

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Филиал ФГБОУ ВО «УГНТУ» в г.Стерлитамаке

Кафедра общей химической технологии

**Производственная санитария и гигиена труда:
учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных, практических работ и
курсовому проектированию**

для обучающихся по направлению 20.03.01 – Техносферная безопасность
профиль «Безопасность технологических процессов и производств»

Стерлитамак 2018

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по направлению 20.03.01 – Техносферная безопасность профиль «Безопасность технологических процессов и производств». В пособии представлены методические указания к выполнению лабораторных и практических работ, а также к выполнению курсового проекта по дисциплине «Производственная санитария и гигиена труда».

Составители: Лузина М.С., ст. преподаватель кафедры
«Общая химическая технология» филиала
ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Стерлитамаке

Рецензенты: Асфандиярова Л.Р., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Общая химическая технология» филиала
ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Стерлитамаке

Исламутдинова А.А., канд. техн. наук, доцент
кафедры «Общая химическая технология» филиала
ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Стерлитамаке

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Методические указания к выполнению практических работ	4
Практическая работа № 1. Расчет естественной и искусственной вентиляции производственных помещений	4
Практическая работа № 2. Определение вибрационной зоны безопасности машин с динамическими нагрузками	11
Практическая работа № 3. Защита персонала от воздействия ЭМП промышленной частоты.	15
Практическая работа № 4. Расчет экрана индуктора высокочастотной установки для нагрева металла.	23
Практическая работа № 5. Защита персонала от воздействия электромагнитных полей радиочастот.	34
Практическая работа № 6. Защита персонала от действия ионизирующих излучений.	41
Раздел 2.	
Методические указания к выполнению лабораторных работ	60
Лабораторная работа № 1. Оценка уровня радиационного загрязнения	60
Лабораторная работа № 2. Оценка радиационной обстановки в условиях чрезвычайной ситуации	66
Раздел 3.	
Методические указания к выполнению курсового проекта	76
Список использованных источников	79
Приложения	80

Раздел 1. Методические указания к выполнению практических работ

Практическая работа № 1.

Расчет естественной и искусственной вентиляции производственных помещений

Теоретическая часть

Вентиляцией называется организованный и регулируемый воздухообмен.

Назначение вентиляции — обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях.

Вентиляция используется для удаления из производственного помещения загрязненного или перегретого (охлажденного) воздуха и подачи вместо него чистого и охлажденного (нагретого) воздуха. В результате этого в рабочей зоне создаются необходимые благоприятные условия воздушной среды.

По способу перемещения воздуха в рабочих помещениях вентиляция делится на **естественную** и **искусственную**, или механическую.

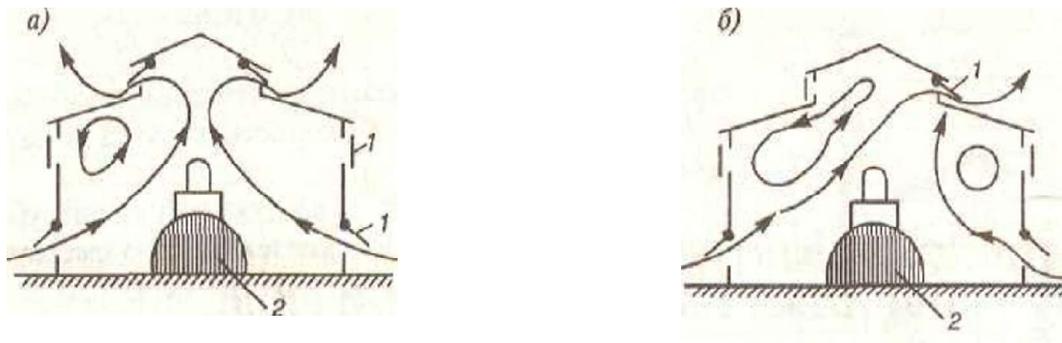
При **естественной вентиляции** перемещение воздуха происходит под влиянием естественных факторов (теплового напора или действия ветра). При искусственной вентиляции воздух перемещается с помощью механических устройств (вентиляторов, эжекторов и др.).

Естественная вентиляция может быть организованной и неорганизованной.

При неорганизованной естественной вентиляции воздухообмен осуществляется за счет вытеснения внутреннего теплого воздуха наружным холодным воздухом через окна, форточки, фрамуги и двери.

Организованная естественная вентиляция, или аэрация, обеспечивает воздухообмен в заранее рассчитанных объемах и регулируемый в соответствии с метеорологическими условиями. Бесканальная аэрация осуществляется при помощи проемов в стенах и потолке. Для получения расчетного воздухообмена вентиляционные проемы в стенах, а также в кровле здания (аэрационные фонари) оборудуют фрамугами.

Площадь вентиляционных проемов и фонарей рассчитывают в зависимости от необходимого воздухообмена.



а - при безветрии; б - при ветре; 1 - вытяжные и приточные отверстия;
2 - тепловыделяющий агрегат

Рисунок 1.1 - Схема естественной вентиляции здания

В производственных помещениях небольшого объема, а также в помещениях, расположенных в многоэтажных производственных зданиях, применяют канальную аэрацию, при которой загрязненный воздух удаляется через вентиляционные каналы в стенах. Для усиления вытяжки на выходе из каналов на крыше здания устанавливают **дефлекторы** — устройства, создающие тягу при обдувании их ветром. При этом поток ветра, ударяясь о дефлектор и обтекая его, создает вокруг большей части его периметра разрежение, обеспечивающее подсос воздуха из канала.

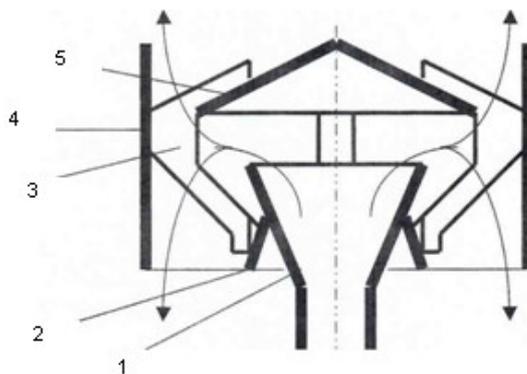
Наибольшее распространение получили дефлекторы типа ЦАГИ (рис. 2), которые представляют собой цилиндрическую обечайку, укрепленную над вытяжной трубой.

Для улучшения подсосывания воздуха давлением ветра труба оканчивается плавным расширением — диффузором. Для предотвращения попадания дождя в дефлектор предусмотрен колпак.

Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основной ее недостаток заключается в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый воздух не очищается и загрязняет атмосферу. Естественная вентиляция применима там, где нет больших выделений вредных веществ в рабочую зону.

Искусственная вентиляция в зависимости от назначения бывает **приточная** (для подачи воздуха), **вытяжная** (для удаления воздуха) или **приточно-вытяжная** (одновременно для подачи и удаления воздуха), а по месту действия — **общеобменной** и **местной**.

Приточная вентиляция распределяет свежий воздух, взятый из места вне здания по всему объему помещения. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого загрязненный воздух вытесняется через двери, окна, фонари или щели строительных конструкций. Приточную систему применяют для вентиляции помещений, в которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне.



1 - диффузор; 2 - конус; 3 - лапки, удерживающие колпак и обечайку; 4 - обечайка; 5 - колпак

Рисунок 1.2 - Схема дефлектора типа ЦАГИ

Вытяжная вентиляция удаляет загрязненный воздух из всего объема помещения. При этом в помещении создается пониженное давление, и чистый воздух для замещения удаленного подсасывается извне через двери, окна, щели строительных конструкций. Вытяжную систему целесообразно применять в том случае, когда загрязненный воздух данного помещения не должен попадать в соседние, например, во вредных цехах, химических и биологических лабораториях.

Приточно-вытяжная вентиляция имеет две отдельные системы: через одну подается чистый воздух, через другую удаляется загрязненный.

Приточно-вытяжная вентиляция может быть организована с рециркуляцией воздуха, заключающейся в том, что часть удаляемого из помещения воздуха не выбрасывается наружу, а возвращается из вытяжной системы в приточную по специальному воздуховоду. Целью рециркуляции является экономия тепла в зимнее время, поскольку рециркуляционный воздух возвращает в помещение затраченное на его нагрев тепло. Порция свежего воздуха в таких системах составляет 10...20% общего количества подаваемого воздуха. Систему вентиляции с рециркуляцией разрешается использовать только для тех помещений, в которых отсутствуют выделения вредных веществ или выделяющиеся вещества относятся к 4-му классу опасности, и концентрация их в воздухе, подаваемом в помещение, не превышает 30% ПДК. Применение рециркуляции запрещено, если в воздухе содержатся болезнетворные вирусы, бактерии и грибки или имеются резко выраженные неприятные запахи.

При общеобменной вентиляции смена воздуха происходит во всем объеме помещения. Эту систему вентиляции наиболее часто применяют в случаях, когда вредные вещества, теплота, влага выделяются равномерно по всему помещению. При такой системе вентиляции обеспечивается поддержание необходимых параметров воздушной среды во всем объеме помещения.

Назначением **местной** вентиляции является удаление вредных выделений непосредственно от мест их образования и предотвращение их перемешивания с воздухом помещения. Например, если помещение очень велико, а число людей, находящихся в нем мало, причем место их нахождения фиксировано, имеет

смысл (из экономических соображений) ограничиться оздоровлением воздушной среды только в местах нахождения людей. Примером такой вентиляции могут служить кабины наблюдения и управления в прокатных цехах, в которых устраивается местная приточно-вытяжная вентиляция, или рабочие места в химических лабораториях, оборудованные местными вытяжными шкафами.

Местная вентиляция по сравнению с общеобменной требует значительно меньше затрат на устройство и эксплуатацию.

Местная вентиляция бывает вытяжная и приточная.

Вытяжную вентиляцию устраивают, когда загрязнения можно улавливать непосредственно у мест их возникновения. Для этого применяют вытяжные шкафы, зонты, завесы, бортовые отсосы у ванн, кожухи, отсосы у станков и т.д.

К **приточной** вентиляции относятся воздушные души, завесы, оазисы.

Вытяжные **шкафы** работают с естественной или механической вытяжкой. Для удаления из шкафа избытков тепла или вредных примесей естественным путем необходимо наличие подъемной силы, которая возникает, когда температура воздуха в шкафу превышает температуру воздуха в помещении. Удаляемый воздух должен иметь достаточный запас энергии для преодоления аэродинамического сопротивления на пути от входа в шкаф до места выброса в атмосферу.

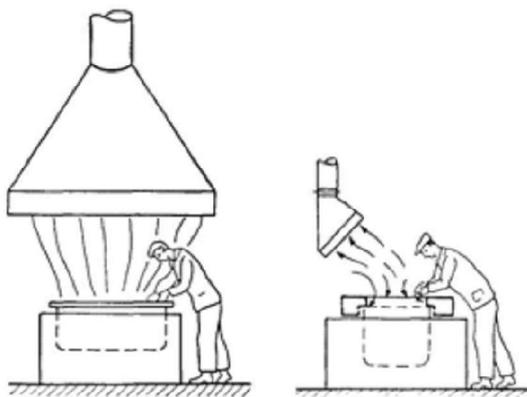


Рисунок 1.3 – Вытяжные зонты

Вытяжные зонты (рис.3) применяют, когда выделяющиеся вредные пары и газы легче окружающего воздуха при незначительной его подвижности в помещении.

Зонты могут быть как с естественной, так и с механической вытяжкой.

Практическая часть

Расчет естественной вентиляции с помощью дефлекторов

Пример 1. Рассчитать количество удаляемого воздуха по массе выделяющихся вредных веществ и для обеспечения взрывобезопасности для проектирования естественной вентиляции с помощью дефлекторов в помещении компрессорной по сжатию аммиака.

Исходные данные. Избыточное давление в трубопроводах - 2,1 МПа. Температура продукта - 34°C. Суммарный объем аммиака в системе трубопроводов в помещении и компрессоре составляет 1,2 м³. $L_{w,z}$ принять равным 0 м³/ч. Размеры помещения компрессорной 6*10*4м. Скорость ветра принять 3,4 м/с.

1. Определяем количество вредных выделений G в помещении через неплотности трубопроводов и оборудования по формуле:

$$G = 3.5 * \eta * P_1 * m * V * \sqrt{M/T}, \text{ кг/ч}$$

где η - коэффициент запаса, равный 1,5...2. Принимаем $\eta = 1,75$;

P_1 - давление в оборудовании, кгс/см², $P_1 = 21$ кгс/см² по условию задачи;

m - коэффициент негерметичности, ч⁻¹, при периодических испытаниях $m = 0,005$ ч⁻¹;

V - объем парогазовой фазы, находящейся внутри оборудования, м³; (1,2м³)

M - относительная молекулярная масса газа $M = 17,03$ для аммиака.

Если в оборудовании находится смесь газов, то в формулу подставляют средневзвешенное значение относительной молекулярной массы:

$$M_{см} = M_1 * i_1 + M_2 * i_2 + \dots + M_n * i_n$$

где $M_1, M_2 \dots M_n$ - относительная молекулярная масса газов, входящих в смесь;

$i_1, i_2 \dots i_n$ - массовая доля каждого газа в смеси;

T - абсолютная температура газа, К, (307К).

$$G = 3.5 * 1.75 * 21 * 0.005 * 1.2 * \sqrt{\frac{17}{307}} = 0,01036 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 10360 \text{ мг/ч.}$$

2. Определяем количество удаляемого воздуха по массе выделяющихся вредных веществ и для обеспечения взрывопожарной безопасности:

$$L = L_{w,z} + \frac{m_{p0} - L_{w,z}(q_{w,z} - q_{in})}{q_e - q_{in}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где $L_{w,z}$ - количество воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов и на технологические нужды, $L_{w,z} = 0$ м³/ч;

m_{p0} - количество каждого из вредных и взрывоопасных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч; $m_{p0} = G = 10360$ мг/ч;

$q_{w,z}, q_e, q_{in}$ - концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом соответственно из обслуживаемой или рабочей зоны помещения и за её пределами, мг/м³. При расчете можно принимать $q_{w,z}, q_e \leq 0,3$ ПДК, q_{in} принимается равной нулю.

При расчете количества подаваемого (удаляемого) воздуха для обеспечения взрывопожарной безопасности $q_{w,z}$ и q_e следует заменить на $0,1 * q_g$, мг/м³ (q_g - нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа или пара). Для аммиака $q_g = 0,107$ кг/м³.

Определяем количество удаляемого воздуха для обеспечения санитарно-гигиенических норм:

$$L = 0 + \frac{10360 \cdot (0,3 \cdot 20 - 0)}{0,3 \cdot 20 - 0} = 1726,7 \text{ м}^3/\text{ч} \approx 1800 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Определяем количество удаляемого воздуха для обеспечения взрывопожарной безопасности:

$$L = 0 + \frac{10360 - 0(0,1 \cdot 107000 - 0)}{0,1 \cdot 107000 - 0} = 0,96 \text{ м}^3/\text{ч} \approx 1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В соответствии со СНиП 41-01-2003 принимается большая из рассчитанных величин. Таким образом, принимаем количество удаляемого воздуха равным 1800 м³/ч.

По таблице Приложения А определяем номер и количество дефлекторов типа ЦАГИ.

- №3: 1800/420=4,28 ≈ 5 дефлекторов;
- №4: 1800/660=2,72 ≈ 3 дефлектора;
- № 5: 1800/1180=1,52 ≈ 2 дефлектора;
- № 6: 1800/1720=1,04 ≈ 2 дефлектора.

С учетом необходимости симметричного расположения дефлекторов, а также отсутствия различий в количестве дефлекторов № 5 и № 6, выбираем дефлектор №5.

Варианты заданий

Задание. По условию примера 1 и в соответствии с вариантом, определяемым по таблице 1, рассчитать количество дефлекторов типа ЦАГИ для обеспечения естественной вентиляции помещения.

Таблица 1 – Варианты заданий

№ варианта	Вещество	Давление в трубопроводах, МПа	Температура продукта, °С	Объем продукта в трубопроводах, м ³	L _{w,z} , м ³ /ч	Скорость ветра, м/с
1	метан	4,0	35	2,6	20	3,5
2	сероводород	3,2	41	2,4	80	4,0
3	бутан	1,0	50	3,2	0	4,2
4	этан	1,5	38	3,0	30	3,6
5	метан	2,5	29	4,5	40	5,0
6	ацетилен	2,2	30	3,8	20	2,8
7	изобутан	4,1	36	2,6	60	4,5
8	этилен	2,6	37	2,2	0	4,3
9	сероводород	3,0	26	3,8	20	3,6
10	окись этилена	2,8	24	3,4	0	3,7
11	пропан	3,4	55	4,0	50	3,9
12	этан	1,9	52	1,5	60	4,5
13	бутан	2,8	41	2,6	0	2,9
14	метан	3,6	46	2,8	0	3,8

15	сероводород	4,0	38	2,9	30	3,6
16	окись этилена	1,7	49	3,4	20	2,0
17	бутен	2,9	33	3,6	0	3,5
18	ацетилен	2,6	37	4,2	60	4,0
19	пропан	3,1	36	1,8	0	2,9
20	изобутан	3,0	32	4,0	0	3,0

Практическая работа № 2. **Определение вибрационной зоны безопасности машин с динамическими нагрузками**

Теоретическая часть

Использование в технологических процессах машин с интенсивными динамическими нагрузками вызывает следующие проблемы: защиту от вибраций работающих на производстве и защиту от вибраций окружающей среды. Колебания мощных кузнечно-прессовых машин, компрессоров, насосов, вентиляторов через опорные конструкции (фундаменты, основания, опорные части, передаются грунту, далее – фундаментам рядом расположенных зданий, в которых отсутствуют источники вибраций, в том числе, непромышленного назначения. Поэтому при проектировании последних необходимо учитывать вибрационный фактор, определяя минимально допустимое расстояние от фундаментов этих зданий до фундаментов машин с динамическими нагрузками. Этот момент необходимо учитывать не только при проектировании жилых и общественных зданий в селитебных зонах, но при проектировании зданий вычислительных центров, конструкторских бюро, научно-исследовательских лабораторий, цехов без источников вибраций, располагающихся непосредственно на территории предприятия. Это вызвано тем, что нормирование вибрации во всех перечисленных случаях проводится более жестко по сравнению с нормированием вибраций рабочих мест машин – источников вибрации.

Вибрации в цехах, где имеются машины с динамическими нагрузками, могут соответствовать действующим нормам по вибрации, а в расположенных рядом зданиях требования норм на вибрацию могут не выполняться. Чаще всего это имеет место в жилой застройке, где нормирование вибрации производится особенно жестко.

Практическая часть

Рассчитать минимально-допустимое расстояние от кузнечно-прессовой машины до жилой застройки, используя данные, приведенные в таблице 2.1.

Порядок расчета:

1. Определяем частоту возбуждающей силы по формуле:

$$f = \frac{n}{60}, \text{ Гц}$$

По таблице 2.2 с учетом частоты возбуждающей силы определяем допустимое значение логарифмического уровня среднеквадратичного виброперемещения $L_{\text{норм}}$.

2. Значение логарифмического уровня среднеквадратичного виброперемещения ($L_{\text{норм}}$), взятое из таблицы 2.2, корректируется с учетом поправок (Δ), представленных в таблице 2.3.

3. Откорректированное значение логарифмического уровня допустимого среднеквадратичного виброперемещения пересчитывают в абсолютное значение среднеквадратичного виброперемещения по формуле:

$$A_{норм} = A_o \cdot 10^{L_{норм}/20} = 8 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{L_{норм}/20}, \text{ м}$$

где A_o – опорная (пороговая) величина виброперемещения ($A_o=8 \cdot 10^{-12}$).

