и хранения ЛВЖ и ГЖ размеры полотен могут быть увеличены (2 х 1,5; 2 х 2 м).

Каждое из перечисленных средств следует применять для тушения пожаров классов А, В, Д, (Е), из расчета одно на каждые 200 м² площади.

3. В соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.009-83 бочки для хранения воды должны иметь объем не менее 0,2 куб. м и комплектоваться ведрами. Ящики для песка должны иметь объем 0,5; 1,0 и 3 куб. м и комплектоваться совковой лопатой по ГОСТ 3620 - 76.

4. Емкости для песка, входящие в конструкцию пожарного стенда, должны быть вместимостью не менее 0,1 м³. Конструкция ящика должна обеспечивать удобство извлечения песка и исключать попадание осадков.

5. Комплектование технологического оборудования огнетушителями осуществляется согласно требованиям технических условий (паспортов) на это оборудование или соответствующим правилам пожарной безопасности.

6. Комплектование импортного оборудования огнетушителями производится согласно условиям договора на его поставку.

7. Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей следует производить в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, класса пожара горючих веществ и материалов в защищаемом помещении или на объекте согласно ИСО № 3941-77:

класс А – пожары твердых веществ, в основном органического происхождения, горение которых сопровождается тлением (древесина, текстиль, бумага);

класс В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ;

класс С – пожары газов;

класс Д – пожары металлов и их сплавов;

класс (Е) – пожары, связанные с горением электроустановок.

Выбор типа огнетушителя (передвижной или ручной) обусловлен размерами возможных очагов пожара. При их значительных размерах необходимо использовать передвижные огнетушители.

8. Выбирая огнетушитель с соответствующим температурным пределом

использования, необходимо учитывать климатические условия эксплуатации зданий и сооружений.

9. Если возможны комбинированные очаги пожара, то предпочтение при выборе огнетушителя отдается более универсальному по области применения.

10. Для предельной площади помещений разных категорий (максимальной площади, защищаемой одним или группой огнетушителей) необходимо предусматривать число огнетушителей одного из типов, указанное в табл. 1 и 2 перед знаком «++» или «+».

11. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должны размещаться не менее двух ручных огнетушителей.

12. Помещения категории Д могут не оснащаться огнетушителями, если их площадь не превышает 100 м².

При наличии нескольких небольших помещений одной категории пожарной опасности количество необходимых огнетушителей определяется согласно п. 17 и табл. 1 и 2 с учетом суммарной площади этих помещений.

14. Огнетушители, отправленные с предприятия на перезарядку, должны заменяться соответствующим количеством заряженных огнетушителей.

15. При защите помещений ЭВМ, телефонных станций, музеев, архивов и т.д. следует учитывать специфику взаимодействия огнетушащих веществ с защищаемыми оборудованием, изделиями, материалами и т.п. Данные помещения следует оборудовать хладоновыми и углекислотными огнетушителями с учетом предельно допустимой концентрации огнетушащего вещества.

16. Помещения, оборудованные автоматическими стационарными установками пожаротушения, обеспечиваются огнетушителями на 50 %, исходя из их расчетного количества.

17. Расстояние от возможного очага пожара до места размещения огнетушителя не должно превышать 20 м для общественных зданий и сооружений; 30 м для помещений категорий А, Б и В; 40 м для помещений категорий В и Г; 70 м для помещений категории Д.

18. На объекте должно быть определено лицо, ответственное за приобретение, ремонт, сохранность и готовность к действию первичных средств пожаротушения.

Учет проверки наличия и состояния первичных средств пожаротушения следует вести в специальном журнале произвольной формы.

19. Каждый огнетушитель, установленный на объекте, должен иметь порядковый номер, нанесенный на корпус белой краской. На него заводят паспорт по установленной форме.

20. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться.

21. В зимнее время (при температуре ниже 1 °С) огнетушители необходимо хранить в отапливаемых помещениях.

22. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, проходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей. Их

следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,5 м.

23.Асбестовое полотно, войлок (кошму) рекомендуется хранить в металлических футлярах с крышками, периодически (не реже 1 раза в три месяца) просушивать и очищать от пыли.

24.Для размещения первичных средств пожаротушения в производственных и складских помещениях, а также на территории объектов должны оборудоваться пожарные щиты (пункты).

25.Использование первичных средств пожаротушения для хозяйственных и прочих нужд, не связанных с тушением пожара, не допускается.

Таблица 1

Нормы оснащения помещений переносными огнетушителями

Категория помещения (по НПБ 105-95)	Предельная защищаемая площадь, м ²	Класс пожара	Пенные и водные огнетушители вместимостью 10 л	Порошковые огнетушители вместимостью, л			Хладоновые огнетушители вместимостью 2(3)л	Углекислотные огнетушители вместимостью, л	
				2	5	10		2	5 (8)
А,Б,В (горючие газы и жидкости)	200	А	2++	-	2+	1++	-	-	-
		В	4+	-	2+	1++	4+	-	-
		С	-	-	2+	1++	4+	-	-
		Д	-	-	2+	1++	-	-	-
		Е	-	-	2+	1++	-	-	2++
В	400	А	2++	4	2+	1+	-	-	2+
		Д	-	+	+	1++	-	-	
		Е	-	-	2+	1+	2+	4+	
				-	+				
Г	800	В	2+	-	2+	1+	-	-	-
		С	-	4	+	1+	-	-	-
Г, Д	1800	А	2++	4	2+	1+	-	-	-
		Д	-	+	+	1++	-	-	-
		Е	-	-	2+	1+	2+	4+	2++
				2	2+				
Общественные здания	800	А	4++	8	4+	2+	-	-	4+
		Е	-	+	+	2+	4+	4+	2++
				-	4+				

Таблица 2

Нормы оснащения помещений передвижными огнетушителями

Категория помещения	Предельная защищаемая площадь, м ²	Класс пожара	Воздушно-пенные и огнетушители вместимостью 100 л	Комбинированные огнетушители (пена-порошок) вместимостью 100 л	Порошковые огнетушители вместимостью, 100 л	Углекислотные огнетушители вместимостью, л	
						25	80
А, Б, В (горючие газы и жидкости)	500	А	1++	1++	1++	-	3+
		В	2+	1++	1++	-	3+
		С	-	1+	1++	-	3+
		Д	-	-	1++	-	-
		Е	-	-	1+	2+	1++
В (кроме горючих газов и жидкостей), Г	800	А	1++	1++	1++	4+	2+
		В	2+	1++	1++	-	3+
		С	-	1+	1++	-	3+
		Д	-	-	1++	-	-
		Е	-	-	1+	1++	1+

Примечания:

1. Для тушения очагов пожара различных классов порошковые огнетушители должны иметь соответствующие заряды:

для класса А – порошок типа АВСЕ;

для классов В, С и Е – типа ВСЕ или АВСЕ;

для класса Д – типа Д.

3. Знаком «++» отмечены рекомендуемые к оснащению объектов огнетушители; знаком «+» огнетушители, применение которых допускается при отсутствии рекомендуемых или при соответствующем обосновании; знаком «-» огнетушители, которые не допускаются для оснащения данных объектов.

Таблица 3

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А взрывопожароопасная	<p>Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление <u>взрыва в помещении превышает 5 кПа</u></p>
Б взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1 – В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г невзрывопожароопасная	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д непожароопасная	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

3. Задание на работу

В отчете должны быть приведены данные о применяемых огнетушащих веществах с указанием основного и дополнительного тушащего эффекта и области применения каждого из них.

В соответствии с ППБ-01-03 (см. Приложение 2) определите количество огнетушителей для тушения возможного возгорания в помещении общественного здания площадью 180 м². Пожарная нагрузка – деревянные полы, хлопчатобумажные шторы, деревянные столы.

Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

4. Контрольные вопросы

1. Что называется пожаром, горением?
2. Необходимое условие возникновения горения.
3. Системы электрической пожарной сигнализации.
4. Устройство лучевой и шлейфной ЭПС.
5. Достоинства и недостатки радиальной и кольцевой ЭПС.
6. Методы прекращения горения.
7. Огнетушащие вещества, область применения каждого из них.
8. Классификация огнетушителей по виду огнегасительного вещества.
9. Принцип действия огнетушителей: ОХП, ОВП, ОУ, ОП.
10. Классификация пожаров.
11. Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: освоить методику расчета доз внутреннего облучения при употреблении продуктов питания, содержащих гамма-излучающие радионуклиды.

Задачи работы: изучить методику расчета мощности дозы, получаемой человеком при внутреннем облучении; изучить методику определения уровня риска от облучения; рассчитать годовые дозы ионизирующего внутреннего облучения от радионуклидов, попавших в тело человека с продуктами питания.

2. Теоретические сведения

2.1 Основные параметры, характеризующие ионизирующее излучение

Люди постоянно подвергаются воздействию внешнего ионизирующего излучения от солнца и поверхности земли, а также внутреннего облучения от попадающих внутрь организма радионуклидов при дыхании и употреблении воды и пищи.

Вопросы определения доз облучения людей были актуальными во время и после проведения испытаний ядерного оружия, но особую актуальность получили после аварии на Чернобыльской АЭС, когда в атмосферу было выброшено около 50 МКи различных радионуклидов и радиоактивным выпадениям были подвергнуты территории Украины, Белоруссии и России. Первичная информация о радиационном загрязнении территории практически не дает представления о возможных индивидуальных дозах облучения и путях формирования суммарной дозы у человека, поэтому необходимы знания расчета доз облучения (в первую очередь от γ -излучающих радионуклидов) и определения уровня риска.

Основными параметрами радионуклидов являются: активность и период полураспада (таблица 1).

При расчетах используются понятия экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз облучения.

Таблица 1 – Радиобиологические свойства нуклидов

Нуклид	Эффективная энергия $E_{эф}, \frac{МэВ}{расп}$	Гамма-постоянная $K_\gamma, \frac{Р \cdot см^2}{ч \cdot мКи}$	Период полураспада $T_{1/2}, \text{сут.}$	Критический орган	Доля нуклида, попадающего в рассматриваемый орган		Период полувыведения из организма $\frac{T_B}{2}, \text{сут.}$
					при заглатывании f_3	при вдыхании $f_{вд}$	
^{60}Co	1,5	6,75	$1,9 \cdot 10^3$	Все тело	0,3	0,45	9,5
				Печень	0,001	0,02	9,5
^{131}I	0,41	1,69	8	Все тело	1,0	0,75	138
				Щитовид. железа	0,3	0,23	138
^{137}Cs	0,59	3,19	$1,1 \cdot 10^4$	Все тело	1,0	0,75	70
^{226}Ra	110	9,36	$5,9 \cdot 10^5$	Все тело	0,3	0,4	$8,1 \cdot 10^3$
^{90}Sr	1,1	2,94	$1 \cdot 10^4$	Скелет	0,3	0,12	$1,8 \cdot 10^4$
^{235}U	46	0,51	$2,6 \cdot 10^{11}$	Все тело	10^{-4}	0,25	100
				Кости	$0,1 \cdot 10^{-5}$	0,028	300
				Почки	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,028	15

Эквивалентная доза учитывает не только энергию, передаваемую веществу, но и те биологические эффекты, которые производит проникающая радиация в теле человека:

$$D_{эkv} = D_{пол} \cdot K_2 = D_{экс} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1)$$

Таблица 2 – Средние значения коэффициента качества K_2

Вид излучения	K_2 , Зв/Гр или бэр/рад
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны и позитроны, β	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

Специальной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рентгена).

Для рентгеновского и γ -излучения коэффициенты $K_1 = 1 \text{ рад/Р}$, $K_2 = 1 \text{ бэр/рад}$ и $1 \text{ Р эквивалентен } 1 \text{ бэр}$, т.е. $1 \text{ Р} \leftrightarrow 1 \text{ рад} \leftrightarrow 1 \text{ бэр}$.