4. Для получения A_{mr} , соответствующего $A_{норм}$, среднеквадратичное значение виброперемещения пересчитывают в амплитудное по формуле:

$$A_{mr} = \sqrt{2} A_{норм}, \text{ м}$$

5. Жесткость системы «машина - фундамент – основание (грунт)» в вертикальном направлении с учетом заданного значения площади подошвы фундамента машины S и коэффициента упругого равномерного сжатия грунта G_z , определяемого по таблице 2.4 по известной величине допустимого давления на основание:

$$K_z = G_z \cdot S \cdot g, \text{ Н/м}$$

где g - ускорение свободного падения, $g=9,8 \text{ м/с}^2$.

6. Амплитуда колебаний $A_{m\phi}$ системы «машина – источник вибрации - фундамент» определяется по формуле:

$$A_{m\phi} = \frac{F_m}{K_z - m_{\Sigma} \cdot \omega^2}, \text{ м}$$

где F_m – амплитуда возмущающей силы;

m_{Σ} - суммарная масса пресса и ее фундамента;

ω – угловая частота колебаний машины $\omega = 2\pi f$;

K_z – жесткость системы «машина – фундамент – основание (грунт)» в вертикальном направлении.

7. Для полученных значений $A_{m\phi}$ и A_{mr} рассчитывают соотношение:

$$\beta = \frac{A_{mr}}{A_{m\phi}}$$

8. По полученному значению β и используя номограмму зависимости $\beta=f(r)$ (Приложение Б), определяем минимально допустимое расстояние r (м) до жилой застройки.

Варианты заданий

Варианты заданий представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

№ вар.	Усилие машины (F_m), Н	Число оборотов кривошипа (n), об/мин	Масса машины (m), кг	Масса фундамента (m), кг	Вибрация		Площадь подошвы фундамента (S), м	Допустимое давление на основание фундамента, Па
					По характеру действия	По длит-ти возд-я за наиболее интенс. 30 мин., %		
1	$6,18 \cdot 10^4$	120	$6,9 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$	постоянная	-	4	98000
2	$6,18 \cdot 10^3$	240	$7,5 \cdot 10^3$	$10,3 \cdot 10^3$	непостоянная	-	6	196000
3	$3,86 \cdot 10^3$	480	$10,3 \cdot 10^3$	$12,5 \cdot 10^3$	-	56...10 %	4	294000
4	$5,13 \cdot 10^3$	960	$3,5 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^3$	-	менее 6 %	5	392000
5	$7,15 \cdot 10^3$	1890	$5,1 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$	-	18...56 %	6	490000
6	$9,16 \cdot 10^2$	3780	$5,4 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^2$	ночь (23...7ч)	-	5	490000
7	$5,13 \cdot 10^4$	120	$6,6 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^4$	день (7...23ч)	-	8	196000
8	$6,10 \cdot 10^3$	240	$5,6 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^3$	-	6...18 %	4	98000
9	$5,13 \cdot 10^2$	1890	$6,3 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^2$	непостоянная	-	4	294000
10	$4,12 \cdot 10^3$	960	$4,3 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^2$	-	18...56	6	98000
11	$5,13 \cdot 10^4$	120	$6,9 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$	постоянная	-	4	98000
12	$6,10 \cdot 10^3$	240	$5,4 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$	-	6...18 %	4	98000
13	$3,56 \cdot 10^3$	480	$6,8 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^3$	-	56...10 %	7	196000
14	$5,32 \cdot 10^4$	120	$5,3 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$	день (7...23ч)	-	5	98000
15	$4,45 \cdot 10^3$	240	$6,8 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^3$	непостоянная	-	7	196000
16	$4,78 \cdot 10^3$	1890	$3,5 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^2$	-	6...18 %	6	294000
17	$5,93 \cdot 10^3$	960	$3,9 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^3$	-	56...10 %	5	392000
18	$4,95 \cdot 10^3$	1890	$5,8 \cdot 10^2$	$7,9 \cdot 10^2$	-	менее 6 %	4	294000
19	$5,12 \cdot 10^3$	960	$3,6 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^3$	постоянная	-	6	294000
20	$5,13 \cdot 10^4$	120	$6,6 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^4$	день (7...23ч)	-	8	196000
21	$6,18 \cdot 10^3$	240	$7,5 \cdot 10^3$	$10,3 \cdot 10^3$	непостоянная	-	6	196000

Таблица 2.2

Частота возбуждающей силы, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровень виброперемещения, дБ	133	121	109	103	97	91

Таблица 2.3

Влияющий фактор	Условия	Поправки, дБ
Характер вибрации	Постоянная	0
Время суток	Непостоянная	-10
	Ночь (23...7ч.)	0
	День (7...23ч.)	+5
Длительность воздействия вибрации в данное время за наиболее интенсивные 30 мин.	Суммарная длительность, %	
	56...10	0
	18...56	+5
	6...18	+10
	менее 6	+15

Таблица 2.4

Допустимое давление на основание фундамента, Па	98000	196000	294000	392000	490000
$G_z, \text{т/м}^3$	2000	4000	5000	6000	7000

Практическая работа № 3.

Защита персонала от воздействия ЭМП промышленной частоты.

Теоретическая часть

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.

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 отдельно напряженностью электрической E (В/м) и магнитной H (А/м) составляющих поля.

Персонал, обслуживающий высоковольтные электроэнергетические установки, находятся в ближней зоне ($l < 1/6\lambda$) 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.

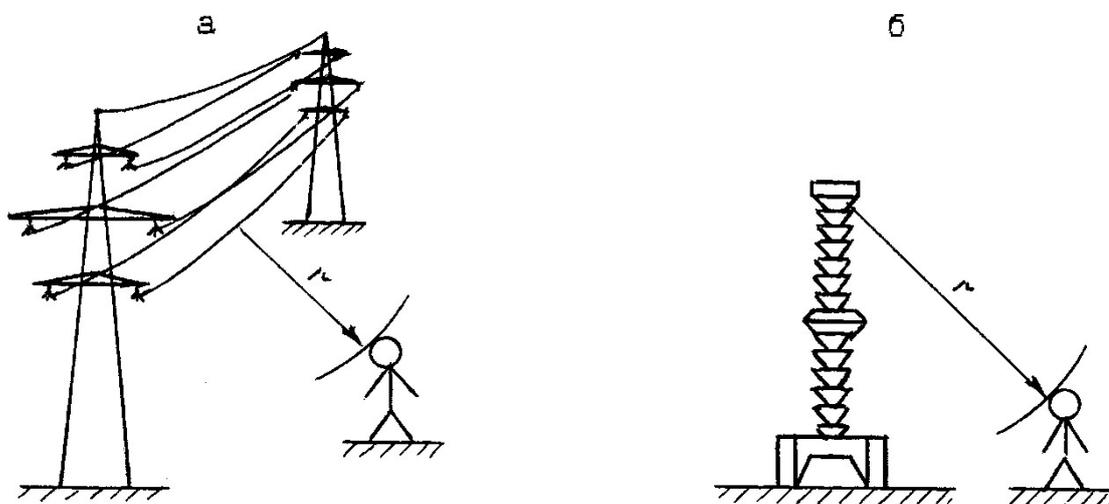
Длительное воздействие ЭМП низкой частоты небольшой интенсивности приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.).

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает.

При 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/ и, если они не соответствуют, то применяются меры защиты.

Источниками ЭМП промышленной частоты (50 Гц) являются линии электропередач (ЛЭП) напряжением выше 330 кВ, высоковольтные открытые распределительные устройства (коммутационные аппараты, устройства защиты автоматики, измерительные приборы, соединительные шины).

Опасной зоной воздействия ЛЭП 500 кВ является пространство на расстоянии до 20 м от ближайших проводов, а у ЛЭП 750 кВ - до 30 м (рисунок 1).



а - ЛЭП; б - токоведущие части

Рисунок 3.1 – Опасные зоны воздействия электрического поля высоковольтных линий электропередач и аппаратов.

Напряженность электрического поля, создаваемого трехфазной воздушной линией электропередачи с горизонтальным расположением проводов (рисунок 3.1 а), определяется выражением

$$E = \frac{U \cdot k}{r \ln \left(1,26 \frac{B_{\text{пр}}}{r_{\text{пр.э}}} \right)}, \quad (3.1)$$

где E - напряженность электрического поля на расстоянии r от ближайшего провода ЛЭП, кВ/м;

U - эффективное значение фазного напряжения, кВ;

k - коэффициент, учитывающий высоту подвеса проводов $H_{\text{пр}}$, расстояние между фазными проводами $B_{\text{пр}}$ и расстояние от проводов до исследуемой точки r ($k=0,8...1$);

r - кратчайшее расстояние от провода до точки, в которой определяется напряженность, м.

$B_{\text{пр}}$ - расстояние между фазными проводами, м; $r_{\text{пр.э}}$ - эквивалентный радиус провода, м;

При расщепленных фазах, состоящих каждая из n проводов, эквивалентный радиус провода $r_{\text{пр.э}}$ вычисляется по формуле:

$$r_{\text{пр.э}} = P \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \alpha_p^{n-1}}, \quad (3.2)$$

где P - поправочный коэффициент ($P = 1$ при $n \leq 3$, $P = 1,09$ при $n = 4$);
 n - число проводов в фазе;
 $r_{\text{пр}}$ - радиус провода, м;
 α_p - расстояние между проводами одной фазы (шаг расщепления), м.

Например, при $U = 500$ кВ, $V_{\text{пр}} = 10$ м, $r_{\text{пр}} = 15$ мм на расстоянии $r = 20$ м, напряженность электрического поля:

$$E = \frac{500 \cdot 1}{20 \ln \left(1,26 \frac{10}{0,015} \right)} = 3,7 \text{ кВ/м.}$$

Если расщепленная фаза (3 провода диаметром 10 мм на расстоянии 40 см), то

$$r_{\text{пр.э}} = \sqrt[3]{0,01 \cdot 0,4^2} = 0,117 \text{ м; } E = 5,34 \text{ кВ/м.}$$

Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле (ЭП) промышленной частоты 50 Гц, принята напряженность этого поля. Нормы установлены ГОСТ 12.1.002-84.

Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня.

При напряженности ЭП свыше 5 до 20 кВ/м включительно нормируется время пребывания людей в электрическом поле. Допустимое время T вычисляется по формуле [1, с. 1]:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (3.3)$$

где T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

E - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Например: $E = 10$ кВ/м, $T = 50 / 10 - 2 = 3$ ч.

При напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должна превышать 10 мин.

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м. Даже кратковременное пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одновременно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность ЭП не должна превышать 5 кВ/м.

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП время пребывания вычисляется по формуле:

$$T_{\text{пр}} = 8 \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right), \quad (3.4)$$

где $T_{\text{пр}}$ – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности, ч;
 $t_{E1} \dots t_{En}$ - время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью $E_1 \dots E_n$;

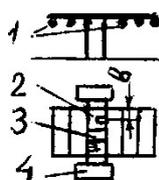
$T_{E1} \dots T_{En}$ - допустимое время пребывания в ЭП для соответствующих контролируемых зон, ч.

Приведенное время не должно превышать 8 ч.

Для защиты от электрических полей промышленной частоты необходимо увеличить высоту подвеса фазных проводов ЛЭП.

Для защиты работающих на открытых распределительных устройствах (ОРУ) и воздушных линиях электропередачи напряжением 330-750 кВ от электрических полей промышленной частоты используются экраны по ГОСТ 12.4.154-85 [3]. В зависимости от назначения установлены типы экранирующих устройств, указанных в таблице 1.

Таблица 3.1 - Экранирующие устройства для защиты работающих на открытых распределительных устройствах и воздушных линиях электропередачи напряжением 330 - 750 кВ

Обозначение	Зона экранирования	Схемы, основные параметры
ЭМ Экран межячейковый	Рабочие места у выключателя и выключателя-отключателя	
ЭР Экран навес у разъединителя	Рабочие места у приводов разъединителей типа РНДЗ-330, РНДЗ-500	 <p> $H=2-2,5\text{ м}$ $B \geq 500\text{ мм}$ </p> <p>1 - портал; 2 - привод ПРН; 3 - привод ПДН; 4 - рама</p>
ЭД Экран-навес	Участки маршрута обхода	

над пешеход. дорожками			1 - конструкция; 2 - канат; $H = 2,8 - 3 \text{ м}$, $B = 2 \text{ м}$
ЭК Экран-козырек шкафов	Рабочие места у приводов и отдельно стоящих шкафов различного назначения		1 - стойка; 2 - привод; 3 - решетка; $H = 2,3 - 2,5 \text{ м}$
ЭП Экран переносной (без подъема)	Рабочие места, находящиеся вне зоны действия экранов		1 - заземл. пр. 2 - рама; 3 - навес. бок. 4 - навес гор.
ЭС Экран съемный для люлек подъемн.	То же, при обслуживании оборудования с применением подъемников		1 - экран осн.; 2 - экран доп.; 3 - стрела; 4 - люлька

Экран выполняются в виде стальных канатов, металлических решеток или сеток, закрепленных на раме из уголковой стали. Диаметр канатов и прутков должен быть не менее 6 мм, расстояние между канатами должно составлять 500 мм, ячейки сетки экранов должны быть не более 50 × 50 мм.

Экраны должны быть заземлены путем присоединения к заземляющему устройству или заземленному объекту.

В качестве индивидуальных средств защиты от воздействия электрических полей промышленной частоты открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий электропередачи применяются индивидуальные экранирующие комплекты Эп-1, Эп-2, Эп-3 и Эп-4 (спецодежда, спецобувь, средства защиты рук, лица) по ГОСТ 12.4.172-87 [4].

Примеры расчетов

Пример 1. Определить какое время в смену допускается находиться персоналу в зоне воздействия электрического поля (ЭП) без применения средств защиты. Источником ЭП является высоковольтная линия электропередачи напряжением 500 кВ частотой 50 Гц. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними $B_{np} = 10,5$

м; фазы – расщепленные, состоящие из трех проводов АСО-500 радиусом $r_{\text{пр}} = 15,1$ мм с шагом расщепления $\alpha_p = 40$ см.

Высота подвеса проводов на опорах $H_{\text{пр}} = 22$ м, габарит линии (наименьшее расстояние до земли) $H_0 = 8,65$ м. На расстоянии 10 м (по прямой линии) от ближайшего из проводов ЛЭП необходимо выполнить работу.

Решение проводится в следующем порядке.

По формулам (3.2) и (3.1) вычисляются эквивалентный радиус провода $r_{\text{пр.э}}$ и напряженность электрического поля E на расстоянии 10 м от ближайшего провода ЛЭП:

$$r_{\text{пр.э}} = P^n \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \alpha_p^{n-1}} = 1 \cdot \sqrt[3]{0,0151 \cdot 0,4^2} = 0,134 \text{ м},$$

$$E = \frac{U \cdot k}{r \ln \left(1,26 \frac{B_{\text{пр}}}{r_{\text{пр.э}}} \right)} = \frac{500 \cdot 1}{10 \cdot \ln \left(1,26 \frac{10,5}{0,134} \right)} = 10,9 \text{ кВ/м}.$$

Так как напряженность электрического поля составляет 10,9 кВ/м, то допустимое время пребывания персонала определяется по формуле (3.3):

$$T = \frac{50}{E} - 2 = \frac{50}{10,9} - 2 = 2,6 \text{ ч},$$

то есть работа персонала без средств защиты на расстоянии 10 м от ЛЭП-500 должна проводиться не более 2 часов 35 минут.

Пример 2. Персонал, обслуживающий высоковольтные установки промышленной частоты, в течение рабочего дня находится в зонах с различной напряженностью электрического поля:

0,2 ч при $E_1 = 18$ кВ/м, 0,5 ч при $E_2 = 10$ кВ/м,

3,5 ч при $E_3 = 6$ кВ/м и 2,8 ч при $E_4 = 4$ кВ/м.

Определить, можно ли выполнять эти работы персоналом без средств защиты?

Решение проводим в следующем порядке.

По формуле (3.3) вычисляем допустимое время пребывания людей в зонах с напряженностью $E_1 \dots E_4$:

$$T = \frac{50}{E_1} - 2 = \frac{50}{18} - 2 = 0,8 \text{ ч},$$

аналогично $T_{E_2} = 3$ ч, $T_{E_3} = 6,3$ ч.

Время нахождения в зоне, где $E_4 = 4$ кВ/м не рассчитывается, так как допускается в остальное рабочее время напряженность электрического поля не более 5 кВ/м.

По формуле (3.4) вычисляется приведенное время, эквивалентное пребыванию людей в ЭП напряженностью 5 кВ/м:

$$T_{пр} = 8 \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \frac{t_{E3}}{T_{E3}} \right) = 8 \left(\frac{0,2}{0,8} + \frac{0,5}{3} + \frac{3,5}{6,3} \right) = 7,8 \text{ ч.}$$

Приведенное время $T_{пр}$ меньше 8 ч, поэтому персоналу допускается выполнение работы без средств защиты.

Варианты заданий:

Задача 1. При обслуживании распределительной станции напряжением 500 кВ обслуживающий персонал подвергается воздействию электромагнитного поля промышленной частоты. Значения напряженности ЭМП в зонах А, Б и В (соответственно E_A , E_B и E_V) приведены в таблице. Время нахождения людей в этих зонах t_A , t_B и t_V также приведены в таблице. Требуется рассчитать допустимое время нахождения людей в этих зонах (T_A , T_B , T_V), определить возможность выполнения одним человеком последовательно нескольких работ в зонах А, Б и В в течение времени t_A , t_B и t_V .

Значения напряженности электрического поля в зонах А, Б и В и время нахождения людей в этих зонах.

Наименование параметров	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
E_A , кВ/м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_B , кВ/м	0,5	1	1	2	2	3	3	4	4	5
E_V , кВ/м	25	22	20	151	5	10	15	20	22	25
t_A , ч	0,5	1	1,5	2	2,5	3	2,5	2	1,5	1
t_B , ч	2	3	4	1	1	2	3	1	1	2
t_V , ч	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	1	0,5	0,1	0,2

Задача 2. Определить напряженность электрического поля от высоковольтной линии электропередачи и сравнить с нормативным значением. Сделать вывод. Исходные данные для расчета приведены в таблице.

Номер варианта	Фазное напряжение U , кВ	Расстояние между фазными проводами g , м	Радиус провода $r_{\text{пр}}$, м	Расстояние между проводами одной фазы α_p , м	Расстояние от провода до человека g , м
1	500	10	12	0,4	10
2	330	6	6	0,2	8
3	750	12	16	0,5	15
4	500	8	14	0,3	12
5	330	6	8	0,3	10
6	750	15	16	0,6	10
7	500	10	10	0,3	8
8	500	12	12	0,5	6
9	750	16	12	0,5	13
0	330	8	8	0,2	5

Практическая работа № 4. Расчет экрана индуктора высокочастотной установки для нагрева металла.

Теоретическая часть.

Промышленными источниками электромагнитных полей являются высокочастотные установки для нагрева материалов.

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

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (4.1)$$

где λ - длина волны, м;

v - скорость распространения колебаний, м/с;

f - частота колебаний, Гц.

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 отдельно напряженностью электрической E (В/м) и магнитной H (А/м) составляющих поля.

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 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 12.1.006-84 и если они не соответствуют, то применяются меры защиты.

Источниками ЭМП высокой частоты (ВЧ) и ультравысокой частоты (УВЧ) на машиностроительных предприятиях являются плавно-закалочные и сушильные установки. Для индукционного нагрева металла применяются установки (рисунок 4.1, а), состоящие из трансформатора, выпрямителя, генератора и индуктора. Для нагрева неметаллических материалов (например, древесины) вместо индукционной катушки используется конденсатор (рисунок 4.1, б). Источниками излучений является

индуктор или конденсатор, а также генератор и линия передачи от генератора к индуктору или конденсатору.