Чтобы отметить различие между экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозами, а также единицами измерения эти параметры сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Основные параметры, характеризующие ионизирующее излучение

Параметры	Единицы измерения	
	Старая система	Система СИ
А – активность радионуклида (количество частиц, вылетающих из вещества в ед. времени)	Бк (беккерель) 1 Бк = 1 расп/с 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк	
D _{эксп} – экспозиционная доза (определяется по энергии, поглощенной воздухом, водой и другими веществами)	Р (рентген)	Кл/кг
	1 Р = $2,6 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг	
D _{погл} – поглощенная доза (определяется по энергии, поглощенной воздухом, водой и другими веществами)	рад	Гр (грей) 1 Гр = 1 Дж/кг
	100 рад = 1 Гр	
D _{экв} – эквивалентная доза (определяется по действию на человека)	бэр	Зв (зиверт)
	100 бэр = 1 Зв	
$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \cdot K_2 = D_{\text{эксп}} \cdot K_1 \cdot K_2$		
Для рентгеновского и γ-излучения 1 Р эквивалентен 1 бэр, т.е. коэффициенты $K_1 = 1 \text{ рад/Р} = 0,01 \text{ Гр/Р}$, $K_2 = 1 \text{ бэр/рад} = 1 \text{ Зв/Гр}$, $1 \text{ Р} \leftrightarrow 1 \text{ рад} \leftrightarrow 1 \text{ бэр}$, $100 \text{ Р} \leftrightarrow 1 \text{ Гр} \leftrightarrow 1 \text{ Зв}$		

Мощность экспозиционной, поглощенной или эквивалентной дозы \dot{D} характеризуется дозой, полученной в единицу времени, т.е.

$$\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (2)$$

где ΔD приращение дозы за промежуток времени Δt .

Мощность экспозиционной дозы $\dot{D}_{\text{эксп}}$ измеряется в системе СИ в Кл/(кг·с); внесистемными единицами являются Р/с, Р/ч, мР/ч, мкР/ч и др.

Мощность поглощенной дозы $\dot{D}_{\text{погл}}$ в системе СИ измеряется в Гр/с, мкГр/с, аГр/с и т.д.

Мощность эквивалентной дозы $\dot{D}_{\text{экв}}$ измеряется в системе СИ в Зв/с, мЗв/ч, мкЗв/ч; внесистемными единицами являются бэр/с, бэр/ч и т.д.

По измеренным значениям мощности дозы можно определить дозу облучения:

$$D = \int_0^t \dot{D} dt \quad (3)$$

если мощность дозы не меняется во времени, то

$$D = \dot{D} \cdot t \quad (4)$$

где t – время воздействия ионизирующего излучения.

2.2. Нормирование доз облучения

Условия безопасной работы с радиоактивными веществами регламентированы Нормами радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87 [1].

Радиационному воздействию могут подвергаться не только лица, непосредственно работающие с радиоактивными веществами, но и население, поэтому нормами НРБ-76/78 установлены предельно допустимые уровни облучения в зависимости от категории облученных лиц и группы критических органов (таблица 4).

Таблица 4 – Дозовые пределы облучения

Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения, бэр за год	Критическая группа органов		
	1 (все тело, половые железы и красный костный мозг)	2 (мышцы, щитовидная железа, внутренние органы)	3 (кожный покров, костная ткань, кисти рук, стопы)
ПДД для категории А (профессиональные работники, постоянно или временно работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучения)	5	15	30
ПДД для категории Б (население, не работающее непосредственно с источниками излучения, но может подвергаться воздействию радиоактивных веществ)	0,5	1,5	3

2.2. *Определение доз внутреннего облучения гамма-излучающими радионуклидами*

Радиоактивные вещества могут поступать в организм человека при вдыхании воздуха, загрязненного радиоактивными веществами, через желудочно-кишечный тракт, а также через кожу. Из-за большого объема легочной вентиляции ($20 \text{ м}^3/\text{сут}$) и более высокого коэффициента усвоения наиболее опасен первый путь. Количество радионуклидов, поступающих из желудочно-кишечного тракта в кровь, зависит от его вида, например цирконий Zr и ниобий Nb практически не поступают в кровь (коэффициент резорбции составляет доли процента), висмут Bi – 1%, барий Ba – 5%, кобальт Co и стронций Sr – до 30%, водород и щелочноземельные вещества – 100%.

Поступления в кровь через неповрежденную кожу в 200-300 раз меньше чем через желудочно-кишечный тракт. Исключение составляет изотоп водорода – тритий, легко проникающий в кровь через кожу.

По характеру распределения в организме радиоактивные вещества условно разделяются на три группы: равномерно распределяющиеся в организме, отлагающиеся преимущественно в скелете и концентрирующиеся в печени (см. таблицу 1). Особое место занимает радиоактивный йод, который селективно отлагается в щитовидной железе.

Мощность дозы, получаемая человеком при внутреннем облучении в общем виде определяется выражением

$$\dot{D}_{\text{экв.вн}} = 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{\text{yo}} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (5)$$

где $\dot{D}_{\text{экв.вн}}$ – мощность эквивалентной дозы в рассматриваемом органе или ткани при внутреннем облучении человека, Зв/ч;

A_{yo} – удельная активность радионуклида в рассматриваемом органе человека, Бк/кг;

K_{γ} – гамма-постоянная радионуклида, $\text{Р} \cdot \text{см}^2/(\text{ч} \cdot \text{мКи})$;

ρ – плотность ткани, ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$);

g – геометрический фактор, см;

K_1 – коэффициент перевода единицы экспозиционной дозы в единицу поглощенной дозы, ($K_1 = 0,01 \text{ Гр/Р}$);

K_2 – коэффициент качества облучения, ($K_2 = 1 \text{ Зв/Гр}$).

Удельная активность радионуклида A_{yo} , Бк/кг рассчитывается по формуле

$$A_{\text{yo}} = \frac{A \cdot f}{m} \quad (6)$$

где A – активность единичного поступления радионуклида в организм человека, Бк;

f – коэффициент метаболизма (см. таблицу 1);

m – масса всего тела человека (если радионуклид распространяется по всему телу) или масса органа человека, куда поступает радионуклид, кг.