Рабочие места по обслуживанию нагревательных установок обычно находятся в ближней зоне воздействия ЭМП, где соотношение напряженностей электрической E и магнитной составляющей H зависит от вида источника излучения (конденсатор или индуктор).

Напряженность магнитной составляющей поля (от индуктора) рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{\omega \cdot I \cdot R_{\text{инд}}^2}{4 \cdot r^2} \beta, \quad (4.2)$$

где H - напряженность магнитной составляющей ЭМП на расстоянии r от установки, А/м;

ω - число витков катушки (индуктора);

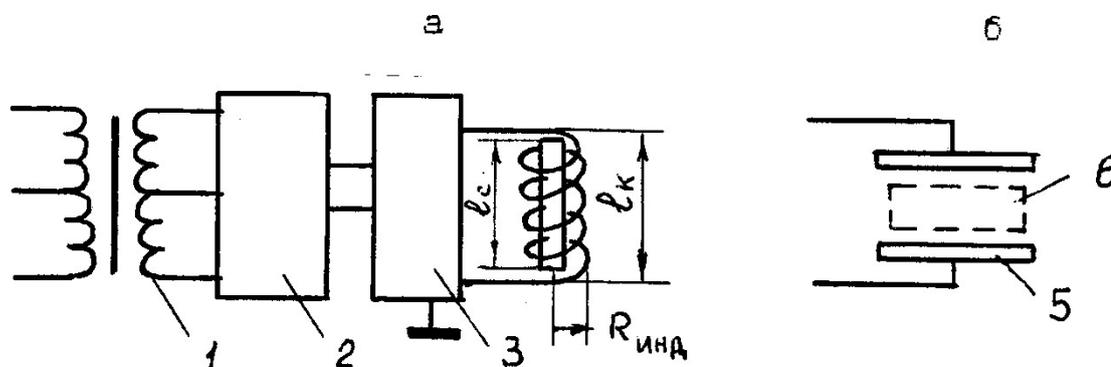
I - сила тока в катушке, А;

$R_{\text{инд}}$ - радиус катушки индуктора, м;

r - расстояние от катушки до рабочего места, м;

β - коэффициент, зависящий от отношения $r/R_{\text{инд}}$ и $l_k/R_{\text{инд}}$, (определяется по кривой рисунок 2.2, при отношении $r/R_{\text{инд}}$ больше 10 коэффициент $\beta = 1$);

l_k - высота (длина) катушки индуктора, м.



1 - трансформатор; 2 - выпрямитель; 3 - генератор; 4 - индуктор;
 5 - конденсатор; 6 - изделие

Рисунок 4.1 - Схема генератора для нагрева металла (а) и нагрева неметаллических материалов (б)

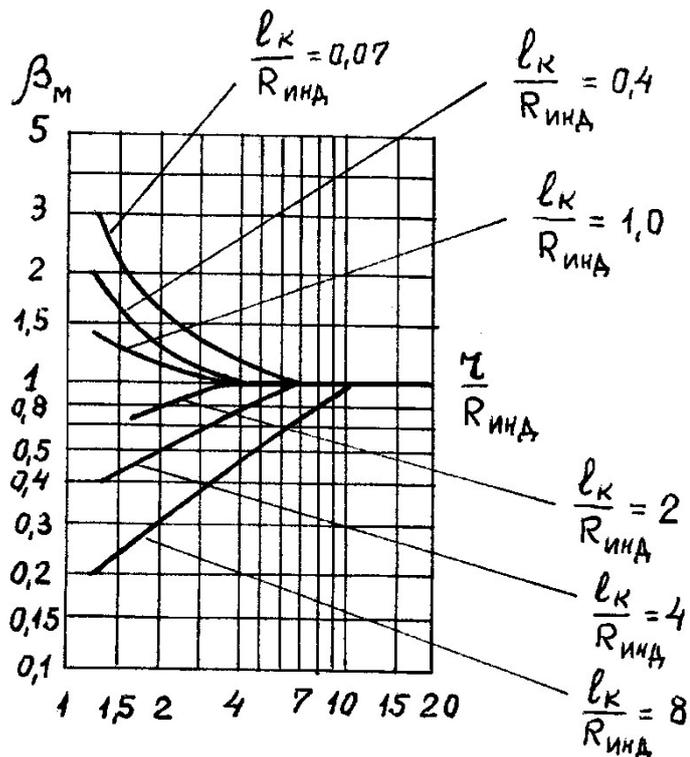


Рисунок 4.2 – Графики для определения коэффициента β

Напряженность электрической составляющей ЭМП от конденсатора можно рассчитать по формуле:

$$E = \frac{U \cdot S \cdot k}{2\pi \cdot d \cdot r^2}, \quad (4.3)$$

где S - площадь пластин конденсатора, m^2 ;

k - коэффициент, зависящий от материала, расположенного между пластинами;

d - расстояние между пластинами конденсатора, m ;

r - расстояние от конденсатора до точки, где определяется напряженность, m .

По ГОСТ 12.1.006-84 [1] в диапазоне частот 60 кГц...300 МГц нормируется напряженность электрической и магнитной составляющих ЭМП, а также энергетическая нагрузка на человека:

$$\mathcal{E}_E = E^2 \cdot T, \quad (4.4)$$

$$\mathcal{E}_H = H^2 \cdot T, \quad (4.5)$$

где \mathcal{E}_E - энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, $(V/m)^2 \cdot ч$;

\mathcal{E}_H - энергетическая нагрузка, создаваемая магнитным полем, $(A/m)^2 \cdot ч$;

T - время воздействия на человека, $ч$.

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

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{ЕПД}}}{T}}, \quad (4.6)$$

$$H_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{НПД}}}{T}}, \quad (4.7)$$

где $E_{\text{ПД}}$ и $H_{\text{ПД}}$ - предельно допустимые значения напряженности электрического, В/м, и магнитного, А/м, полей;

$\mathcal{E}_{\text{ЕПД}}$ и $\mathcal{E}_{\text{НПД}}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ и $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$.

Таблица 4.1 – Значения $E_{\text{ПД}}$, $H_{\text{ПД}}$, $\mathcal{E}_{\text{ЕПД}}$ и $\mathcal{E}_{\text{НПД}}$

Параметр	Предельные значения в диапазоне, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	св. 30 до 300
$E_{\text{ПД}}$, В/м	500	300	80
$H_{\text{ПД}}$, А/м	50	-	-
$\mathcal{E}_{\text{ЕПД}}$, $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\mathcal{E}_{\text{НПД}}$, $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	-	-

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

$$\frac{\mathcal{E}_{\text{Е}}}{\mathcal{E}_{\text{ЕПД}}} + \frac{\mathcal{E}_{\text{Н}}}{\mathcal{E}_{\text{НПД}}} \leq 1. \quad (4.8)$$

Пример 1. При частоте ЭМП 100 кГц измеренное значение напряженности электрического поля $E = 50$ В/м, время воздействия 8 ч.

Энергетическая нагрузка

$$\mathcal{E}_{\text{Е}} = E^2 \cdot T = 50^2 \cdot 8 = 20\,000 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right)^2 \cdot \text{ч},$$

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

Пример 2. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность магнитного поля $H = 50$ А/м. Возможное время нахождения людей в этой зоне без средств защиты

$$T = \frac{\mathcal{E}_{H_{\text{пд}}}}{H^2} = \frac{200}{50^2} = 0,08 \text{ ч} = 4,8 \text{ мин}$$

т.е. время меньше 5 мин. Поэтому $H_{\text{пд}} = 50$ А/м, и если H будет выше $H_{\text{пд}}$, то запрещается даже кратковременное пребывание людей в этой зоне без средств защиты.

Пример 3. 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:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_E &= 50^2 \cdot 4 = 10\,000 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right)^2 \cdot \text{ч}, \\ \mathcal{E}_E &= 50^2 \cdot 4 = 10\,000 (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}, \\ \mathcal{E}_H &= 5^2 \cdot 4 = 100 (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

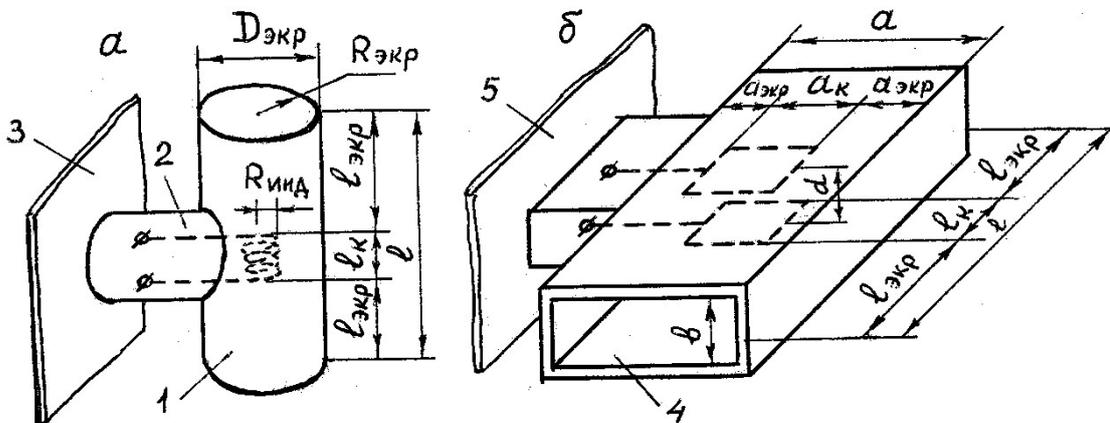
условие

$$\frac{\mathcal{E}_E}{\mathcal{E}_{E_{\text{пд}}}} + \frac{\mathcal{E}_H}{\mathcal{E}_{H_{\text{пд}}}} = \frac{10000}{20000} + \frac{100}{200} = 1,$$

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

Защита от воздействия электромагнитных полей индуктора и конденсатора

Для защиты обслуживающего персонала от электромагнитных полей индукторов и конденсаторов их экранируют. Форма экрана должна удовлетворять конструктивным и эксплуатационным требованиям. Экраны применяются сплошные с вентиляционными и смотровыми окнами, а также в форме цилиндра или прямоугольного параллелепипеда (рисунок 4.3).



1 - цилиндрический экран; 2 - патрубок; 3 - кожух-экран установки; 4 -

коробчатый экран; 5 - экран установки

Рисунок 4.3 - Экранирование индуктора (а) и конденсатора (б)

Для плавильной печи экран может иметь вид колпака, который ставится на металлическое заземленное основание, подведенное под печь, так что между колпаком и основанием создается хороший электрический контакт и они создают замкнутый экран. Такой экран практически не пропускает электромагнитное излучение. В верхней части колпака вмонтирован вытяжной зонт. Для обеспечения свободного доступа к печи при ее загрузке, выгрузке или ремонте над печью установлен специальный механизм для подъема колпака на высоту до 2 м. Подъем кожуха заблокирован с отключением печи от источника питания.

Если возникает необходимость расчета защитного экрана, имеющего щели или окна, то расчет следует проводить по методике, изложенной в разделе.

При массовом производстве каких либо деталей устраивается конвейерная подача заготовок в нагревательный индуктор.

Конвейер позволяет направлять заготовки в гнезда на значительном расстоянии от индуктора, где напряженность электромагнитного поля меньше. Экран такого индуктора обычно представляет собой полый цилиндр (расположенный вертикально или горизонтально) и патрубок, закрепленный на кожухе экрана установки (см. рисунок 4.3, а). Экран изготавливают из листовой стали, алюминия или меди, толщиной не менее 0,8 мм.

Так как экран имеет большие размеры отверстий, то повышение эффективности экранирования получается за счет увеличения длины экрана $l_{\text{экр}}$ (см. рисунок 4.3, а). Расчет экрана такой конструкции приведен в разделе.

Следует отметить, что индуктор создает наиболее мощное излучение, когда в него не введена (как сердечник в индукционную катушку) обрабатываемая заготовка. После введения заготовки в индуктор внешнее излучение резко уменьшается. Поэтому целесообразно установку автоматически включать только после введения заготовки в индуктор.

При диэлектрическом нагреве рабочие конденсаторы, как правило, помещаются в специальных камерах, которые следует экранировать. Если же рабочий конденсатор должен находиться в помещении открыто, его можно экранировать аналогично нагревательному индуктору - прямоугольной полый трубой из тех же материалов (см. рисунок 4.3, б).

Эффект защиты от электромагнитных полей при диэлектрическом нагреве будет значителен, если применить pedalное включение конденсатора или конвейерную подачу обрабатываемых заготовок в зону нагрева.

Практическая часть

Методика расчета экрана индуктора состоит в следующем. Вначале вычисляется напряженность магнитной составляющей поля H от индуктора по формуле (4.2). Сравнивается полученное значение H с допустимым значением H_d по ГОСТ 12.1.006-84. Определяется требуемая эффективность экранирования:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{H}{H_d}, \quad (4.9)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ - требуемая эффективность экранирования;

H - действующее значение напряженности магнитной составляющей поля, А/м;

H_d - допустимый уровень напряженности магнитной составляющей поля, А/м.

Проектирование экрана проводится с учетом обеспечения доступа к нагревательной установке, возможности механизации процесса загрузки и т.д., а также с учетом минимальной потери энергии в экране.

Радиус цилиндрического замкнутого экрана $R_{\text{экр}}$ нагревательной установки для закалки металлов при условии, что потери в нем не превышают 1 % мощности генератора, определяются по формуле:

$$R_{\text{экр}} \geq 6,4 R_{\text{инд}} \sqrt[3]{\frac{\omega^2 I^2 \rho R_{\text{инд}}}{\delta P l_k}}, \quad (4.10)$$

где $R_{\text{инд}}$ – радиус катушки индуктора, м;

ω – число витков катушки;

I – сила тока в катушке, А;

ρ - удельное сопротивление материала экрана (таблица 4.2), Ом · м;

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

P - мощность генератора, Вт;

l_k - длина катушки, м.

Глубина проникновения электрического поля

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f_M}} = 0,03 \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho}{\mu}}, \quad (4.11)$$

где μ - относительная магнитная проницаемость материала экрана (таблица 2.2);

f_M – частота колебаний электромагнитного излучения, МГц;

λ - длина волны ЭМП, м.

Таблица 4.2 – 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

Проверяется значение $R_{\text{экр}}$ по условию, что расстояние между витками индуктора и стенками цилиндра должна быть не менее радиуса индуктора, то есть

$$R_{\text{экр}} \geq 2R_{\text{инд}}, \quad (4.12)$$

где $R_{\text{инд}}$ - радиус витков индуктора (рисунок 2.3), м.

Высота экрана определяется из формулы эффективности экранирования [6, с. 95]:

$$\mathcal{E}_{\text{экр}} = \exp\left(\frac{3,6 \cdot l_{\text{экр}}}{D_{\text{экр}}}\right), \quad (4.13)$$

только в место $\mathcal{E}_{\text{экр}}$ подставляется $\mathcal{E}_{\text{тр}}$,

$$l_{\text{экр}} = \frac{D_{\text{экр}}}{3,6} \ln \mathcal{E}_{\text{тр}}, \quad (4.14)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экр}}$ - эффективность экранирования, т.е. величина, показывающая во сколько раз напряженность поля в данном месте уменьшилась в результате экранирования;

$l_{\text{экр}}$ - расстояние по оси индуктора от его крайних витков до краев цилиндра экрана, м;

$D_{\text{экр}}$ - диаметр цилиндра экрана, м.

Если в результате расчета стального экрана его габариты получаются большими, то целесообразно применить алюминий или медь.

На эффективность экрана не влияет его толщина, т.к. для экранирования достаточно очень тонкого слоя металла. Поэтому толщина экрана принимается из условия прочности равной 0,8...2 мм.

В результате расчета размеров экрана его эффективность должна быть больше требуемого значения, т.е.

$$\mathcal{E}_{\text{экр}} \geq \mathcal{E}_{\text{тр}}. \quad (4.15)$$

Пример. Рассчитать экран плавильной печи установки ЛП-37: радиус печи (катушки индуктора) $R_{\text{инд}} = 0,13$ м, высота печи (катушки) $l_{\text{к}} = 0,35$ м, мощность плавильной печи $P = 60$ кВт, число витков катушки индуктора $n=25$, сила тока в катушке $I = 260$ А, частота $f = 70$ кГц, радиус сердечника (нагреваемого материала) $R_{\text{с}} = 0,09$ м, высота сердечника (длина) $l_{\text{с}} = 0,35$ м,

расстояние от оси катушки до рабочего места $r = 0,8$ м.

Решение проводим в следующем порядке.

По формуле (4.2) вычисляем значение магнитной составляющей напряженности поля на рабочем месте, когда индуктор без экрана

$$H = \frac{\omega \cdot I \cdot R_{\text{инд}}^2}{4 \cdot r^2} \beta = \frac{25 \cdot 260 \cdot 0,13^2}{4 \cdot 0,8^2} \cdot 1 = 42,9 \text{ А/м},$$

где β выбрано по графику (рисунок 2) по значениям

$$\frac{r}{R_{\text{инд}}} = \frac{0,8}{0,13} = 8 \quad \text{и} \quad \frac{l_k}{R_{\text{инд}}} = \frac{0,35}{0,13} = 2,7, \quad \beta = 1.$$

По ГОСТ 12.1.006-84 в диапазоне частот 60 кГц...3 МГц предельно допустимая энергетическая нагрузка в течение рабочего дня $\mathcal{E}_{\text{НПД}}$ составляет $200 \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч}$, т.е. допустимая напряженность магнитного поля

$$H_{\text{д}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{НПД}}}{T}} = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 \text{ А/м}.$$

Для снижения напряженности ЭМП необходимо применять экран.

Требуемая эффективность экранирования

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{H}{H_{\text{д}}} = \frac{42,9}{9} = 8,6.$$

Проверим возможность применения стального цилиндрического экрана (рисунок 4.3, а). Диаметр экрана выбираем из условия, что ослабление магнитного поля в печи (в индукторе с сердечником) не будет больше 1%, то есть по формуле (4.10):

$$R_{\text{экр}} = 6,4 R_{\text{инд}} \sqrt[3]{\frac{\omega^2 I^2 \rho R_{\text{инд}}}{\delta \cdot P \cdot l_k}},$$

где δ вычисляется по формуле (11)

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

$$R_{\text{экр}} = 6,4 \cdot 0,13 \sqrt{\frac{25^2 \cdot 260^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} \cdot 0,13}{0,062 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,35}} = 0,72 \text{ м}.$$

Полученный радиус экрана из стали очень большой, поэтому

применим экран из алюминия.

Для алюминиевого экрана глубина проникновения ЭМП составляет

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{0,28 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$R_{\text{экp}} = 6,4 \cdot 0,13 \sqrt{\frac{25^2 \cdot 260^2 \cdot 0,28 \cdot 10^{-7} \cdot 0,13}{0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,35}} = 0,24 \text{ м.}$$

Проверяем $R_{\text{экp}}$ по формуле (4.15)

$$R_{\text{экp}} \geq 2R_{\text{инд}}, \\ 0,24 < 2 \cdot 0,13,$$

поэтому принимаем

$$R_{\text{экp}} = 2 \cdot R_{\text{инд}} = 2 \cdot 0,13 = 0,26 \text{ м.}$$

Высоту экрана $l_{\text{экp}}$ вычисляем из формулы (14), где $\mathcal{E}_{\text{экp}}$ принимаем равной $\mathcal{E}_{\text{тр}}$:

$$l_{\text{экp}} = \frac{D_{\text{экp}}}{3,6} \ln \mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{0,52}{3,6} \ln 8,6 = 0,31 \text{ м.}$$

Общая длина экрана

$$l = l_{\text{к}} + 2 \cdot l_{\text{экp}} = 0,35 + 2 \cdot 0,31 = 0,97 \text{ м.}$$

Округляем полученные размеры $D_{\text{экp}} = 0,5 \text{ м}$, $l = 1 \text{ м}$, тогда $l_{\text{экp}} = 0,325 \text{ м}$.