Геометрический фактор g учитывает соотношение массы облучаемого тела или органа и его геометрических размеров. Например, чем ниже рост человека и больше его масса, тем больше g :

рост 2 м, масса 60 кг $g = 117$ см;

рост 1,7 м, масса 70 кг $g = 126$ см;

рост 1,4 м, масса 100 кг $g = 154$ см.

При облучении печени массой 1,8 кг геометрический фактор принимается равным $g = 80$ см. При облучении щитовидной железы массой 20 г $g = 40$ см.

Годовую дозу внутреннего облучения следует определять с учетом эффективного периода полувыведения нуклидов из организма

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{B/2}}{T_{1/2} + T_{B/2}} \quad (7)$$

где $T_{эф}$ – эффективный период полувыведения, сут;

$T_{1/2}$ – период полураспада изотопа, сут;

$T_{B/2}$ – период полувыведения из организма, т.е. время, в течение которого из организма выводится половина имеющегося радиоактивного вещества, сут.

$$D_{экв.вн} = \dot{D}_{экв.вн} \cdot 365 \cdot 24 \quad \text{при } T_{эф} \geq 365 \text{ сут}, \quad (8)$$

$$D_{экв.вн} = \dot{D}_{экв.вн} \cdot T_{эф} \cdot 24 \quad \text{при } T_{эф} < 365 \text{ сут}, \quad (9)$$

где $D_{экв.вн}$ – эквивалентная годовая доза внутреннего облучения, Зв/год;

$\dot{D}_{экв.вн}$ – мощность эквивалентной дозы внутреннего облучения, Зв/ч;

$365 \cdot 24$ – количество часов облучения в год, ч/год.

Пример 2.3:1. Рассчитать внутреннюю годовую дозу облучения человека в результате вдыхания радиоактивной пыли ^{90}Sr в количестве 2 г активностью 10 Ки/кг.

Решение.

В результате попадания в организм человека радионуклид ^{90}Sr задерживается в минеральной части костей и очень трудно выводится из организма $T_{B/2} = 1,8 \cdot 10^4$ сут (таблица 1). Облучению подвергается все тело человека.

Единичное поступление радионуклида ^{90}Sr составляет 2 г, поэтому активность единичного поступления

$$A = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ Ки} = 7,4 \cdot 10^8 \text{ Бк}$$

Удельную активность рассчитываем по формуле (6)

$$A_{уд} = \frac{A \cdot f}{m} = \frac{7,4 \cdot 10^8 \cdot 0,12}{70} = 1,27 \cdot 10^6 \text{ Бк/кг}$$

Мощность дозы, получаемой человеком, определяем по формуле (5)

$$\dot{D}_{экв.вн} = 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{уд} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 1,27 \cdot 10^6 \cdot 2,94 \cdot 1 \cdot 126 \cdot 0,01 \cdot 1 =$$

$$= 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ Зв/ч}$$

Эффективный период полувыведения радионуклида вычисляем по формуле (7)

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{B/2}}{T_{1/2} + T_{B/2}} = \frac{10^4 \cdot 1,8 \cdot 10^4}{10^4 + 1,8 \cdot 10^4} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ сут}$$

Годовую эквивалентную дозу внутреннего облучения вычисляем по формуле (8)

$$D_{экв.вн} = \dot{D}_{экв.вн} \cdot 365 \cdot 24 = 1,27 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 24 = 1,1 \text{ Зв/год}$$

Полученная доза в 220 раз превышает ПДЦ для населения.

Пример 2.3.2. Рассчитать внутреннюю годовую дозу облучения человека в результате употребления им в пищу ежедневно в течение 200 дней по 0,5 л молока с радионуклидом ^{131}I активностью $7,4 \cdot 10$ Бк/л и сравнить с ПДЦ для населения.

Решение.

Радионуклид ^{131}I попадает во все тело человека и в щитовидную железу (см. таблицу 1).

Рассчитываем мощность дозы облучения всего тела человека при единичном (в течение суток) поступлении ^{131}I по формулам (5.2, 5.3 и 5.1):

$$A_{yo} = \frac{A \cdot f}{m} = \frac{0,5 \cdot 7,4 \cdot 10^5 \cdot 1}{70} = 0,53 \cdot 10^4 \text{ Бк/кг}$$

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{B/2}}{T_{1/2} + T_{B/2}} = \frac{8 \cdot 138}{8 + 138} = 7,56 \text{ сут}$$

$$\dot{D}_{экв.вн} = 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{yo} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 0,53 \cdot 10^4 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 126 \cdot 0,01 \cdot 1 =$$

$$= 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/ч}$$

Так как человек ежедневно употребляет молоко в ганцу, то мощность дозы будет со временем возрастать и достигнет значения в 11 раз выше, чем при единичном поступлении, и годовая доза облучения составит

$$D_{экв.вн} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 11 \cdot (200 + 7,56) \cdot 24 = 0,016 \text{ Зв/год}$$

то есть в 3 раза выше ПДЦ для населения.

Рассчитываем мощность дозы облучения щитовидной железы по формулам (6 и 5):

$$A_{yo} = \frac{A \cdot f}{m} = \frac{0,5 \cdot 7,4 \cdot 10^5 \cdot 0,3}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Бк/кг}$$

$$\dot{D}_{экв.вн} = 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{yo} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 5,5 \cdot 10^6 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 40 \cdot 0,01 \cdot 1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Зв/ч}$$

Следует отметить, что мощность дозы облучения щитовидной железы в 300 раз выше мощности дозы облучения всего организма человека.

С учетом того, что человек потребляет в пищу молоко ежедневно в течение 200 дней, годовая доза облучения щитовидной железы составит

$$D_{\text{экв.вн}} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 11 \cdot (200 + 7,56) \cdot 24 = 5,5 \text{ Зв/год}$$

что в 367 раз превышает ПДД для щитовидной железы.

2.5. Определение уровня риска от облучения

Уровень риска это вероятность неожиданных последствий какого-либо действия за определенный период времени. При ионизирующем облучении количественной мерой уровня риска является вероятность заболевания или гибели человека. Воздействие ионизирующего излучения на человека, в этом случае, принимается беспороговым, т.е. чем больше доза облучения, тем выше риск заболевания.