Проверяем эффективность экрана по формуле (2.12)

$$\mathcal{E}_{\text{экp}} = \exp\left(\frac{3,6 \cdot l_{\text{экp}}}{D_{\text{экp}}}\right) = \exp\left(\frac{3,6 \cdot 0,325}{0,5}\right) = 10,4,$$

что больше $\mathcal{E}_{\text{тр}}$.

Таким образом принимаем алюминиевый цилиндрический экран диаметром 50 см и общей длиной 1 м. Толщину экрана принимаем из условия прочности равной 1 мм.

Варианты заданий

Рассчитать экран высокочастотной плавильной печи. Параметры индуктора и расстояние до рабочего места даны в таблице. В задаче приняты следующие обозначения:

$R_{\text{инд}}$ - радиус катушки индуктора печи, м;

$l_{\text{к}}$ - длина катушки индуктора, м;

P - мощность плавильной печи, кВт;

ω - число витков катушки индуктора;

I - сила тока в катушке, А;

f - частота тока, кГц;

r - расстояние от оси катушки до рабочего места, м.

Таблица 4.3– Исходные данные для задачи.

Вариант	Параметры индуктора плавильной печи						Расстояние до рабочего места r , м
	$R_{\text{инд}}$, м	l_k , м	ω	I , А	f , кГц	P , кВт	
1	0,1	0,15	20	150	150	60	0,6
2	0,2	0,3	40	200	100	60	1,3
3	0,3	0,4	60	300	60	100	2,0
4	0,2	0,4	50	300	150	70	1,5
5	0,1	0,3	25	250	70	60	0,8
6	0,1	0,2	20	150	200	40	0,8
7	0,2	0,2	25	100	400	60	0,6
8	0,2	0,4	30	250	30	70	1,5
9	0,3	0,3	50	350	350	100	2,0
0	0,2	0,3	45	200	50	60	1,3

Практическая работа № 5.

Защита персонала от воздействия электромагнитных полей радиочастот.

Теоретическая часть.

Электромагнитные поля радиочастот делятся на три диапазона:

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

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

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).

Наиболее опасны источники сверхвысоких частот, так как они обладают высокой проникающей способностью. Воздействие электромагнитных полей СВЧ оценивается плотностью потока энергии

$$\vec{P} = \vec{E} \cdot \vec{H},$$

где P - плотность потока энергии, Вт/м²;

E - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м;

H - напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м.

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает. При воздействии ЭМП СВЧ наступает нагрев тканей у человека. 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).

Рабочие места по обслуживанию радиотехнических и электронных устройств ВЧ и УВЧ 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 и воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии.

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

$$\Pi = \frac{P_{\text{инд}}}{4\pi \cdot r^2}, \quad (5.1)$$

где Π - плотность потока энергии ЭМП, Вт/м²;

$P_{\text{и}}$ - мощность излучения от источника, Вт;

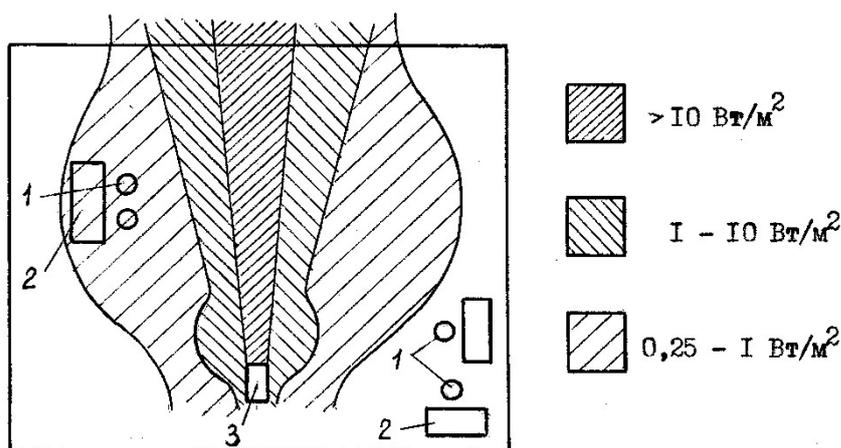
r - расстояние до источника излучения, м.

Если излучение имеет направленный характер, тогда формула принимает вид

$$\Pi = \frac{P_{\text{инд}} K_{\text{Н}}}{4\pi \cdot r^2}, \quad (5.2)$$

где $k_{\text{н}}$ - 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 (рисунок 1).



1 - рабочее место; 2 - стол (стенд); 3 – РЛС

Рисунок 5.1 – Зоны излучения РЛС в помещении

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 $E_{пд}$, $H_{пд}$, $\mathcal{E}_{пд}$ и $\mathcal{E}_{нпд}$ приведены в настоящем сборнике в таблице 1 практической работы № 4.

В диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц (СВЧ) по ГОСТ 12.1.006-84 нормируется плотность потока энергии $P_{пд}$ и энергетическая нагрузка на человека за рабочий день $\mathcal{E}_{пд}$.

Значение плотности потока энергии не должна превышать 10 Вт/м^2 , даже при кратковременном нахождении людей в этой зоне, т.е. при P больше 10 Вт/м^2 нахождение людей без средств защиты запрещается.

Если плотность потока энергии P менее 10 Вт/м^2 можно рассчитать допустимое время нахождения людей в этой зоне (или, при известном времени, рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии):

$$T_{пд} = \frac{\mathcal{E}_{пд}}{P} \quad \text{при } P \leq 10 \text{ Вт/м}^2, \quad (5.3)$$

$$P_{пд} = \frac{\mathcal{E}_{пд}}{T} \quad \text{при } P_{пд} \leq 10 \text{ Вт/м}^2, \quad (5.4)$$

Где $T_{пд}$ – предельно допустимое время пребывания людей в зоне электромагнитного поля, ч;

$\mathcal{E}_{пд}$ - нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день, $\text{Вт} \cdot \text{ч/м}^2$;

P - значение плотности потока энергии в зоне нахождения людей, Вт/м^2 ;

$P_{пд}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м^2 ;

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

Энергетическая нагрузка \mathcal{E} представляет собой суммарный поток энергии P , проходящий через единицу облучаемой поверхности за время действия T , и выражается произведением

$$\mathcal{E} = P \cdot T \quad (5.5)$$

Нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день принимается равной:

$\mathcal{E}_{пд} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$ - для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

$\mathcal{E}_{пд} = 20 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$ - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скваженностью не менее 50.

Примеры заданий:

Пример 1. Источником ЭМП частотой 100 ГГц является антенна, вращающаяся с периодом 5 об/мин. На рабочем месте оператора плотность потока энергии составляет 4 Вт/м^2 . 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 $20 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$. По формуле (5.3)

$$T_{\text{ПД}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ПД}}}{P} = \frac{20}{4} = 5 \text{ ч.}$$

т.е. допустимое время $T_{\text{ПД}}$ не более 5 ч.

Пример 2. 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 $\mathcal{E}_{\text{ПД}} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$.

По формуле (9)

$$P_{\text{ПД}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ПД}}}{T} = \frac{2}{8} = 0,25 \text{ Вт/м}^2.$$

Проверяем $P_{\text{ПД}} = 0,25 \text{ Вт/м}^2 < 10 \text{ Вт/м}^2$.

Таким образом предельно допустимое значение $P_{\text{ПД}}$ равно $0,25 \text{ Вт/м}^2$.

Из примера видно, что для наихудших условий и работе в течение всего рабочего дня предельно допустимое значение плотности потока энергии от источника СВЧ составляет $0,25 \text{ Вт/м}^2$.

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 5.2, б) или в виде сотовых конструкций (рисунок 5.2, в). Патрубки и отрезки труб (рисунок 5.2, 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 (5.1) или (5.2), 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...20 дБ (таблица 5.2).

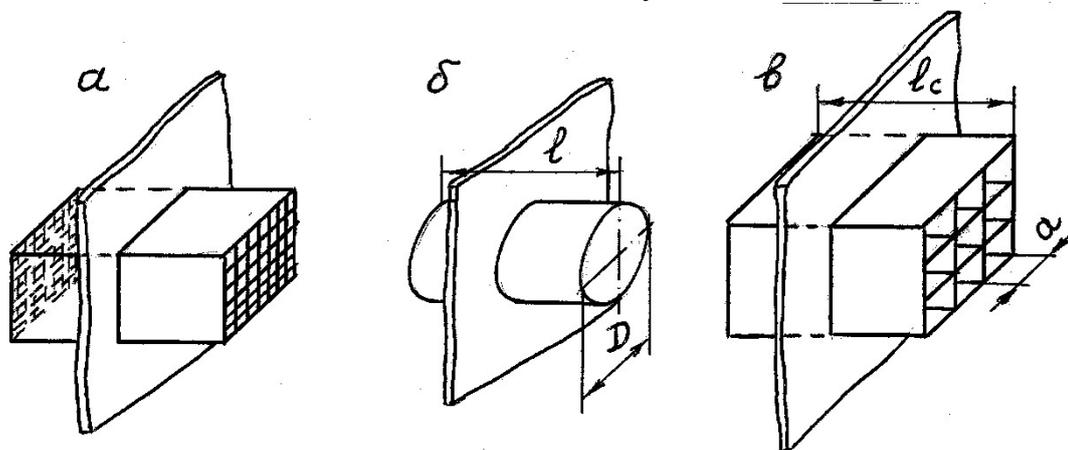
Лесонасаждения, расположенные в непосредственной близости от источников излучения, ослабляют ЭМП на 3...10 дБ.

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 заградительного 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
Рисунок 5.2 – Конструкции вентиляционных и смотровых отверстий и экранов

Таблица 5.2 – 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

Варианты заданий

Источником излучения ЭМП является генератор радиоло-кационной станции. Мощность генератора, частота излучения ЭМП, общие размеры экрана и его конструктивных элементов, размеры помещения, время работы персонала даны в таблице. Генератор установлен в центре помещения. Рабочее место оператора выбрать самостоятельно, где плотность потока ЭМП имеет минимальное значение (см. рисунок 5.1). 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;

$l_э, b_э, h_э$ - размеры экрана (длина, ширина, высота), м;

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

D - диаметр вентиляционных и технологических отверстий, см;

$l_п, b_п, h_п$ - размеры помещения (длина, ширина, высота), м;

t - время работы персонала, ч.

Вариант	Мощность P , кВт	Частота f , ГГц	Размеры экрана $l_э, b_э, h_э$, м	Разм. щелей m , м	Диам. вент D , см	Размеры помещения $l_п, b_п, h_п$, м	Время работы t , ч
1	1,0	3000	1,0×0,4×0,3	1,5	2	10 · 8 · 4	4
2	0,4	300	0,8×0,6×0,4	1,0	5	15 · 10 · 5	8
3	1,6	30	0,6×0,4×0,5	2	10	18 · 14 · 6	3
4	0,8	3	0,8×0,4×0,5	5	40	20 · 12 · 6	2
5	1,0	0,3	1,5×1,0×0,8	2	50	24 · 14 · 4	8
6	1,2	0,03	1,2×0,8×0,6	1	80	16 · 12 · 6	6
7	1,4	300	1,2×0,6×0,8	3	60	18 · 10 · 6	3
8	1,6	30	1,2×0,6×0,8	4	50	15 · 10 · 4	2
9	1,8	3	1,5×1,2×1,0	2	40	20 · 12 · 5	6
10	2,0	0,3	2,0×1,4×0,8 2,0×1,2×1,0	1	60	20 · 14 · 5	2

Практическая работа № 6. **Защита персонала от действия ионизирующих излучений.**

Теоретическая часть.

Во многих областях практической деятельности людей применяются радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений.

При помощи радиоактивных изотопов проводится контроль качества изделий (рентгеновскими и гамма-дефектоскопами), управление технологическими операциями (радиоизотопными датчиками и измерителями), включение пожарной сигнализации (дымовыми извещателями) и т.д.

Кроме этого 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 МКв 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.

Ионизирующее излучение, радионуклиды, радиоактивный распад

Ионизирующее излучение - излучение, воздействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. Основными источниками ионизирующего излучения являются радионуклиды - разновидности атомов с данным массовым числом и атомным номером. Массовое число нуклида указывается вверху слева от символа химического элемента, например, нуклид стронция ^{90}Sr , нуклид цезия ^{137}Cs .

Один и тот же элемент может иметь разные массовые числа и разновидности этого элемента называются изотопами, например, ^{131}I и ^{133}I .

Радиоактивный распад сопровождается корпускулярным излучением (α -частиц, β -частиц, нейтронов и т.п.), или фотонным излучением (гамма или рентгеновским):

α -частицы являются ядрами атомов гелия, несущими положительный заряд. Они имеют незначительный пробег (в воздухе от 2 до 9 см, в биологических тканях - от 0.02 до 0.06 мм), но высокой степенью ионизации. При внешнем облучении α -частицы не представляют опасности, но при

попадании внутрь организма радиоактивных веществ в виде пыли они очень опасны;

β -частицы представляют собой поток электронов или позитронов, в воздухе они могут пройти до 40 м, а в биологической ткани - до 12 мм. Плотность ионизации атомов среды β - частицами в десятки раз меньше, чем при ионизации α -частицами;

γ - лучи это электромагнитное излучение с длиной волны приблизительно 10^{-12} м и частотой около 10^{20} Гц. Эти лучи обладают значительно меньшей, чем α - частицы, ионизирующей способностью, но высокой проникающей способностью (бетонные стены толщиной 5 см ослабляют γ - излучение в два раза);

рентгеновские лучи - это коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны от 10^{-7} до 10^{-12} м. Они, также как γ - лучи, обладают высокой проникающей способностью.

Активность радионуклидов

Активность радионуклидов A - это число самопроизвольных случайных распадов или число испускаемых частиц ΔN в единицу времени Δt :

$$A = \Delta N / \Delta t . \quad (6.1)$$

Единицей активности является Бк (беккерель), 1 Бк = 1 расп/с. Также единицей активности является Ки (кюри), 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Активность радионуклидов со временем уменьшается по экспоненциальному закону. Изменение активности описывается формулой

$$A_t = A_0 \exp(-0,693 t / T_{1/2}), \quad (6.2)$$

где A_t - активность радионуклида по прошествии времени t ;

A_0 - активность радионуклида в начальный период ($t = 0$);

t - время;

$T_{1/2}$ - период полураспада, т.е. время в течение которого распадается половина радиоактивных атомов.

Если $t = T_{1/2}$, то $A_t = A_0 / e^{0,693} = A_0 / 2$.

Период полураспада у некоторых радионуклидов составляет несколько суток, а у некоторых - годы (табл. 1.1).

Таблица 6.1 - Радиобиологические свойства радионуклидов

Нуклид	Эффективная энергия $E_{эф}$, МэВ расп	Гамма постоянная K_γ , $\frac{P \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКи}}$	Период полураспада $T_{1/2}$, сут	Критический орган	Доля нуклида, попадающая в рассматриваемый орган		Период полувыведения из организма $T_{В/2}$, сут
					При заглатывании $f_з$	При вдыхании $f_{вд}$	
^{60}Co	1,5	6,75	$1,9 \cdot 10^3$	Все тело. Печень	0,3 0,001	0,45 0,02	9,5 9,5

^{131}J	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	$1 \cdot 10^4$	0,25	100
				Кости	$0,1 \cdot 10^{-5}$	0,028	300
				Почки	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,028	15

Экспозиционная доза

Экспозиционная доза является качественной характеристикой фотонного излучения (рентгеновского и гамма-излучения), она определяется по ионизации воздуха, т.е. когда поглощенная энергия в некотором объеме воздуха равна суммарной кинетической энергии электронов и позитронов, образованных фотонным излучением в том же объеме.

Непосредственно измеряемой физической величиной при определении экспозиционной дозы -излучения является электрический заряд ионов одного знака, образованных в воздухе за время облучения:

$$D_{\text{эксп}} = Q / m, \quad (6.3)$$

где $D_{\text{эксп}}$ - экспозиционная доза, Кл/кг;

Q - полный заряд ионов одного знака, Кл;

m - масса объема воздуха, кг.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р),

$$1 \text{ Р} = 0,285 \text{ мКл/кг.}$$

Поглощенная доза

Поглощенная доза характеризует изменения, происходящие в облучаемом веществе (воздухе, воде, дереве, железе и т.д.).

Поглощенная доза - это энергия, передаваемая веществу массой m одну единицу:

$$D_{\text{погл}} = E / m, \quad (6.4)$$

где $D_{\text{погл}}$ - поглощенная доза, Дж/кг;

E - энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым веществом, Дж;

m - масса облучаемого вещества, кг.

В системе СИ поглощенная доза измеряется в Гр (грей):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

В практике часто используется специальная единица поглощенной дозы - рад. Один рад соответствует такой поглощенной дозе, при которой количество энергии, выделяемой одним граммом любого вещества, равно 0,01 Дж, т.е.

$$1\text{рад} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01\text{Гр.}$$

Поглощенная доза связана с экспозиционной дозой следующим соотношением:

$$D_{\text{погл}} = D_{\text{эксп}} \cdot K_1, \quad (6.5)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий вид облучаемого вещества (воздух, вода и т.п.), т.е. учитывающий отношение энергии, поглощенной данным веществом, к электрическому заряду ионов, образованных в воздухе такой же массы.

При экспозиционной дозе в 1 Р энергия γ -излучения, расходуемая на ионизацию 1 г воздуха, равна 0,87 рад, т.е. для воздуха

$$K_1 = 0,87 \text{ рад/Р} = 0,87 \cdot 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,87 \cdot 0,01 \text{ Гр/Р.}$$

Поскольку ткани организма имеют несколько иной эффект поглощения по сравнению с водой, то используются переводные коэффициенты для различных тканей тела человека:

для воды в организме $K_1 = 0,887 \dots 0,975 \text{ рад/Р,}$

для мышц $K_1 = 0,933 \dots 0,972 \text{ рад/Р,}$

для костей $K_1 = 1,03 \dots 1,74 \text{ рад/Р.}$

В целом для организма человека при облучении от источника коэффициент $K_1 = 1 \text{ рад/Р} = 0,01 \text{ Гр/Р.}$

Эквивалентная доза

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

$$D_{\text{эkv}} = D_{\text{погл}} \cdot K_2 = D_{\text{эксп}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.6)$$

где $D_{\text{эkv}}$ - эквивалентная доза, Зв;

K_2 - коэффициент качества облучения (таблица 6.2).

Таблица 6.2 - Средние значения коэффициента качества K_2

Вид излучения	K_2 (Зв/Гр или бэр/рад)
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны и позитроны, β - излучение	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

$$K_1 = 1 \text{ рад/Р}, K_2 = 1 \text{ бэр/рад и } 1\text{Р эквивалентен } 1 \text{ бэр},$$

$$\text{т.е. } 1\text{Р} \leftrightarrow 1 \text{ рад} \leftrightarrow 1 \text{ бэр}.$$

Чтобы отметить различие между экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозами, а также единицами измерений эти параметры сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Основные параметры, характеризующее излучение

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

Мощность дозы и доза

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

$$\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (6.7)$$

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 $\dot{D}_{\text{погл}}$ измеряется в системе СИ 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/с, мкЗв/ч; внесистемными единицами являются бэр/с, бэр/ч и др.

Для измерения мощности дозы применяются различные приборы, имеющие ионизационные камеры, камеры с люминесцирующим веществом, химические системы и др.