Для персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений (категории А), при дозе облучения равной предельно допустимой (5 бэр/год) значение уровня риска принято равным $r_a = 8,25 \cdot 10^{-4} \text{ (чел.год)}^{-1}$. Это значит, что в течение года восемь человек из 10000 заболеют.

Уровень риска $r = 1 \cdot 10^{-3} \text{ К } 1 \cdot 10^{-2} \text{ (чел.год)}^{-1}$ считается высоким, а $r > 1 \cdot 10^{-2}$ – исключительно высоким.

Безопасным уровнем риска для работников атомной промышленности считается $r_{a, \text{без}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ (чел.год)}^{-1}$, для населения (категории Б) $r_{b, \text{без}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ (чел.год)}^{-1}$.

При облучении всего организма человека уровень риска рассчитывается по формуле:

$$r = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot D_{\text{экв}} \quad (10)$$

где r – уровень риска от облучения человека, (чел.год)^{-1}

$D_{\text{экв}}$ – годовая эквивалентная доза облучения всего человека, Зв/год;

$1,65 \cdot 10^{-2}$ – уровень риска при облучении всего тела человека и получении эквивалентной дозы 1 Зв/год.

При облучении отдельных органов человека уровень риска рассчитывается по формуле

$$r_{\text{орг}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot \omega \cdot D_{\text{экв}} \quad (11)$$

где ω – коэффициент, характеризующий отношение риска облучения только данного органа к риску от равномерного облучения всего тела (таблица 5).

Таблица 5 – Значения коэффициентов ω

Наименование органа или ткани	Коэффициент ω
Все тело человека	1,0
Половые железы	0,25
Молочные железы	0,25
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Кость поверхность	0,03

Пример 2.4.1. Рассчитать уровень риска заболевания оператора, работающего с источниками ионизирующего излучения, при годовой дозе облучения всего тела человека $D_{\text{экв}} = 5$ бэр/год.

Решение.

По формуле (10) уровень риска

$$r = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05 = 8,25 \cdot 10^{-4} \text{ (чел.год)}$$

т.е. уровень риска относительно невысокий, он соответствует предельно допустимой годовой дозе облучения персонала категории А.

Пример 2.4.2. Рассчитать уровень риска при облучении у человека щитовидной железы и полученной дозе $D_{\text{экв.щ}} = 5$ Зв/год.

Решение.

По формуле (11) уровень риска

$$r_{\text{щ}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot 0,03 \cdot 5 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (чел.год)}$$

Этот уровень риска является высоким, т.к. в течение года более двух человек из 1000 заболеют раком щитовидной железы. Если взять период 10 лет, то за это время заболеют 25 человека из 1000.

3. Задание на работу

Определить годовые дозы ионизирующего внутреннего облучения от радионуклидов, попавших в тело человека в течение месяца с продуктами питания: ^{131}J в воде 30 л, ^{137}Cs в молоке 10 л, ^{90}Sr в хлебе 15 кг. Варианты активности радионуклидов приведены в таблице 6. Вид нуклида выбрать по заданию преподавателя.

Таблица 6 – Данные для задания

Номер варианта	Вид радионуклида и активность 1 кг продукта, A_1		
	^{131}J в воде A_1 , Бк/л	^{137}Cs в молоке A_1 , Бк/л	^{90}Sr в хлебе A_1 , Бк/кг
1	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$
2	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$
3	$8 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$
4	$4 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
5	$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$
6	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
7	$8 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
8	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$
9	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$
10	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
11	$3 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^4$
12	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$

1. Определить мощность эквивалентных доз облучения всего тела и отдельных органов по формуле (5) для одного из радионуклидов;

2. Рассчитать эквивалентные годовые дозы облучения всего тела и отдельных органов по формуле (8) или (9);

3. Сравнить дозы облучения всего тела и отдельных органов с предельно допустимыми по таблице 4;

4. Рассчитать уровень риска облучения по формуле (10);

5. Сравнить полученный уровень риска с безопасным, равным $1 \cdot 10^{-3}$ (чел·год)⁻¹.

4. Оформление отчета

Отчет должен содержать: название, цель работы, расчеты доз внутреннего облучения, сравнение полученных данных с ПДД и выводы. Во всех формулах должны быть раскрыты обозначения параметров (т.е. где ...) и указаны единицы измерений.

5. Контрольные вопросы

1. Основные параметры, характеризующие радионуклиды и ионизирующее излучение.

2. Как определяется мощность дозы облучения?

3. Нормирование доз облучения для лиц категории А и Б.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7 ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: изучить вопросы нормирования качества атмосферного воздуха.

Задачи работы: выполнить расчетное задание по установлению норматива предельно-допустимого выброса источника промышленного предприятия.

2. Теоретические сведения

2.1. Нормирование качества воздуха

Под *качеством атмосферного воздуха* понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в *производственной* (предназначенной для размещения промышленных предприятий, опытных производств научно-исследовательских институтов и т.п.), так и в *селитебной* зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов. Основные термины и определения, касающиеся показателей загрязнения атмосферы, программ наблюдения, поведения примесей в атмосферном воздухе определены *ГОСТом 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения* [1].

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}) — концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов, или при другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами

исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Как следует из определения, ПДК_{рз} представляет собой норматив, ограничивающий воздействие вредного вещества на взрослую работоспособную часть населения в течение периода времени, установленного трудовым законодательством. Совершенно недопустимо сравнивать уровни загрязнения селитебной зоны с установленными ПДК_{рз}, а также говорить о ПДК в воздухе вообще, не уточняя, о каком нормативе идет речь.

Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДК_{сс}) - это концентрация вредного вещества в воздухе *населенных мест*, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. Таким образом, ПДК_{сс} рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК_{мр}) - концентрация вредного вещества в воздухе *населенных мест*, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга и т.д.).

Понятие ПДК_{мр} используется при установлении научно-технических нормативов - предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ.

Для охраны атмосферного воздуха на каждом предприятии устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ). Ширина СЗЗ регламентируется санитарными нормами в зависимости от вида и мощности предприятия [2]. Граница СЗЗ отсчитывается от крайних источников выбросов вредных веществ на предприятии.

Нормативы ПДВ загрязняющих веществ в атмосферу определяются на уровне, при котором создаваемые выбросами предприятия приземные концентрации загрязняющих веществ за пределами СЗЗ не превышают нормативов ПДК_{мр} с учетом установленных для данной местности фоновых концентраций. Другими словами, предельно допустимые выбросы должны обеспечивать за пределами СЗЗ предприятия выполнение условия:

$$C_{\text{расч.}} + C_{\text{ф}} \leq \text{ПДК}_{\text{мр}}, \quad (1.1)$$

где $C_{\text{расч.}}$ - максимально возможное значение приземной концентрации вредного вещества, создаваемой выбросами данного предприятия за пределами его СЗЗ;

$C_{\text{ф}}$ - фоновая концентрация загрязняющего вещества, создаваемая естественными процессами в природе, а также выбросами других

предприятий.

Кроме того, при совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих эффектом суммации вредного воздействия, нормативы ПДВ этих веществ должны обеспечить выполнение условия:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (1.2)$$

где C_1, \dots, C_n - создаваемые выбросами предприятия приземные концентрации веществ, обладающих эффектом суммации; $ПДК_1, \dots, ПДК_n$ - предельно допустимые концентрации этих веществ в атмосферном воздухе.

В результате рассеяния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе СЗЗ предприятия концентрация вредного вещества в любой момент времени не должна превышать ПДК_{мр}.

В основе определения ПДВ лежит методика расчета концентраций загрязняющих веществ, создаваемых источником в контрольных пунктах с учетом рассеяния, вклада других источников, перспектив развития.

Очевидно, что приземные концентрации загрязняющих веществ в каждой конкретной точке местности постоянно изменяются под воздействием метеорологических факторов - направления и скорости ветра, температуры, наличия инверсий и т.д. Для оценки степени загрязнения атмосферы, в первую очередь, необходимо знать максимально возможную приземную концентрацию, возникающую при каком-то определенном сочетании метеофакторов. *Метеоусловия, при которых в данной точке достигается максимум приземной концентрации, называются опасными.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха для разработки нормативов ПДВ производится именно для случая опасных метеоусловий.

2.2. Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного источника

Перенос газообразной примеси в атмосфере производится путем увлечения ее воздушным потоком, при этом происходит перемешивание примеси с чистым воздухом и, в результате, в приземном слое атмосферы формируется поле концентраций загрязняющего вещества. Газовые выбросы на определенном расстоянии от трубы достигают земной поверхности, затем приземная концентрация сравнительно быстро растет до максимальной величины, а потом по мере удаления от трубы медленно убывает. При различных скоростях ветра максимум кривой и расстояние, на котором он достигается, принимают различные значения, не изменяя общего вида зависимости.

Механизм переноса примеси в атмосфере определяется большим

числом факторов: степенью нагретости выбрасываемой газовой смеси, высотой источника выбросов, скоростью наружного воздуха и т.д. Многообразие сочетаний различных условий предопределило многообразие расчетных формул для определения приземных концентраций и опасных скоростей ветра.

Критериями выбора той или иной расчетной формулы являются параметры f , v_m , v'_m , f_e , определяемые из следующих соотношений:

$$f = 1000 \frac{\omega_o^2}{H^2} \frac{D}{\Delta T} \quad ; \quad (2.1)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad ; \quad (2.2)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_o \cdot D}{H} \quad ; \quad (2.3)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3 \quad , \quad (2.4)$$

где ω_o - средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с;

D - диаметр устья источника выброса, м;

H - высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b , град. T_r принимается по результатам измерений или действующим для данного производства технологическим нормативам. T_b принимается равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по СНиП 2.01.01.82.

V₁ - расход газовой смеси, м³/с, определяемый по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_o \quad . \quad (2.5)$$

2.2.1 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника при неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формулам:

а) при $f < 100$ и $v_m \geq 0,5$

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad ; \quad (2.6)$$

б) при $f \geq 100$ и $v'_m \geq 0,5$ (холодные выбросы)

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K \quad ; \quad (2.7)$$

в) при $f < 100$ и $v_m < 0,5$ или $f \geq 100$ и $v'_m < 0,5$ (случаи предельно малых опасных скоростей ветра)

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}} \quad , \quad (2.8)$$

где **A** - коэффициент, зависящий от температурной стратификации

атмосферы. Значения коэффициента A , соответствующие неблагоприятным метеоусловиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимаются в соответствии с [3] в зависимости от региона расположения предприятия. Для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей $A=140$;

M - масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (мощность выброса), г/с;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Значения коэффициента F должны приниматься:

а) для газообразных вредных веществ (сернистого газа, сероуглерода и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) - 1;

б) для пыли и золы (кроме указанных выше), если средний эксплуатационный коэффициент очистки выбросов не менее 90% - 2; от 75 до 90% - 2,5; менее 75% - 3. При отсутствии газоочистки $F=3$;

η - безразмерный коэффициент рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающем 50 м на 1 км, $\eta=1$;

m и n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса. Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f , v_m , v'_m и f_e :

а) при $f < 100$ и $f_e > f$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} ; \quad (2.9)$$

$$n = 1 \quad \text{при} \quad v_m \geq 2 \quad (2.10)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \quad \text{при} \quad 0,5 \leq v_m < 2 \quad (2.11)$$

$$n = 4,4 \cdot v_m \quad \text{при} \quad v_m < 0,5 ; \quad (2.12)$$

б) при $f \geq 100$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} ; \quad (2.13)$$

n вычисляется по формулам 2.10 - 2.12 при $v_m = v'_m$;

в) при $f_e < f < 100$ m вычисляется по формуле 2.9 при этом $f = f_e$;

n вычисляется по формулам 2.10 - 2.12.