По измеренным значениям мощности дозы можно определить дозу облучения:

$$D = \int_0^t \dot{D} dt, \quad (6.8)$$

если мощность дозы не меняется во времени, то

$$D = \dot{D} \cdot t, \quad \dot{D} = \text{const}, \quad (6.9)$$

где t - время воздействия ионизирующего излучения.

Для измерения дозы ионизирующего излучения применяются приборы-дозиметры. Сравнительная простота измерения ионизации воздуха привела к тому, что большинство дозиметрических приборов фиксируют экспозиционную дозу.

Воздействие ионизирующих излучений на организм человека, нормирование доз облучения

Ионизирующее излучение оказывает вредное воздействие на организм человека, но наши органы чувств не приспособлены к их восприятию, поэтому без специальных приборов мы не можем судить о наличии радиации и ее уровне.

Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей, изменению химической структуры молекул и как следствие - к гибели клеток. Под влиянием излучения происходит расщепление молекул воды с образованием радикалов, которые могут вступать в реакции с веществами. В результате нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ нарушается. Чем больше поглощенная доза, тем больше ионизация и отрицательный биологический эффект.

Красный костный мозг теряет способность нормально функционировать при дозах облучения 0,5...1 Зв (50...100 бэр). Репродуктивные органы и

глаза отличаются повышенной чувствительностью к облучению. Однократное облучение семенников при дозе 0,1 Зв приводит к временной стерильности мужчин, а дозы свыше 2 Зв- могут привести к постоянной стерильности. Облучение глаз при дозе 2...10 бэр/год в течение 10 - 20 лет приводит к гибели клеток хрусталика глаза, появлению помутневших участков хрусталика (катаракте), а затем и полной слепоте.

Рак - наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах. Вероятность заболевания раком растет прямопропорционально дозе облучения. Первыми в группе раковых заболеваний стоят лейкозы, они вызывают гибель людей в среднем через 10 лет с момента облучения. Далее - рак молочной железы и рак щитовидной железы; эти виды заболеваний в начальной стадии излечимы.

Рак желудка, печени, толстой кишки и т.д. встречаются реже. Рак легких практически неизлечим.

У людей, получающих малые дозы облучения, наблюдается повышенное содержание клеток крови с хромосомными нарушениями. Эти нарушения проявляются в следующем или последующих поколениях (это дети, внуки и более отдаленные потомки).

Если облучение производится не однократно, а в этой дозе растянуто во времени, то эффект облучения будет снижен. Это связано с тем, что живые организмы, в том числе и человек, способны восстанавливать нормальную жизнедеятельность после нарушений.

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 - 76/87 установлены предельно допустимые уровни облучения в зависимости от категории облученных лиц и группы критических органов (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – 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
ПД для категории Б (население, не работающее непосредственно с источниками излучения, но может подвергаться воздействию радиоактивных веществ)	0,5	1,5	3

Определение доз облучения от точечных источников гамма-излучения

Величина мощности экспозиционной дозы от точечного источника (рисунок 3.1) прямо пропорциональна активности радионуклида и обратно пропорциональна квадрату расстояния до него. Кроме этого, разные радионуклиды при одинаковой активности создают разную величину экспозиционной дозы, что учитывается гамма-постоянной:

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2}, \quad (6.10)$$

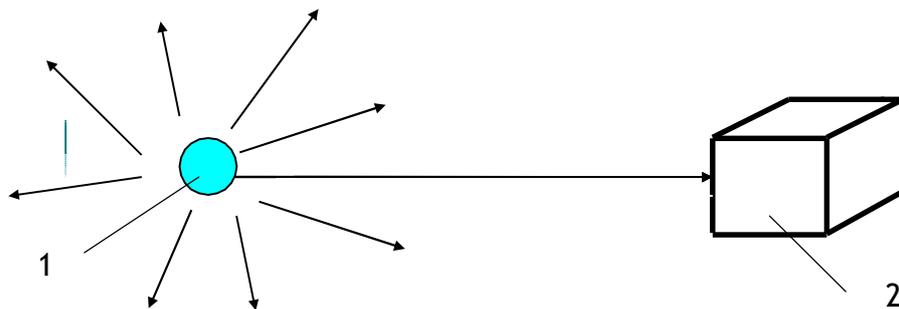
где $\dot{D}_{\text{эксп}}$ - мощность экспозиционной дозы, Р/ч;

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

A – активность радионуклида, мКи;

R – расстояние от точечного радионуклида до места измерения, см.

Гамма-постоянная показывает, какую мощность экспозиционной дозы создает данный радионуклид активностью 1 мКи на расстоянии 1 см. За эталон принят радий - 226 массой 1 мг, заключенный в платиновую упаковку толщиной 0,5 мм, который создает на расстоянии 1 см мощность дозы $\dot{D}_{\text{эксп}} = 8,4$ Р/ч. Значения гамма-постоянных приведены в таблице 1.1, например, для цезия - $137 \text{ К}\gamma = 3,19 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$.



1- точечный источник-излучения; 2 - облучаемое вещество
Рисунок 6.1 – Схема для расчета мощности экспозиционной и поглощенной дозы

Для определения дозы облучения от точечных источников γ - излучения обычно используется формула (6.9), т.е. принимается мощность дозы постоянной во времени.

Пример. Определить эквивалентную дозу и сравнить с допустимой, полученной рабочим от точечного изотропного источника ^{60}Co активностью $1,1 \cdot 10^{-2}$ Ки, если он работает с источником в течение всего рабочего времени на расстоянии 0,8 м. Продолжительность рабочего времени для персонала составляет 1700 ч/год (36-часовая рабочая неделя).

Решение.

Определяем мощность экспозиционной дозы на рабочем месте по формуле (3.1):

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2},$$

где значение гамма-постоянной выбираем из таблицы 6.1,

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \frac{6,75 \cdot 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3}{80^2} = 0,0116 \text{ Р/ч.}$$

Экспозиционную дозу, полученную рабочим за год, определяем по формуле (1.9)

$$D_{\text{эксп}} = \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot t = 0,0116 \cdot 1700 = 19,7 \text{ Р/год.}$$

Эквивалентная доза, полученная рабочим, составляет

$$D_{\text{эксп}} = \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 19,7 \cdot 1 \cdot 1 = 19,7 \text{ бэр/год,}$$

т.е. она превышает почти в 4 раза предельно допустимую дозу для категории А (таблица 6.1).

Пример. На расстоянии $R = 0,3$ м от точечного источника радионуклида ^{60}Co мощность эквивалентной дозы от γ -излучения составляет $D_{\text{экв}} = 450$

мкЗв/ч. На каком расстоянии от источника ($R_{\text{пдд}}$) можно работать, чтобы доза облучения персонала не превышала ПДД при 36-часовой рабочей неделе и равномерном распределении дозы в течение года?

Решение.

Эквивалентную дозу, полученную рабочим за год, определяем по формуле (1.9)

$$D_{\text{экв}} = \dot{D}_{\text{экв}} \cdot t = 450 \cdot 10^{-6} \cdot 1700 = 0,765 \text{ Зв/год.}$$

Полученная доза превышает ПДД (0,05 Зв/год) в 15,3 раза, поэтому необходимо увеличить расстояние от источника излучения до рабочего места.

Мощность дозы, а следовательно и доза, уменьшаются с увеличением квадрата расстояния (по зависимости 6.1), поэтому требуемое расстояние $R_{\text{пдд}}$ можно вычислить по отношению

$$\begin{aligned} \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot R^2 &= \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot R_{\text{пдд}}^2, \\ \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t \cdot R^2 &= \dot{D}_{\text{эксп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t \cdot R_{\text{пдд}}^2, \\ \dot{D}_{\text{экв}} \cdot R^2 &= \text{ПДД} \cdot R_{\text{пдд}}^2, \\ R_{\text{пдд}} &= \sqrt{\frac{\dot{D}_{\text{экв}} \cdot R^2}{\text{ПДД}}} = \sqrt{\frac{0,765 \cdot 0,3^2}{0,05}} = 1,17 \text{ м.} \end{aligned}$$

Таким образом получено, что расстояние от источника излучения до рабочего места должно быть не менее 1,17 м.

Определение доз от радионуклидов, равномерно распределенных в почве

При определении эквивалентной дозы облучения человека от γ -излучающих радионуклидов, находящихся в земле, можно использовать формулу (1.9). Кроме этого, необходимо учитывать экранирование тканей человека другими тканями, а также стенами зданий и сооружений. Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР) рекомендует использовать усредненное значение коэффициента ослабления поглощенной дозы в теле человека по сравнению с поглощенной дозой в воздухе $K_{\text{нкдар}}=0,7$.

Измерив мощность эквивалентной дозы облучения на высоте 1 м от поверхности земли, можно определить дозу, полученную человеком:

$$D_{\text{экв}} = \dot{D}_{\text{экв}} \cdot t \cdot K_{\text{нкдар}}, \quad (6.11)$$

где $D_{\text{экв}}$ - эквивалентная доза облучения человека, Зв;

$\dot{D}_{\text{экв}}$ - мощность эквивалентной дозы облучения, Зв/ч;

t - время нахождения человека в данном районе, ч.

Пример. Оценить опасность нахождения людей на территории, если мощность эквивалентной дозы облучения человека на расстоянии 1 м от

поверхности земли составляет 0,6 мкЗв/ч.

Решение.

Годовая эквивалентная доза рассчитывается по формуле (6.11):

$$D_{\text{экв}} = \dot{D}_{\text{экв}} \cdot t \cdot K_{\text{нкдар}} = 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,7 = 0,0037 \text{ Зв/год.}$$

Предельно допустимая доза для населения (категория Б, таблица 6.1) ПДД_Б = 0,5 бэр/год = 0,005 Зв/год. То есть эквивалентная доза $D_{\text{экв}}$ меньше ПДД_Б в 1,3 раза.

Определение доз от γ -излучения радионуклидов, находящихся в почве, по величине активности единицы площади земной поверхности

Доза γ -излучения от земной поверхности обычно определяется для точки на высоте H от земли и считается, что основное излучение попадает в эту точку с площади круга радиусом $3 \cdot H$ (рисунок 6.2).

Формула расчета мощности дозы облучения в этом случае:

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \pi \cdot A_s \cdot K_\gamma \cdot \ln \frac{H^2 + R^2}{H^2}, \quad (6.12)$$

где $\dot{D}_{\text{эксп}}$ - мощность экспозиционной дозы γ -излучения от земной поверхности, Р/ч;

A_s - среднегодовая активность (плотность загрязнения радио нуклидами) поверхности земли, мКи/см²;

H - высота над поверхностью земли, м;

R - радиус круга земной поверхности, м.

Для определения дозы, полученной человеком, принимается $H = 1$ м, $R = 3$ м.

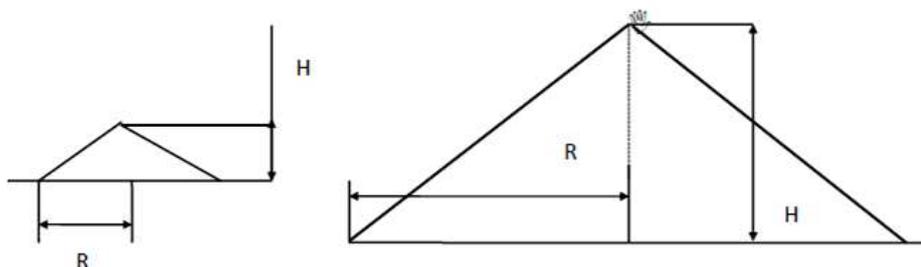


Рисунок 6.2 – Схема определения дозы γ -излучения от поверхности земли

Пример. Определить эквивалентную дозу облучения, полученную человеком за год, если среднегодовая активность поверхности земли от цезия - 137 составляет $2 \cdot 10^6$ Бк/м².

Решение.

Мощность экспозиционной дозы определяем по формуле (6.12)

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \pi \cdot A_S \cdot K_Y \cdot \ln \frac{H^2 + R^2}{H^2},$$

где активность

$$A_S = 2 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2 = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,7 \cdot 10^{10} \cdot 10^4} \text{ мКи/см}^2 = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ мКи/см}^2;$$

$$\dot{D}_{\text{эксп}} = \pi \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,19 \cdot \ln \frac{1^2 + 3^2}{1^2} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ р/ч.}$$

Эквивалентную дозу, полученную человеком за год, вычисляем по формуле (4.1)

$$D_{\text{экв}} = \dot{D}_{\text{экв}} \cdot t \cdot K_{\text{нкдар}} = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,7 = 7,36 \cdot 10^{-3} \text{ Зв/год.}$$

Эта доза примерно в 1,5 раза выше ПДД для населения.

Ориентировочная оценка радиационного загрязнения поверхности земли

Для ориентировочной оценки радиационного загрязнения поверхности земли обычно используют измерительные приборы установленные на вертолете. Вертолет пролетает на высоте 100 м от земли параллельными маршрутами через 600 м и затем строится карта. Таким образом были построены карты радиационного загрязнения (Ки/км²) поверхности земли в Тульской области.

В случае загрязнения территории цезием-137 от Чернобыльской АЭС расчет доз внешнего облучения можно производить с помощью дозовых коэффициентов

$$D_{\text{экв}} = A_T \cdot d, \quad (6.13)$$

где $D_{\text{экв}}$ - годовая эквивалентная доза облучения, бэр/год;

A_T - среднегодовая плотность загрязнения территории, Ки/км²;

d - дозовый коэффициент, бэр · км² / (Ки · год).

Таблица 6.5 – Значения коэффициента d с учетом ослабления внешнего облучения зданиями

Тип населенного пункта	Значение коэффициента d , бэр · км ² / (Ки · год)
Города областного и республиканского подчинения	0,006
Города районного подчинения и поселки городского типа	0,009
Все населенные пункты, кроме поселков городского типа	0,013

Пример. Определить годовую эквивалентную дозу облучения населения, если плотность загрязнения поверхности земли составляет 40 Ки/км^2 .

Решение.

Годовая эквивалентная доза облучения людей рассчитывается по формуле (6.13):

$$D = 40 \cdot 0,009 = 0,36 \text{ бэр/год,}$$

то есть доза ниже предельно допустимой.

Определение доз внутреннего облучения от гамма-излучающих радионуклидов

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 щелочно-земельные 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 6.1). Особое место занимает радиоактивный йод, который селективно отлагается в щитовидной железе.

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

$$\dot{D}_{\text{ЭКВ.ВН}} = 2,7 \cdot 10^{-1} \cdot A_{\text{уд}} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.14)$$

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

$A_{\text{уд}}$ – удельная активность радионуклида в рассматриваемом органе человека, Бк/кг;

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

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 $A_{уд}$, Бк/кг рассчитывается по формуле

$$A_{уд} = \frac{A \cdot f}{m}, \quad (6.15)$$

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

f - коэффициент метаболизма (см. таблицу 6.1);

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

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{B/2}}{T_{1/2} + T_{B/2}}, \quad (6.16)$$

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.

$$D_{ЭКВ.ВН} = \dot{D}_{ЭКВ.ВН} \cdot 365 \cdot 24 \quad \text{при } T_{эф} \geq 365 \text{ сут}, \quad (6.17)$$

$$D_{ЭКВ.ВН} = \dot{D}_{ЭКВ.ВН} \cdot T_{эф} \cdot 24 \quad \text{при } T_{эф} < 365 \text{ сут}, \quad (6.18)$$

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. 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 6.1). Облучению подвергается все тело человека.

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

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

Удельная активность рассчитывается по формуле

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

Мощность дозы, получаемой человеком, определяем по формуле

$$\begin{aligned} \dot{D}_{\text{экв.вн}} &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{\text{уд}} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 1,27 \cdot 10^6 \cdot 2,94 \cdot 1 \cdot 126 \cdot 0,01 \cdot 1 = \\ &= 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ Зв/ч.} \end{aligned}$$

Эффективный период полувыведения радионуклида вычисляем по формуле

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

Годовую эквивалентную дозу внутреннего облучения вычисляем по формуле

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

Полученная доза в 220 раз превышает ПДД для населения.

Пример 1. 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 $7,4 \cdot 10^5$ Бк/л и сравнить с ПДД для населения.

Решение.

Радионуклид ^{131}I попадает во все тело человека и вшитовидную железу (см. таблицу 6.1).

Рассчитываем мощность дозы облучения всего тела человека при единичном (в течение суток) поступлении ^{131}I :

$$\begin{aligned} A_{\text{уд}} &= \frac{A \cdot f}{m} = \frac{0,5 \cdot 7,4 \cdot 10^5 \cdot 1}{70} = 0,53 \cdot 10^4 \text{ Бк/кг;} \\ T_{\text{эф}} &= \frac{T_{1/2} \cdot T_{B/2}}{T_{1/2} + T_{B/2}} = \frac{8 \cdot 138}{138} = 7,56 \text{ сут;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{D}_{\text{ЭКВ.ВН}} &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{\text{уд}} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 0,53 \cdot 10^4 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 126 \cdot 0,01 \cdot 1 = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/ч.} \end{aligned}$$

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

$$\dot{D}_{\text{ЭКВ.ВН}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 11 \cdot (200 + 7,56) \cdot 24 = 0,016 \text{ Зв/год,}$$

то есть в 3 раза выше ПДД для населения.

Рассчитываем мощность дозы облучениящитовидной железы:

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

$$\begin{aligned} \dot{D}_{\text{ЭКВ.ВН}} &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot A_{\text{уд}} \cdot K_{\gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 5,5 \cdot 10^6 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 40 \cdot 0,01 \cdot 1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Зв/ч.} \end{aligned}$$

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.

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 $r_a = 8,25 \cdot 10^{-4} \text{ (чел} \cdot \text{год)}^{-1}$. Это значит, что в течение года восемь человек из 10 000 заболеют.

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

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

Приоблучении всего организма человека уровень риска рассчитывается по формуле:

$$r = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot D_{\text{ЭКВ}}, \quad (6.19)$$

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

$$r_{\text{орг}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot \omega \cdot D_{\text{ЭКВ}}, \quad (6.20)$$

где ω - коэффициент, характеризующий отношение риска облучения только данного органа к риску от равномерного облучения всего тела (таблица 6.6).

Таблица 6.6 - 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. 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 (6.19) уровень риска $r = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot D_{\text{ЭКВ}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05 = 8,25 \cdot 10^{-4}$ (чел · год), т.е. уровень риска относительно невысокий, он соответствует предельно допустимой годовой дозе облучения персонала категории А.

Пример. Рассчитать уровень риска при облучении у человека щитовидной железой и полученной дозе $D_{\text{ЭКВ.Щ}} = 5$ Зв/год.

Решение.

По формуле (6.20) уровень риска

$$r_{\text{орг}} = 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot \omega \cdot D_{\text{ЭКВ}}$$

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

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.

Варианты заданий

1. Оценить опасность облучения оператора гамма-излучением от точечного источника, находящегося на расстоянии R от рабочего места. Вид и активность радионуклида, а также расстояние R выбрать из таблицы по варианту. Время работы оператора 36 ч в неделю (1700 ч в год).

Номер варианта	Вид радионуклида	Активность A , мКи	Расстояние R , м
1	^{60}Co	2	0,4
2	^{90}Sr	4	0,5
3	^{131}I	6	0,6
4	^{137}Cs	8	0,7
5	^{236}U	10	0,8
6	^{60}Co	12	0,4
7	^{90}Sr	14	0,5
8	^{131}I	16	0,6
9	^{137}Cs	18	0,7
10	^{236}U	20	0,8

2. Определить безопасное расстояние от источника γ -излучения до рабочего места оператора, если измеренная мощность эквивалентной дозы на расстоянии R составляет $\dot{D}_{\text{экв}}$. Время работы оператора 1700 ч/год.