Значение коэффициента K из зависимости 1.7 определяется по формуле:

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1} . \quad (2.14)$$

Значение коэффициента m' из зависимости 1.8 определяется по формулам:

$$m' = 2,86 \cdot m \quad \text{при } f < 100 \text{ и } v_m < 0,5 \quad (2.15)$$

$$m' = 0,9 \quad \text{при } f \geq 100 \text{ и } v'_m < 0,5. \quad (2.16)$$

2.2.2. Расстояние от источника выброса x_m (м), на котором приземная концентрация C (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения C_m , определяется по формуле:

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (2.17)$$

где безразмерный коэффициент d находится по формулам:

а) при $f < 100$

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } v_m \leq 0,5 \quad (2.18)$$

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (2.19)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_m > 2; \quad (2.20)$$

б) при $f \geq 100$

$$d = 5,7 \quad \text{при } v'_m \leq 0,5 \quad (2.21)$$

$$d = 11,4 \cdot v'_m \quad \text{при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (2.22)$$

$$d = 16 \cdot \sqrt{v'_m} \quad \text{при } v'_m > 2. \quad (2.23)$$

2.2.3. Значение опасной скорости ветра u_m (м/с), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации C_m , определяется по формулам:

а) при $f < 100$

$$u_m = 0,5 \quad \text{при } v_m \leq 0,5 \quad (2.24)$$

$$u_m = v_m \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (2.25)$$

$$u_m = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \quad \text{при } v_m > 2; \quad (2.26)$$

б) при $f \geq 100$

$$u_m = 0,5 \quad \text{при } v'_m \leq 0,5 \quad (2.27)$$

$$u_m = v'_m \quad \text{при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (2.28)$$

$$u_m = 2,2 \cdot v'_m \quad \text{при } v'_m > 2. \quad (2.29)$$

2.2.4. При опасной скорости ветра приземная концентрация вредных веществ C (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяются по формуле:

$$C = s_1 \cdot C_m, \quad (2.30)$$

где s_1 - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_m и коэффициента F по формулам:

$$s_1 = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2 \quad \text{при } x/x_m \leq 1 \quad (2.31)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8 \quad (2.32)$$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58 \cdot (x/x_m)^2 - 35,2 \cdot (x/x_m) + 120} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 8 \quad (2.33)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 2,47 \cdot (x/x_m) - 17,8} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 8. \quad (2.34)$$

Для низких и наземных источников выбросов ($H \leq 10$ м) при значениях $x/x_m < 1$ величина s_1 в формуле 2.30 заменяется на величину s_1'' , определяемую в зависимости от x/x_m и H по формуле:

$$s_1'' = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)s_1 \quad \text{при } 2 \leq H < 10. \quad (2.35)$$

2.2.5. Максимально возможная концентрация C_{mx} , создаваемая выбросами рассматриваемого источника на расстоянии x достигается при **определенной скорости ветра** u_{mx} , в общем случае отличной от опасной скорости u_m .

Расчет максимально возможной концентрации C_{mx} (мг/м³) на расстоянии x от источника производится по формуле:

$$C_{mx} = s_1' \cdot C_m, \quad (2.36)$$

где безразмерный коэффициент s_1' находится в зависимости от отношения x/x_m :

$$s_1' = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2 \quad \text{при } x/x_m \leq 1 \quad (2.37)$$

$$s_1' = \frac{1,1}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8 \quad (2.38)$$

$$s_1' = \frac{2,55}{0,13 \cdot (x/x_m)^2 + 9} \quad \text{при } 8 < x/x_m \leq 24 \quad (2.39)$$

$$s_1' = \frac{x/x_m}{4,75 \cdot (x/x_m)^2 - 140 \cdot (x/x_m) + 1435} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ и } 24 < x/x_m \leq 80 \quad (2.40)$$

$$s_1' = \frac{2,26}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 7,41 \cdot (x/x_m) - 160} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ и } 24 < x/x_m < 80 \quad (2.41)$$

$$s_1' = \frac{x/x_m}{3,58 \cdot (x/x_m)^2 - 35,2 \cdot (x/x_m) + 120} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 80 \quad (2.42)$$

$$s_1' = \frac{1}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 2,47 \cdot (x/x_m) - 178} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 80. \quad (2.43)$$

u_{mx} рассчитывается по формуле:

$$u_{mx} = f_1 \cdot u_m, \quad (2.44)$$

где f_1 - безразмерный коэффициент, равный:

$$f_1 = 1 \quad \text{при } x/x_m \leq 1 \quad (2.45)$$

$$f_1 = \frac{0,75 + 0,25 \cdot (x/x_m)}{1 + (x/9x_m)^9} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8 \quad (2.46)$$

$$f_1 = 0,25 \quad \text{при } 8 < x/x_m < 80 \quad (2.47)$$

$$f_1 = 1 \quad \text{при } x/x_m \geq 80. \quad (2.48)$$

Если рассчитанная по формуле 2.44 скорость ветра $u_{\text{мх}} < 0,5$ м/с или $u_{\text{мх}} > u^*$, то $C_{\text{мх}}$ рассчитывается для скоростей ветра 0,5 м/с, $u_{\text{м}}$, u^* и в качестве $u_{\text{мх}}$ выбирается та из этих скоростей, при которой $C_{\text{мх}}$ принимает наибольшее значение.

2.3. Расчет загрязнения атмосферы выбросами нескольких источников

Расчет приземных концентраций от группы источников обычно производится на ЭВМ, но для определения концентраций от одного-двух источников загрязнения воздуха он может быть произведен вручную. Методика расчетов приземных концентраций приведена в ОНД-86 [3]. Кроме формул для точечных источников, в ОНД-86 даны формулы для расчета приземных концентраций от линейных и площадных источников, а также приведен специальный раздел для определения приземных концентраций в зонах аэродинамических теней, создаваемых зданиями.

2.4. Нормирование выбросов

Проекты томов ПДВ отражают нормативы выбросов, установленные для каждого источника загрязнения и каждого вещества. Эти документы готовятся, как правило, уже на стадии рабочего проектирования и должны пересматриваться в случае изменения мощности, технологии производства или режима работы предприятия, но не реже одного раза в 5 лет. Проекты томов ПДВ подлежат утверждению в территориальных органах Госкомэкологии, на их основе предприятие получает разрешение на выброс загрязняющих веществ.