Номер варианта	Расстояние R , м	Мощность эквивалентной дозы \dot{D} , мкЗв/ч
1	0,1	500
2	0,2	400
3	0,3	300
4	0,4	200
5	0,5	100
6	0,1	800
7	0,2	600
8	0,3	400
9	0,4	300
10	0,5	200

Порядок расчета:

- определить годовую эквивалентную дозу по формуле (1.9);
- рассчитать безопасное расстояние из соотношения (3.2).

3. Оценить опасность облучения населения, постоянно подвергающегося воздействию ионизирующего излучения от земли, содержащей радионуклиды.

Значения мощности экспозиционной дозы $\dot{D}_{\text{эксп}}$ на расстоянии 1 м от земли приведены в таблице.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\dot{D}_{\text{эксп}}$: 4 мкР/ч	90	80	70	60	50	45	40	35	30	20

Раздел 2. Методические указания к выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Оценка уровня радиационного загрязнения

Цель работы

Сформировать представление о сущности и биологическом действии ионизирующих излучений, нормировании и обеспечении радиационной безопасности.

Теоретическая часть

Ионизирующим излучением называют любое излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Ионизирующие излучения возникают в процессе естественного спонтанного распада атомных ядер радионуклидов или могут быть получены искусственно. **Радионуклиды** – общее название группы химических элементов или их изотопов, имеющих нестабильные атомные ядра, способные самопроизвольно распадаться с испусканием характерных излучений.

Естественное ионизирующее излучение складывается из излучения, приходящего из космического пространства (солнечное и галактическое) и излучения от радионуклидов, рассеянных в земной коре, воздухе, воде и внутри живых организмов. **Искусственное** ионизирующее излучение создаётся за счёт действия антропогенных факторов: разработка радиоактивных руд, сжигание минерального сырья, ядерные взрывы (военные и в мирных целях), применение радионуклидов в науке и различных отраслях хозяйства (медицина, энергетика и др.), ядерно-технические установки (подводные лодки и др.), аварии на атомных электростанциях и предприятиях, обращение радиоактивных отходов.

Естественная радиация не оказывает неблагоприятного влияния на живые организмы, населяющие биосферу, поскольку они к ней приспособлены. Опасность для живых организмов создаёт искусственное ионизирующее излучение, являющееся источником радиационного и радиоактивного загрязнения биосферы: радиационное обусловлено действием ионизирующих излучений, радиоактивное связано с превышением естественного уровня содержания радионуклидов в окружающей среде.

Ионизирующие излучения бывают двух типов:

1) Фотонные, представляющие собой коротковолновые электромагнитные колебания:

– гамма (γ): $\lambda \leq 1 \text{ \AA}$;

– рентгеновское: $\lambda = 0,06 - 20 \text{ \AA}$.

2) Корпускулярные, состоящие из элементарных частиц, заряженных положительно или отрицательно, либо нейтральных:

- альфа (α): поток ядер атомов ${}^4\text{He}$, состоящих из 2-х протонов и 2-х нейтронов и с положительным зарядом, равным двум элементарным зарядам* ;
- бета (β): поток электронов и/или позитронов (частиц с массой, равной массе электрона, но положительным зарядом);
- нейтронное: поток нейтронов (незаряженных элементарных частиц);
- протонное излучение ускорителей и др.

Естественными видами ионизирующих излучений являются α -, β - и γ -излучения, остальные получают искусственно в специальных устройствах (рентгеновская трубка, ускорители заряженных частиц – циклотроны, фазотроны, синхрофазотроны и др.).

Биологическое действие ионизирующих излучений заключается в том, что поглощённая живым организмом энергия расходуется на разрыв химических связей и разрушение клеток живой ткани.

Основными характеристиками ионизирующих излучений, определяющими эффект их воздействия на биологические объекты, являются ионизирующее действие и проникающая способность. **Ионизирующее действие** заключается в том, что при прохождении излучения по тканям живого организма нейтральные атомы и молекулы, входящие в состав тканей, приобретают положительный или отрицательный заряд, превращаясь, таким образом, в ионы. **Проникающая способность** представляет собой способность ионизирующих излучений проникать в глубину тканей живого организма.

Ионизирующее действие излучений возрастает, а проникающая способность падает в ряду:

гамма (γ) → рентгеновское → нейтронное → бета (β) → альфа (α)

Действие ионизирующих излучений на организм называют **облучением**. Облучение может быть внешним и внутренним. **Внешнее** облучение представляет собой облучение от источника, находящегося вне организма. **Внутреннее** облучение наблюдается при попадании радионуклидов внутрь организма (с воздухом, водой, пищей). Внутреннее облучение во много раз опаснее внешнего, так как в этом случае облучение непрерывно и ему подвергаются практически все органы. При внешнем облучении опасность ионизирующего излучения прямо пропорциональна его проникающей способности, при внутреннем – ионизирующему действию.

В результате облучения внутри тканей живого организма протекают сложные процессы,

В результате облучения внутри тканей живого организма протекают сложные процессы, которые делят на два этапа:

1) Первичные или пусковые процессы, протекающие в начальный момент облучения в молекулах живых клеток и окружающего их субстрата. Их осуществление идет постадийно:

– **физическая стадия** ($t \sim 10^{-13}$ с) – поглощение энергии излучения, сопровождаемое ионизацией (отрыв электрона от атома) и возбуждением (переход электрона на более удалённую от ядра орбиту) атомов в молекулах

биологической ткани;

– **физико-химическая стадия** ($t \sim 10^{-10}$ с) – перераспределение избыточной энергии возбуждённых атомов, в результате чего происходит разрыв химических связей и появление частиц, обладающих высокой химической активностью – свободных радикалов и др.;

– **химическая стадия** ($t \sim 10^{-6}$ с) – взаимодействие продуктов предшествующих реакций (ионов, свободных радикалов и пр.) друг с другом, а также с окружающими их молекулами биологической ткани, что приводит к возникновению биологически активных соединений, разрушающих структуру живой клетки, и вызывает, таким образом, её гибель.

2) Развитие лучевых эффектов, являющихся следствием изменений на клеточном уровне и заключающихся в нарушении нормального течения биохимических реакций, обмена веществ и изменении структуры и функций отдельных органов и систем живого организма. Выделяют следующие типы лучевых эффектов:

– **соматические** (телесные) – развиваются в ранние сроки после облучения: лучевые ожоги, катаракта глаз, острая и хроническая лучевые болезни;

– **соматико-стохастические** (вероятностные) – развиваются в отдалённые сроки после облучения: нарушение кроветворения (лейкемия, лейкозы и др.), сокращение продолжительности жизни, злокачественные новообразования, эмбриотоксический и тератогенный эффекты;

– **генетические** – наследственные изменения: генные мутации и хромосомные aberrации.

Биологическое действие ионизирующих излучений имеет ряд особенностей:

1) Неощутимость действия на организм человека. У людей отсутствуют органы чувств, которые воспринимали бы ионизирующие излучения. Поэтому человек может вдохнуть, проглотить радионуклид без всяких первичных ощущений.

2) Наличие латентного (скрытого) периода проявления лучевого поражения. Видимые изменения кожных покровов, недомогание, характерные для лучевого заболевания, проявляются не сразу, а спустя некоторое время.

3) Наличие эффекта суммирования поглощённых доз, которое происходит скрыто. Если в организм человека систематически будут попадать радиоактивные вещества, то со временем дозы суммируются, что неизбежно приводит к лучевым поражениям.

4) Поражающие свойства радионуклидов не могут быть уничтожены ни химическим, ни каким-либо другим способом, так как процесс радиоактивного распада не зависит от внешних факторов.

Для количественной оценки облучения используются следующие величины: активность радионуклида; экспозиционная, поглощённая, эквивалентная (эффективная) дозы.

Активность радионуклида – это мера его количества, выраженная числом актов ядерного распада в единицу времени:

$$A = \frac{N_A t \lambda}{M},$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро;

t – масса радиоактивного изотопа;

M – молекулярная масса изотопа;

λ – радиоактивная постоянная радионуклида, характеризующая вероятность распада на одно ядро в единицу времени.

Экспозиционная доза – это суммарный электрический заряд (dQ) ионов одного знака, образующихся в единице объёма сухого воздуха с массой dm в условиях электронного равновесия:

$$D_x = \frac{dQ}{dm}$$

Поглощённая доза ионизирующего излучения – это величина средней энергии излучения ($d\varepsilon$), переданной им объёму вещества в пересчёте на единицу массы (dm) этого объёма:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Эквивалентная доза ионизирующего излучения – это произведение поглощённой дозы на средний коэффициент опасности (коэффициент качества, W_R) вида ионизирующего излучения в данном элементе объёма биологической ткани:

$$H = DW_R$$

Коэффициент качества является безразмерным числом и характеризует относительную биологическую эффективность вида ионизирующего излучения. Величина коэффициента качества зависит от энергии излучения и может составлять от 1 до 20.

Эффективная эквивалентная (или просто *эффективная*) *доза* облучения – это сумма произведений эквивалентных доз в различных органах и тканях и соответствующих коэффициентов риска (взвешивающих коэффициентов, W_T) для тканей организма:

$$E = \sum_T HW_T$$

Взвешивающие коэффициенты учитывают разную чувствительность органов и тканей организма к излучению, их сумма всегда равна 1.

Мощностью дозы называют отношение приращения дозы ионизирующего излучения за интервал времени к этому интервалу.

Нормирование ионизирующих излучений исходит из концепции, что

абсолютно безопасных уровней облучения нет. Нормативы должны полностью исключать возможность возникновения соматических эффектов и ограничить (свести к приемлемому для индивидуума и общества) уровень возможных стохастических эффектов. Основными нормативными документами, регламентирующими уровни воздействия ионизирующих излучений на территории Российской Федерации с 02.07.1999 являются "Нормы радиационной безопасности НРБ-99" и "Санитарные правила СП 2.6.1.758-99".

В соответствии с НРБ-99 выделяют следующие категории и группы облучаемых лиц:

1) Персонал – лица, постоянно или временно работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений (**группа А**) и лица, по условиям работы испытывающие их воздействие (**группа Б**).

2) Население – всё остальное население страны, республики, области или края, включая персонал вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для указанных категорий облучаемых лиц предусматриваются три класса нормативов: основные пределы доз (см. **таблицу 1**); допустимые уровни; контрольные уровни. Основные пределы доз не включают в себя: дозу, обусловленную естественным радиационным фоном (для России составляет в среднем 2 мЗв в год); дозу, получаемую пациентом при медицинском обследовании и лечении; дозы вследствие радиационных аварий.

Для обнаружения ионизирующих излучений, измерения их энергии и других характеристик используются различные приборы и устройства: сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, ионизационные камеры, камеры Вильсона, рентгенометры, радиометры, дозиметры.

Таблица 1. Основные пределы доз по НРБ-99

Нормируемая величина	Категория облучаемых лиц	
	Персонал (группа А)	Население
Мощность эффективной дозы	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год

Обеспечение радиационной безопасности предопределяется комплексом многообразных защитных мероприятий, в основе которых лежат следующие основные принципы:

- 1) Защита количеством** – уменьшение мощности источников до минимальных величин;
- 2) Защита временем** – сокращение времени работы (контакта) с источниками;

3) **Защита расстоянием** – увеличение расстояния от источников до работающих людей;

4) **Защита экранированием** – экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения (свинец, железо, бетон, бори свинецсодержащее стекло и др.).

Экспериментальная часть

Задание

Провести измерение и оценку уровня радиационного фона объектов окружающей среды по гамма-излучению.

Оборудование и материалы

Ручной дозиметр любой имеющейся марки.

Ход работы

1. Перед началом выполнения работы необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации дозиметра.

2. Провести не менее 5 измерений мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения по каждому объекту и занести их в столбец 3 **таблицы 2**.

3. Вычислить среднее арифметическое значение МЭД путём деления суммы показаний дозиметра на их количество. Результат занести в столбец 4 **таблицы 2**.

4. Перевести полученную величину в нормируемые единицы (мкЗв/ч в мЗв/год), приняв среднее количество часов в году $t = 8760$ ч. Результат расчётов занести в столбец 5 **таблицы 2**.

Сопоставить фактические и допустимые значения МЭД внешнего гамма-излучения по каждому исследованному объекту. Сделать вывод о соответствии радиационного фона объекта нормам радиационной безопасности (НРБ-99).

Таблица 2. Результаты измерений

№ п/п	Объект измерения	Измеренные значения МЭД, мкЗв/ч	Усредненные значения МЭД		Допустимое значение МЭД по НРБ-99 для населения
			мкЗв/ч	мЗв/год	
1.					

Лабораторная работа № 2.

Оценка радиационной обстановки в условиях чрезвычайной ситуации

Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с существующими методическими разработками и выполнение задания по оценке радиационной обстановки в случае аварии на АЭС.

Теоретическая часть

Аварии на радиационно-опасных объектах, а также использование ядерного оружия в военных целях могут привести к катастрофическим последствиям, связанным с заболеваниями и гибелью людей, большим материальным потерям. Для защиты населения от последствий подобных чрезвычайных ситуаций необходимо своевременно оценивать радиационную обстановку.

Оценкой обстановки возникающей в чрезвычайных ситуациях занимаются ведомственные и территориальные органы Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях (хозяйственных объектов, учреждений, районов, городов).

При оценке радиационной обстановки решают следующие задачи:

- 1) прогнозирование масштабов радиоактивного заражения и изображение зон возможного радиоактивного заражения на картах или схемах;
- 2) определение возможных доз облучения людей, оказывающихся в зонах радиоактивного заражения;
- 3) определение возможных радиационных поражений рабочих, служащих и населения.

В результате технических неполадок и неправильной эксплуатации произошла авария на АЭС с разрушением реактора и выбросом радиоактивных элементов в атмосферу. АЭС расположена вблизи города В.

Время аварии и метеоусловия (направление и скорость ветра, облачность, форма облаков) даны по вариантам в табл.2.1.

По прогнозу на ближайшие 12 часов изменений метеоусловий не ожидается.

Оценить радиационную обстановку, т.е. решить следующие задачи:

- 1) определить размеры зон возможного радиоактивного заражения и изобразить их на схеме;
- 2) определить возможные дозы внутреннего и внешнего облучения населения, оказавшегося в зоне заражения;
- 3) определить возможные радиационные поражения населения

Таблица 1 - Варианты задания 1

Вариант задания	Тип реактора	Мощность реактора	Время Аварии		Метеоусловия			
			Час	Число, месяц	Направление ветра	Скорость ветра м/с	Облачность, баллы	Форма облаков
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ВВЭР	440	7.00	08.3	190	2	3	перистые
2	ВВЭР	440	14.00	16.5	72	3	6	Слоистые
3	РБМК	1000	21.00	18.7	115	4	9	Слоисто-кучевые
4	ВВЭР	1000	15.00	05.09	50	1	4	Перистые высоко-слоистые
5	РБМК	1000	17.00	01.10	305	10	8	

Примечания:

1. Промежуточные значения определяются методом интерполяции
2. Класс устойчивости приземного слоя атмосферы использовать с учетом отсутствия снежного покрова (прилож.В)

Расчёт возможных доз внешнего облучения людей

Территория хозяйственного объекта оказалась в зоне радиоактивного заражения, образовавшегося в результате аварии на АЭС или наземного ядерного взрыва (см. вариант). Звено радиационной разведки измерило мощность дозы гамма-излучений на территории объекта через четыре часа после аварии или ядерного взрыва. Необходимо выполнить аварийно-восстановительные работы на открытой местности и в цеху (продолжительность и предполагаемое начало работы указано по вариантам).

Определить возможные дозы внешнего облучения людей, которые будут работать на открытой местности и в цеху.

Оценить тяжесть возможных радиационных поражений. Варианты исходных данных приведены в табл. 2.

Таблица 2.2 - Варианты задания 2

Вариант задания	Источник радиоактивного заражения	Продолжительность работы, ч	Предполагаемое начало работ в часах после аварии (взрыва)	Мощность дозы гамма-излучений через четыре часа после аварии
1	АЭС	7	5	80
2	ядерный	7	5	80
3	АЭС	6	5	100
4	ядерный	6	5	100
5	АЭС	5	6	120
6	ядерный	5	6	120
7	АЭС	4	6	150
8	ядерный	4	6	150
9	АЭЛ	63	5	200
10	ядерный взрыв	63	5	200

Экспериментальная часть

В штабах по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций хозяйственных объектов, учреждений, районов и населенных пунктов, расположенных вблизи АЭС, имеются методики оценки радиационной обстановки, а также необходимые справочные данные для прогнозирования последствий возможных радиационных аварий. Порядок оценки радиационной обстановки рассмотрим на примере:

В 6 часов утра 18 мая на АЭС вблизи города «С» произошла авария с выбросом радиоактивных веществ, в атмосферу.

Метеоусловия: направления ветра - 180°, скорость ветра - 2 м/с; облачность - 8 баллов нижнего яруса, форма облаков - кучевые и кучево-дождевые. По прогнозу на ближайшие 12 часов изменений в метеоусловиях не ожидается.

Оценить радиационную обстановку.

Ход работы:

1. Определение размеров зон возможного радиоактивного заражения и изображение их на карте или схеме

1.1. Определение класса устойчивости атмосферы. Сначала рассчитывают истинную солнечную инсоляцию (радиацию) для данного часа, дня и месяца:

$$R = R_{\text{без}} * C,$$

где $R_{\text{без}}$ - уровень солнечной инсоляции (радиации) при безоблачном небе, кал/см² мин; C - коэффициент поправки на облачность.

По приложению В уровень солнечной радиации при безоблачном небе на 8.00 18 мая для города "С"

$R_{\text{без}} = 0,62 \text{ кал/см}^2 \text{ мин};$

По приложению Г для облачности 8 баллов, кучевых и кучево-дождевых облаков коэффициент $C = 0,58$.

Затем определяют истинный уровень солнечной радиации:

$R = 0,62 * 0,58 = 0,36 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}.$

По приложению Д при скорости ветра $V = 2 \text{ м/с}$ и истинном уровне солнечной радиации

$R = 0,36$ находят класс устойчивости приземного слоя атмосферы - "С".

1.2. Определение размеров зоны возможного радиоактивного заражения.

По приложению Е, Ж или З для соответствующего типа реактора, класса устойчивости атмосферы и скорости ветра определяют длину и ширину зоны опасного и чрезвычайно опасного заражения.

В рассматриваемом примере: длина и ширина зоны опасного заражения составляют: 20 и 2,2 км, а длина и ширина чрезвычайно опасного заражения: 5 и 0,7 км (см. приложение З).

1.3. Изображение зон радиоактивного заражения.

Для этого от точки расположения АЭС на карте или схеме по направлению ветра в приземном слое атмосферы проводят ось следа радиоактивного облака. На оси следа откладывают длину зоны опасного заражения, а на половине длины зоны ее ширину. Полученные точки соединяют плавной линией. Таким же образом наносят на карту зону чрезвычайно опасного заражения. Зону опасного заражения наносят коричневым цветом, а зону чрезвычайно опасного заражения – черным. На карте около точки, обозначающей АЭС (рис. 1) делают поясняющую надпись (в числителе тип реактора и его мощность, а в знаменателе часы, минуты и дата аварии).

При выполнении задания 1 зоны возможного радиоактивного заражения изображают в виде схем, используя план-схему, которая приведена на рис. 2.

Определив размеры зон радиоактивного заражения, и изобразив их на карте местности, определяют населенные пункты и хозяйственные объекты, попадающие в возможные зоны заражения. Затем находят расстояние от АЭС до этих населенных пунктов объектов. Из рис. 3.1 видно, что в зону чрезвычайно опасного радиоактивного заражения попадают ж/д станция Новая, находящаяся на расстоянии 3 км от АЭС, п.Тарасово на расстоянии 4 км от АЭС, а в зону опасного радиоактивного заражения попадают населенные пункты Расково (9км) и Котлы- (14км от АЭС).

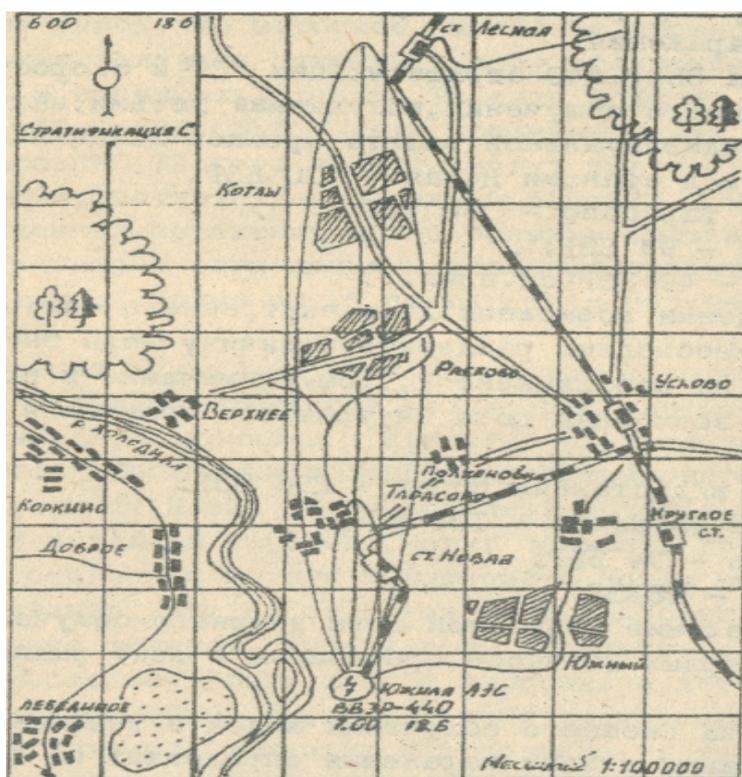


Рисунок 1 - Схема местности вблизи города «С».

2. Определение возможных доз облучения людей в зоне радиоактивного заражения

2.1. Определение возможных внутренних доз облучения людей, а зависимости от реактора. По приложениям И или К (графа 4) определяют возможную дозу внутреннего облучения детей на оси следа радиоактивного заражения.

Для реактора, ВВЭР-440 стратификации "С" и скорости ветра 2 м/с, доза внутреннего облучения, получаемая детьми, находящимися без средств индивидуальной защиты органов дыхания, равна:

- в районе ж/Д станции Новая – 530 БЭР;
- в поселке Тарасово – 330 БЭР;
- в Расково - 93 БЭР;
- в Котлах - 49 БЭР (см. прил.И)

При определении возможной дозы внутреннего облучения взрослых людей необходимо разделить величину дозы внутреннего облучения детей на коэффициент 2,7(см.примечание к приложениям И и К).Тогда возможная доза внутреннего облучения взрослых людей составит:

- в районе ж/д станции Новая - 290 БЭР;
- в поселке Тарасово - 122 БЭР;

в Расково - 34 БЗР;

в Котлах - 18БЗР.

2.2. Определение возможной дозы внешнего облучения людей в течение первых 24 часов пребывания в зоне радиоактивного заражения.

Возможная доза внешнего облучения людей в течение первых 24 часов пребывания в зоне заражения определяют по справочным данным, приведенным в приложениях М и Н. Для определения дозы внешнего облучения необходимо знать класс устойчивости атмосферы и расстояние от места аварии до населенного пункта. В нашем случае класс устойчивости атмосферы - "С" и расстояние от места расположения аварийной АЭС до населенного пункта ст. Новая, Тарасово, Расково и Котлы соответственно равны: 3,4,9 л.14 км (см. рис.3.1). Тогда по приложению К находим, что возможная доза внешнего облучения людей, проживающих на ст. Новая и в поселках Тарасово, Расково и Котлы, в течение первых суток пребывания в зоне заражения составят соответственно: 0,26;0,26;0,06 и 0,03 БЭР.

2.3. Оценка возможных радиационных поражений людей, находящихся в зоне радиоактивного заражения

Поражающее действие ионизирующих излучений на организм человека оценивают суммарными дозами внутреннего и внешнего облучений. Анализируя данные, полученные в разделе выше, можно сделать вывод, что взрослое население, проживающее на ст. Новая, может получить суммарную дозу облучения, равную 290,36 БЭР, а в поселках Тарасово, Расково и Котлы соответственно: 122,26;34,06;18,03 БЗР. Дети, проживающие на ст. Новая и поселках Тарасово, Расково и Котлы, могут получить суммарную дозу облучения, соответственно равную 530; 330,3; 93 и 49 БЭР. Тяжесть радиационных поражений можно оценить, сравнивая суммарную дозу облучения с поглощенными дозами, вызывающими различные степени лучевой болезни при однократном облучении людей (прил.Н).

Сравнивая суммарные дозы облучения, которые могут получить жители населенных пунктов Новая, Тарасово, Расково и Котлы, с данными, приведенными в прил.М, делаем вывод, что после первых суток пребывания в зоне радиоактивного заражения взрослые жители ст. Новая могут заболеть лучевой болезнью средней степени, жители п.Тарасово могут заболеть лучевой болезнью легкой степени, а жители п.Расково и Котлы не заболеют лучевой болезнью. Дети на ст. Новая могут заболеть лучевой болезнью крайне тяжелой степени, в п. Тарасово - лучевой болезнью средней степени. Кроме того, у взрослых и детей, проживающих во всех населенных пунктах в зоне радиоактивного заражения, могут в течение ближайших лет возникнуть такие болезни, как рак, лейкемия, катаракта и нарушение наследственного механизма в первых двух поколениях(рождение уродов, умственно неполноценных детей и т.д.).

Дозу возможного внешнего облучения людей, находящихся в зоне радиоактивного заражения, можно определить расчетным способом, зная фактические данные об уровне радиоактивного заражения территории хозяйственного объекта или населенного пункта. Уровень радиоактивного заражения обычно оценивают по интенсивности гамма-излучений (по мощности дозы гамма-излучений).

Порядок расчета дозы возможного внешнего облучения людей рассмотрим на примере.

Территория населенного пункта оказалась в зоне радиоактивного заражения в результате ядерного наземного взрыва, произошедшего на расположенном поблизости крупном хозяйственном объекте. Через пять часов после ядерного взрыва звено радиационной разведки измерило мощность дозы гамма-излучений, которая составила 50р/ч. Население проживает в одноэтажных каменных и деревянных домах.

Оценить возможные дозы внешнего облучения, тяжесть возможных радиационных потерь людей в случае их непрерывного пребывания в домах в течение 12 часов с момента образования зоны радиоактивного заражения (радиоактивные частицы выпали через три часа после взрыва).

I. Расчет возможной дозы внешнего облучения людей, находящихся (или работающих) в зоне радиоактивного заражения

Вычисления выполняют с использованием следующего выражения:

$$D = \frac{P_{cp} * T}{K_{осл}},$$

где D – экспозиционная доза гамма-излучения (доза внешнего облучения тела человека), Р;

T- продолжительность облучения людей, Ч;

P_{cp} - средняя мощность дозы гамма-излучений за время T, Р/ч;

K_{осл} - коэффициент ослабления гамма-излучений стенами, перекрытиями, другими элементами зданий, сооружений, оборудования или техники.

Продолжительность облучения людей определяется продолжительностью их пребывания (работы) в зоне радиоактивного заражения.

Среднюю мощность дозы гамма-излучений при ограниченном времени пребывания людей в зоне радиоактивного заражения (несколько часов) подсчитывают из выражения

$$P_{cp} = \frac{P_n + P_k}{2}$$

где P_n - мощность дозы гамма-излучения в момент начала облучения;

P_k - мощность дозы гамма-излучения в конце облучения.

Для того, чтобы определить мощность дозы гамма-излучений на любой час после взрыва (или аварии на АЭС), сначала определяют мощность дозы гамма-излучений через один час после взрыва (аварии):

$$P_1 = P_n * K_n$$

где P_n - мощность дозы гамма-излучений на "энный" час после взрыва (аварии);

K_n - коэффициент изменения мощности дозы гамма-излучения через «N» часов после взрыва (аварии).

Значения коэффициентов K_n рассчитанных по известным математическим зависимостям $P=f(T)$ для ядерного взрыва и аварии на АЭС, приведены в приложении Н.

В рассматриваемом примере мощность дозы гамма-излучений на один час после взрыва $P_1 = P_5 * K_5$, где P_5 мощность дозы гамма-излучений через пять часов после взрыва. Она равна $50P/2$, а K_5 - коэффициент изменения мощности дозы через пять часов (он равен 6,9).

$$\text{Тогда } P_1 = 50 * 6,9 = 345 (P/4).$$

Зная величину P_1 , можно определить мощность дозы P_n на любой момент времени.

Определим мощность дозы гамма-излучений в момент начала облучения людей P_n . По условию примера $P_n=P_3$, где P_3 мощность дозы через три часа после взрыва:

$$P_1=P_3*K_3$$

$$\text{Тогда } P_3 = P_1/K_3 = 345/3,74 = 92,3 (P/4)$$

Определим мощность дозы гамма-излучений в конце пребывания людей в зоне радиоактивного заражения. $P_k=P_{15}$, т.к. облучение началось через три часа после взрыва, и будет продолжаться 12 часов. Используем выражение (4.3):

$$P_{15} = P_1/K_{15} = 345/25,7 = 130 (P/4).$$

Таким образом, средняя мощность дозы гамма-излучения

$$P_{cp} = (P_3+P_{15})/2 = (92,3+130)/2 = 111,15 (P/4).$$

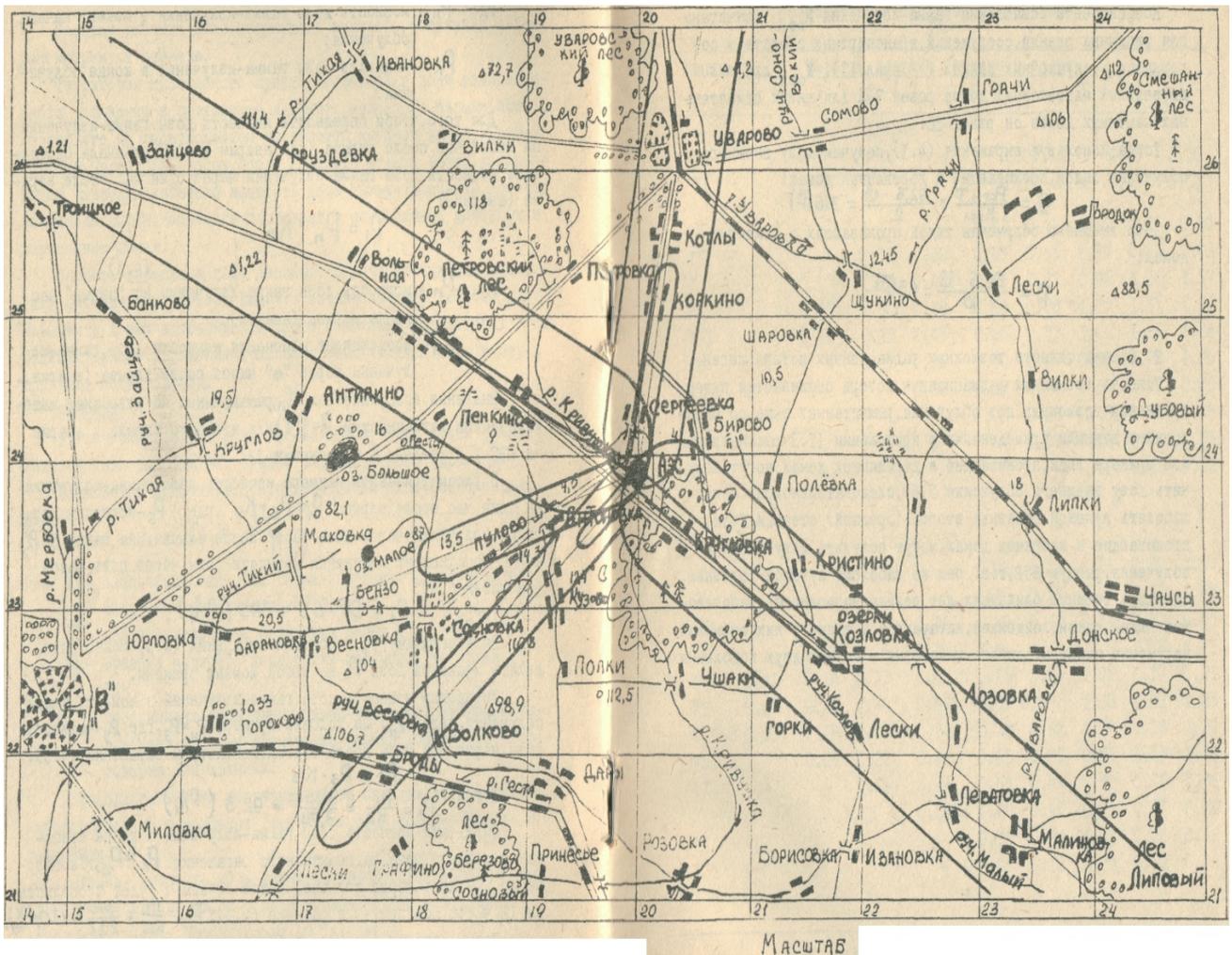


Рисунок 2 - Схема местности вблизи города «В».

Коэффициенты ослабления гамма-излучения $K_{осл}$ рассчитаны для типичных зданий, сооружения, транспортных средств и содержатся в справочных данных (прил. Р). $K_{осл}$ для жилых деревянных одноэтажных домов равен 7, а для жилых одноэтажных каменных домов он равен 10.

Тогда получим дозу внешнего облучения людей, проживающих в деревянных домах:

$$D = \frac{P_{ср} * T}{K_{осл}} = \frac{52.6 * 12}{7} = 316(P).$$

Доза внешнего облучения людей, проживающих в каменных домах:

$$D = \frac{52.6 * 12}{10} = 63(P)$$

2. Оценка тяжести возможных радиационных потерь людей

Тяжесть возможных радиационных потерь оценивается путем сравнения возможных доз облучения, рассчитанных выше, со справочными данными, Приведенными в приложении Н. В рассматриваемом примере люди, проживающие в деревянных домах, могут получить дозу внешнего облучения 316Р. Следовательно, они могут заболеть лучевой болезнью второй (средней)

степени, Люди, проживающие в каменных домах, могут получить дозу внешнего облучения, равную 63Р, т.е. они не заболеют лучевой болезнью. Однако, в течение ближайших лет большая возможность заболевания людей раком, лейкемией, катарактой, а также у них возможно нарушение наследственного механизма в первых двух поколениях.

Раздел 3.

Методические указания к выполнению курсового проекта

Курсовой проект является одной из важнейших форм учебного процесса, выполняется в соответствии с учебными планами и направлен преимущественно на практическую подготовку. Курсовой проект носит учебно-исследовательский характер, и в то же время он должен опираться на новейшие достижения науки в своей сфере.

Цель курсового проекта:

- а) закрепить теоретические знания по курсу «Производственная санитария и гигиена труда»;
- б) овладеть навыками самостоятельной работы при обосновании и выборе технических средств защиты;
- в) выработать умения формулировать суждения и выводы, логически последовательно и доказательно их излагать;
- г) выработать умение публичной защиты;
- д) подготовиться к более сложной задаче – выполнению дипломной работы.

Структура курсового проекта должна способствовать раскрытию заданной темы и быть аналогична структуре дипломной работы: иметь титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованных источников и приложения.

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы, определяется общая цель курсового проекта, конкретные его задачи и методы исследования. Далее следует остановиться на **описании степени разработанности темы в научной литературе**. Здесь необходимо привести названия основных источников, охарактеризовать сложившиеся подходы и методы, отметить и оценить индивидуальный вклад в разработку проблемы различных ученых. Вместе с тем следует показать, что еще осталось неразработанного в ней, так, чтобы было понятно, с какой целью лично вы за нее беретесь.

Основная часть состоит из следующих разделов:

1. Общие сведения о производстве.
2. Краткое описание производственного процесса.
3. Анализ опасных и вредных производственных факторов.
 - 3.1 Сведения об основных опасностях производства.
 - 3.2 Сведения по характеристике пожароопасных и токсических свойств сырья, полуфабрикатов, готовой продукции.
 - 3.3 Взрывопожарная и пожарная опасность. Санитарная характеристика производственных помещений, зданий, наружных установок.
4. Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации производства.
 - 4.1 Безопасное ведение технологического процесса.

4.2 Средства индивидуальной защиты работающих.

В разделе «Общие сведения о производстве» приводится краткая структура производственного предприятия, при необходимости указывается роль конкретного исследуемого подразделения в общей производственной структуре.

В разделе «Краткое описание производственного процесса» приводится описание технологического процесса, его физико-химические основы.

Раздел «Анализ опасных и вредных производственных факторов» включает сведения об основных характеристиках опасных и вредных производственных факторов и состоит из нескольких подразделов.

В подразделе «Сведения об основных опасностях производства» приводится краткая характеристика основных опасных и вредных производственных факторов исследуемого технологического процесса.

В подразделе «Сведения по характеристике пожароопасных и токсических свойств сырья, полуфабрикатов, готовой продукции» приводятся сведения о пожароопасных и токсичных свойствах сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Данный раздел рекомендуется оформить в виде таблицы.

В подразделе «Взрывопожарная и пожарная опасность. Санитарная характеристика производственных помещений, зданий, наружных установок» приводятся сведения о категориях помещений и наружных установок по пожаровзрывоопасности, а также сведения о классах помещений по санитарной характеристике. Дается обоснование.

В разделе «Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации производства» приводятся сведения об общих принципах безопасного ведения технологического процесса, а также о средствах индивидуальной защиты работающих от опасных и вредных производственных факторов.

Заключение содержит сделанные автором проекта выводы, итоги исследования, а также предлагаемые автором проекта мероприятия по повышению безопасности исследуемого технологического процесса, с учетом выявленных опасностей..

Список использованной литературы должен быть составлен в соответствии с установленными требованиями. Если в проекте имеются **приложения**, они оформляются на отдельных листах, и их следует пронумеровать.

Содержание проекта следует иллюстрировать таблицами, графическим материалом (рисунками, схемами, графиками, диаграммами и т.п.).

Написание курсового проекта предполагает более глубокое изучение избранной темы, нежели она раскрывается в учебной литературе. При написании курсового проекта при возможности следует пользоваться действующими технологическими регламентами исследуемых производств.

Объем курсового проекта – 20-30 страниц печатного текста, выполненного через 1,5 межстрочных интервала. Проект сшивают в папку-скоросшиватель или переплетают.

Выполнение курсового проекта осуществляется под руководством преподавателя – руководителя проекта. Руководство начинается с выдачи задания и продолжается в форме консультаций. Образец задания на курсовой проект приведен в Приложении С.

Студент во время консультаций уточняет круг вопросов, подлежащих изучению, составляет план исследования, определяет структуру проекта, сроки выполнения его разделов, необходимую литературу и другие материалы, а также устраняет недостатки в проекте, на которые указывает руководитель.

При **заочной форме обучения** курсовые проекты являются одной из основных форм межсессионного контроля студенческих знаний. Выполнение их несколько отличается от выполнения текущих курсовых проектов студентами очного отделения. Студенты заочного отделения выполняют проекты на материалах предприятий (организаций, учреждений), где они работают или проходят практику.

Задание на выполнение курсового проекта студентам заочного отделения выдает преподаватель во время установочной сессии.

Если курсовой проект по заключению преподавателя является неудовлетворительным и подлежит переработке, то после исправления он представляется на повторную проверку с обязательным представлением первоначального варианта.