Значение ПДВ (г/с) для одиночного источника с круглым устьем в случаях $C_{\text{ф}} < \text{ПДК}_{\text{мр}}$ определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}_{\text{мр}} - C_{\text{ф}}) \cdot M}{C} \quad (4.1)$$

Если по результатам расчета рассеивания вредных веществ установлено, что приземные концентрации за пределами СЗЗ предприятия не превышают нормативов $\text{ПДК}_{\text{мр}}$, т.е. выполняются условия 1.1 и 1.2, то нормативы ПДВ устанавливаются на уровне фактических значений выбросов загрязняющих веществ.

В случае, если значения ПДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты, для таких предприятий устанавливаются временно согласованные выбросы вредных веществ (ВСВ) и вводится поэтапное снижение показателей выбросов вредных веществ до значений, которые обеспечивают соблюдение ПДВ. Для хозяйственных объектов, вновь вводимых в действие, установление временно согласованных нормативов не допускается.

3. Задание на работу

Оценить степень загрязнения атмосферы и установить норматив ПДВ для предприятия, имеющего один источник выбросов. Параметры источника выбросов, наименование выбрасываемого вещества, размер санитарно-защитной зоны принимаются по варианту, указанному преподавателем (Приложения 1 и 2).

Приложение 1

Рекомендуемая последовательность выполнения оценки степени загрязнения атмосферы

(нагретые выбросы от одного источника загрязнения)

1. Исходные данные: H , D , ω_o , T_r , T_b , A , η , ПДК_{мр}, x .

Расчет вспомогательных параметров

2. Объем газозооушной смеси V_1 по формуле 2.5.
3. Параметр f по формуле 2.1.
4. Параметр ν_m по формуле 2.2.
5. Параметр ν'_m по формуле 2.3.
6. Параметр f_e по формуле 2.4.
7. Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f , ν_m , ν'_m и f_e по формулам 2.9 - 2.13.
8. Коэффициент d в зависимости от параметров f , ν_m , ν'_m определяется по формулам 2.18 - 2.23.
9. Значение опасной скорости ветра u_m определяется в зависимости от параметров f , ν_m по формулам 2.24 - 2.29.

Расчет концентрации примеси при опасных метеоусловиях

10. Максимальная концентрация примеси по формуле 2.6.
11. Расстояние от источника выброса x_m по формуле 2.17.
12. Коэффициент s_1 для расстояния x (для данного расчета x - размер СЗЗ) по формулам 2.31 - 2.34.
13. Концентрация C на расстоянии x по формуле 2.30.

Расчет максимально возможной концентрации примеси на границе СЗЗ

14. Коэффициент s'_1 для расстояния x (x - размер СЗЗ) по формулам 2.37 - 2.43.

15. Максимально возможная концентрация C_{mx} на расстоянии x от источника по формуле 2.36.
16. Коэффициент f_1 для расстояния x по формулам 2.45 - 2.48.
17. Скорость ветра u_{mx} рассчитывается по формуле 2.44.
- Установление норматива ПДВ*
18. Норматив ПДВ по формуле 4.1 (C - по формуле 2.30)
19. В случае выполнения условия $C + C_{\phi} \leq \text{ПДК}_{\text{мр}}$ норматив ПДВ устанавливается на уровне фактических значений выбросов загрязняющих веществ, т.е. ПДВ = М.

Приложение 2

Варианты заданий

№ п/ п	Характеристика	Единица	Значение варианты заданий				
			1	2	3	4	5
1	Высота дымовой трубы, Н	м	35	50	80	75	100
2	Диаметр устья трубы, D	м	1	1,5	1,4	2	2,2
3	Скорость выхода газовой смеси, ω_0	м/с	4	6	6,5	7	7,5
4	Температура газовой смеси, T_r	°C	110	130	120	140	160
5	Температура окружающего воздуха, T_v	°C	24	24	24	24	24
6	Выбрасываемое вещество		аммиак	диоксид серы	диоксид азота	соляная кислота	азотная кислота
7	Мощность выброса	г/с	10	48	4	9	12
8	Регион размещения предприятия		Тульская обл.	Рязанская обл.	Калужская обл.	Ивановская обл.	Московская обл.
9	Коэффициент рельефа местности, η		1	1	1	1	1
10	Максимально разовая концентрация, ПДК _{м.р.}	мг/м ³	0,2	0,5	0,085	0,2	0,4
11	Фоновая концентрация, C_{ϕ}	мг/м ³	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01
12	Размер санитарно-защитной зоны, x	м	1000	300	50	1000	1000

Библиографический список использованных источников

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учеб. пособие для вузов.- М.: Энергия, 1979.- 408 с.
- Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. Кнорринга. Л.: Энергия, 1976.-384 с. ил.
2. Тищенко Г. А. Осветительные установки: Учебник для учащихся специальности “Электроосветительные приборы и установки”. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. В. Айзенберга. – М.: Энергоиздат, 1983, – 489 с.
4. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1980.
5. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. – М.: Военное издательство. 1990.
6. Безопасность жизнедеятельности : учеб. для вузов / С. В. Белов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – М. : Высш. шк., 2009. – 616 с.
7. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера : учеб. пособие для вузов / В. А. Акимов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2008. – 592 с.
8. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Вишняков [и др.]. – М. : Академия, 2008. – 304 с.
9. Емельянов В. М., Коханов В. Н., Некрасов П. А. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов. – М. : Академический проект : Трикста, 2005. – 480 с.
10. Вознесенский В. В. Средства защиты органов дыхания и кожи. Противогазы, респираторы и защитная одежда, основы их эксплуатации : учеб. пособие. – М. : Воен. знания, 2010. – 80 с.
11. Семенов С. Н., Лысенко В. П. Проведение занятий по гражданской обороне : метод. пособие. – М. : Высш. шк., 1990. – 96 с