Курсовой проект должен быть защищен до начала экзаменационной сессии.

На защите студент обязан кратко изложить содержание работы, дать исчерпывающие ответы на вопросы руководителя. **Критериями оценки курсового проекта** являются актуальность выбранной темы, глубина освоения материала, качество подбора и использования источников, степень самостоятельности выводов, общая культура изложения.

Готовый курсовой проект сдается на кафедру.

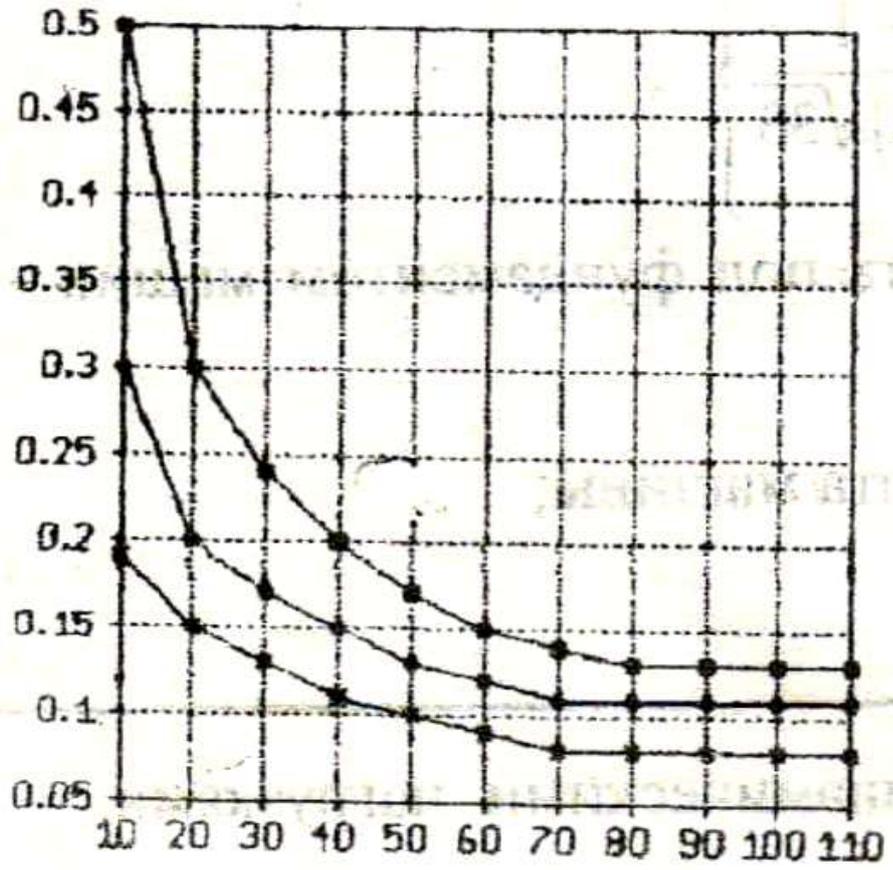
Список использованных источников

1. Мудрецова-Висс К. А.П. Микробиология, санитария и гигиена [Электронный ресурс]: учебник / К.А. Мудрецова-Висс, В.П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. - 400 с.: ил. - (Высшее образование).
2. Ягафарова, Г. Г. Производственная санитария и гигиена труда [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс для студентов всех форм обучения по направлению 280200 "Защита окружающей среды" и магистрантов очной и заочной форм обучения по направлению 280700 "Техносферная безопасность" / Г. Г. Ягафарова, Л. А. Насырова, Р. Р. Фасхутдинов ; рец.: М. И. Маллябаева, А. Р. Давлетшин ; УГНТУ, каф. ПЭ, ОДПМО. - Уфа : УГНТУ, 2013. - эл. опт. диск (CD-ROM).
3. Голощاپов, А.П. Производственная санитария и гигиена труда [Текст]: учебное пособие/ А. П. Голощاپов. - Стерлитамак: ИП Сафина Л.Ф., 2012. - 52 с.
4. Феоктистова О. Г. Производственная санитария и гигиена труда [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т.Г. Феоктистова, О.Г. Феоктистова, Т.В. Наумова. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 382 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).

**Производительность различных дефлекторов под действием ветра
при установке без воздуховодов**

Номер деф- флекто- ра	Скорость ветра, м/с								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
Дефлекторы типа УкрНИИСТ ДВК-5									
1	20	30	40	50	60	70	80	100	120
2	80	130	160	200	240	270	310	390	470
3	200	250	350	420	500	600	680	820	1020
4	300	450	620	800	930	1100	1260	1550	1900
5	600	800	1000	1200	1400	1650	1900	2350	2900
6	750	1000	1300	1750	2000	2300	2600	3250	4000
7	1000	1500	1900	2500	2750	3200	3600	4500	5400
8	1200	1800	2300	3000	3700	4100	4800	6000	7100
9	1500	2400	3000	3800	4600	5500	6100	7500	9000
10	2000	2800	3600	4800	5500	6500	7300	9100	11 000
Дефлекторы типа ЦАГИ									
3	—	—	240	300	360	420	480	—	—
4	—	—	380	475	570	660	760	—	—
5	—	—	670	850	1000	1180	1350	—	—
6	—	—	980	1230	1470	1720	1960	—	—
7	—	—	1330	1670	2000	2300	2670	—	—
8	—	—	1740	2170	2600	3050	3470	—	—
9	—	—	2210	2760	3320	3860	4420	—	—
10	—	—	2700	3370	4040	4720	5400	—	—
Дефлекторы типа «Цилиндрический»									
1	10	17	21	26	31	37	42	53	68
2	47	68	95	115	142	168	189	236	284
3	105	168	210	262	315	308	420	525	630
4	180	284	378	475	565	660	755	945	1130
5	294	440	590	735	880	1030	1210	1480	1780
6	424	635	850	1060	1265	1485	1740	2130	2560
7	575	880	1150	1440	1720	2020	2370	2900	3480
8	745	1120	1490	1870	2240	2630	3080	3770	4520
9	945	1420	1880	2360	2830	3300	3900	4750	5720
10	1180	1750	2310	2900	3480	4100	4800	5850	7050

Номограмма зависимости $\beta=f(r)$



Приложение В

Суммарная солнечная радиация при безоблачном небе R без, кал/см². мин

Город «С»

Месяц	Часы до полудня (истинное время)								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1						0,03	0,13	0,23	0,30
2						0,17	0,32	0,45	0,53
3					0,22	0,42	0,60	0,75	0,83
4			0,08	0,22	0,43	0,65	0,83	0,97	1,03
5		0,07	0,20	0,40	0,62	0,82	0,98	1,10	1,17
6		0,13	0,30	0,48	0,68	0,88	1,03	1,17	1,22
7		0,10	0,25	0,45	0,65	0,83	1,00	1,12	1,18
8			0,12	0,30	0,50	0,68	0,87	0,98	1,05
9				0,12	0,27	0,47	0,65	0,77	0,85
10					0,08	0,23	0,38	0,52	0,58
11						0,07	0,18	0,28	0,35
12							0,08	0,17	0,22

Город «В»

1					0,01	0,15	0,26	0,37	0,43
2					0,15	0,34	0,49	0,60	0,65
3				0,19	0,40	0,60	0,78	0,90	0,95
4		0,01	0,16	0,39	0,61	0,81	0,97	1,07	1,11
5	0,01	0,16	0,33	0,54	0,75	0,94	1,09	1,17	1,21
6	0,07	0,21	0,40	0,61	0,81	0,99	1,18	1,22	1,25
7	0,03	0,18	0,35	0,54	0,74	0,92	1,07	1,18	1,22
8		0,06	0,22	0,41	0,61	0,81	0,95	1,05	1,09
9			0,09	0,24	0,66	0,44	0,82	0,91	0,96
10				0,08	0,29	0,47	0,60	0,67	0,69
11					0,11	0,26	0,37	0,46	0,48
12					0,02	0,13	0,23	0,32	0,36

Часы после полудня (истинное солнечное время)

	21	20	19	18	17	16	15	14	13
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Приложение Г

Значение коэффициента С в зависимости от типа, балла облачности, высоты и формы облаков

Тип облачности	Высота облачности Н, км	Форма	Облачность, балл				
			2-3	4-5	6-7	8-9	10
Перистые	$H > 5$	Перистые	0,93	0,92	0,88	0,80	0,71
	$2 \leq H \leq 5$	Высококучевые	0,85	0,83	0,76	0,63	0,40
	$2 \leq H \leq 5$	Высокослоистые	0,85	0,83	0,76	0,68	0,25
	$2 \leq H \leq 5$	Высококучевые-Высокослоистые	0,85	0,83	0,76	0,68	0,33
Кучевые	$H < 2$	Кучевые	0,90	0,92	0,86	0,75	0,50
	$H < 2$	Кучево-дождевые	0,84	0,83	0,71	0,58	0,24
	$H < 2$	Кучевые, кучево-дождевые	0,84	0,83	0,71	0,58	0,24
Слоистые	$H < 2$	Слоистые	0,84	0,83	0,74	0,64	0,30
	$H < 2$	Слоисто-кучевые	0,84	0,83	0,74	0,64	0,30
	$H < 2$	Слоистые, слоисто-кучевые	0,84	0,83	0,74	0,64	0,26
дождевые	$H < 2$	Разорвано-слоистые	0,82	0,80	0,71	0,18	0,18
		Слоисто-дождевые					
		туман				0,26	0,26

Приложение Д

Классы устойчивости приземного слоя атмосферы в зависимости от скорости ветра, уровня инсоляции и облачности

Скорость ветра в приземном слое на высоте 8-10 м/с	день				Ночь		
	Истинный уровень инсоляции X), кал/см ² мин				Уровень остаточного излучения, кал/см ² мин		
	Сильный R≥0.83%	Умеренный 0,41-0,82	Слабый 0,21-0,4	Очень слабый	Rn>-0.03	-0.03-0,06	Rn-0,06
					Облачность, балл		
Нижнего яруса 8-10	Верх. Яруса 5-7	Сред. любого яруса 0-4					
V<2	А	А-В	В(Д)хх)	Д(Е)хх)	Д	Г	Г
2≤V<3	А-В	В	С(Д)хх)	Д(Е)хх)	Д	Е	Г
3≤V<4	В	В(С)	С	Д	Д	Д	Е
4≤V<6	С	С(Д)	Д	Д	Д	Д	Д
6≤V	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д

X - Для данного часа дня, месяца, места
хх - буквы в скобках – при снеговом покрове

Приложение Е

Размеры зон радиоактивного заражения (гипотетическая авария на реакторе ВВЭР-440)

Наименование зон	Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра на высоте 8-10 м, м/с	Длина зоны от АЭС, км	Ширина зоны, км
1	2	3	4	5
Опасная	Д	1	34	2,5
		2	30	2,2
		3	26	2,0
		4	22	1,7
		5	18	1,5
		6	16	1,4
		7	14	1,3
		8	14	1,2
		9	12	1,2
		10	12	1,1
		12	10	1,0
Чрезвычайно опасная	Д	1	9,5	0,95
		2	7,5	0,7
		3	6,0	0,6
		4	5,0	0,55
		5	4,5	0,45
		6	4,0	0,4
		7	4,0	0,3
		8	3,5	0,2
		9	Зона не образуется	
опасная	В	1	16	3,0
		2	10	2,0
		3	9	1,8
		4	7	1,6
	В	1	Зона не образуется	
		2	Зона не образуется	

Приложение Ж

Размеры зон радиоактивного заражения (гипотетическая авария на реакторе ВВЭР-1000)

Наименование зон	Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра на высоте 8-10 м/с	Длина зоны от АЭС, км	Ширина зоны, км
1	2	3	4	5
опасная	Д	1	16	1,4
		2	11	1,1
		3	9	0,9
		4	8	0,8
		5	7	0,7
		6	6	0,6
		7	5	0,6
		8	5	0,5
		10	4	0,47
		12	4	0,43
Чрезвычайно опасная	Д	1	4	0,4
		2	Не образуется	
опасная	В	1	6	1,7
		2	4,5	1,6
		3	3,5	0,7
Чрезвычайно опасная	В	1	Зона не образуется	

Приложение 3

Размеры зон радиоактивного заражения (гипотетическая авария на реакторе РМБК-1000)

Наименование зон	Класс устойчивости	Скорость ветра на высоте 8-10, м/с	Длина зоны от АЭС, погон/км	Ширина зоны, км
1	2	3	4	5
опасная	Д	1	195	6,2
		2	250	7,5
		3	254	7,0
		4	196	6,5
		5	200	6,2
		7	185	5,3
		10	140	4,5
Чрезвычайно опасная	Д	1	Зона не образуется	
		2	Зона не образуется	
		3	Зона не образуется	
		4	10	0,3
		5	16	0,9
		7	15	0,9
		10	11,2	0,7
опасная	С	2	180	7,8
		3	140	7,0
		5	110	5,6
Чрезвычайно опасная		2	Зона не образуется	
		3	17	1,0
		5	15	1,0

Приложение И

Дозы внутреннего облучения детей на оси следа, БЭР (гипотетическая авария на реакторе ВВЭР-440)

Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с	Расстояние от АЭС, км	Доза внутреннего облучения, БЭР		
1	2	3	4		
В	3	3	173		
		4	107		
		5	75		
		6	57		
		7	45		
		8	37		
		9	31		
		С	2	3	530
				4	330
5	231				
6	173				
7	136				
8	11				
9	93				
10	80				
12	61				
14	49				
16	41				
18	35				
20	30				
С	3	3	367		
		4	231		
		5	162		
		6	122		
		7	97		
		8	79		
		9	67		
		10	57		
		12	44		
14	36				
16	30				
Д	1	3	1776		
		4	1080		
		5	737		
		6	539		
		7	414		
		8	330		
		9	270		
		10	226		
		12	166		
		14	128		
		16	103		
		18	85		
		20	71		
		22	61		

Примечание: доза внутреннего облучения взрослых людей в 2,7 раза меньше, чем у детей.

Приложение К

**Дозы внутреннего облучения детей на оси следа радиоактивного заражения,
БЭР (гипотетическая авария на реакторе РВМК-1000)**

1	2	3	4
С	5	3	260
		5	420
		7	390
		10	315
		20	166
		40	83
		60	56
		80	42
		110	30
		Д	5
5	160		
7	267		
10	317		
20	256		
40	155		
60	110		
100	69		
150	49		
200	34		
Д	10	3	185
		5	357
		7	366
		10	315
		20	185
		40	100
		60	68
		100	42
		140	31

Примечание: Для определения дозы внутреннего облучения получаемой взрослыми, необходимо разделить величину дозы внутреннего облучения детей на коэффициент 2,7.

Приложение Л

Доза внешнего облучения людей, находящихся на оси следа радиоактивного заражения в течение первых суток после аварии (гипотетическая авария на реакторе ВВЭР-440)

Класс устойчивости атмосферы	Расстояние от АЭС по оси следа, км					
	0,5	1	2	3	4	5
А,В,С,Д	2,0	0,86	0,36	0,21	0,10	-
Е	6,5	2,77	1,11	0,67	0,45	0,34
F	12,3	6,0	2,7	1,6	1,11	0,83

Приложение М

Доза внешнего облучения людей, находящихся на оси следа радиоактивного заражения в течение первых суток после аварии, БЭР (авария на реакторе РМБК-1000)

Класс устойчивости атмосферы	Расстояние от АЗС по оси следа, км					
	0,5	1	2	4	5	6
Ф, Е	1,1	0,5	0,21	0,12	0.1	0.07

Приложение Н

Поглощенные дозы, вызывающие различные степени лучевой болезни при однократном облучении людей

Поглощенная доза излучения , биологический эквивалент рентгена (БЭР)	Степень лучевой болезни	Последствия облучения
100-200	Легкая (1)	Как правило, выздоровление людей происходит даже при отсутствии лечения
200-400	Средняя (2)	Выздоровление наступает у 100% облученных при квалифицированном лечении болезни
400-600	Тяжелая (3)	Выздоровление возможно у 50-80% облученных при условии госпитализации и квалифицированном лечении
600-1000	Крайне тяжелая (4)	Выздоровление возможно у 30-50% облученных лишь при условии раннего лечения в специализированной клинике

Примечание:

При однократном облучении людей поглощенными дозами, равными нескольким десяткам БЭР, у них могут возникнуть заболевания раком, лейкемией, катарактой, а также могут наблюдаться генетические повреждения наследственного механизма в первых двух поколениях.

Приложение П

Коэффициенты изменения мощности дозы гамма-излучений К в зависимости от времени, отсчитываемого от момента ядерного взрыва или аварии на АЭС

Время, ч	Кп		Время, ч	Кп	
	При ядерном взрыве	При аварии АЭС		При ядерном взрыве	При аварии АЭС
1	2	3	1	2	3
0,25	0,19	0,5	24	45	4,9
0,5	0,44	0,71	27	52,2	5,2
1	1,00	1,00	30	59,2	5,48
2	2,30	1,41	40	83,7	6,33
3	3,74	1,73	48	104,1	6,93
4	5,30	2	60	136,1	7,75
5	6,90	2,24	72	169	8,49
6	8,60	2,45	80	3	8,94
7	10,30	2,65	96	192,2	9,8
8	12,00	2,83	100	239,2	10
9	14,00	3,00	120	251,2	10,96
10	16,00	3,16	144	312,6	12
12	20,00	3,46	168	389,1	12,96
13	21,70	3,61	192	468,1	13,86
14	23,70	3,74	216	549,5	14,7
15	25,70	3,87	240	633	15,5
16	27,90	4,00	264	718	16,25
17	30,00	4,12	288	-	16,9
18	32,00	4,24	312	-	17,66
19	34,2	4,36	336	-	18,33
20	36,4	4,47	360	-	18,97
22	40,8	4,69			

Значение коэффициента ослабления гамма-излучения, Косл, для различных сооружений и транспортных средств

Наименование сооружений и транспортных средств	Косл.
1. деревянные дома:	
- одноэтажные	3
- двухэтажные	7
2. каменные дома:	
- одно	10
- двух	20
- трех	40
- многоэтажные	70
3. подвалы домов:	
- одно	40
- двух	100
- многоэтажных	400
4. производственные здания:	
- одно	7
- двухэтажные	10
5. убежище	1000-3000
6. ПРУ	100-200
7. Щели	50
8. открытые траншеи	3
9. автомобили, автобусы	2
10. бульдозеры	4
11. танки	10
12. бронетранспортеры	4

**ФГБОУ ВО УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Стерлитамаке

Кафедра

Общей химической технологии

Студент

гр. ББПз-15-31 _____

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Профиль подготовки: «Безопасность технологических процессов и производств»

Дисциплина: «Производственная санитария и гигиена труда»

Тема: _____

Срок исполнения: « » _____ 2018 г.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА:

Технологический регламент производства. Научная, научно-техническая, патентная и нормативно-справочная литература.

ПРЕДСТАВИТЬ К ЗАЩИТЕ СЛЕДУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ:

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Титульный лист, задание, реферат, содержание, введение, основная часть, список использованных источников, приложение(я).

Основная часть состоит из следующих разделов:

1. Общие сведения о производстве.

2. Краткое описание производственного процесса.

3. Анализ опасных и вредных производственных факторов.

3.1 Сведения об основных опасностях производства

3.2 Сведения по характеристике пожароопасных и токсических свойств сырья, полуфабрикатов, готовой продукции

3.3 Взрывопожарная и пожарная опасность. Санитарная характеристика производственных помещений, зданий, наружных установок.

4. Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации производства

4.1 Безопасное ведение технологического процесса

4.2 Средства индивидуальной защиты работающих

5 Заключение

Задание получил(а): _____ « » _____ 2018 г.

Руководитель курсового проекта,
ст. преподаватель _____

М.С. Лузина