

Лабораторная работа:

**«Гигиеническая оценка СВЧ-излучений на рабочем
месте и определение эффективности
защитных экранов»**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	3
2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	3
2.1. Воздействие СВЧ-излучений на организм человека	3
2.2. Гигиеническая оценка и нормирование СВЧ-излучений	4
2.3. Основные способы и средства защиты от СВЧ-излучений	5
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	7
3.1. Меры безопасности	7
3.2. Описание экспериментальной установки	7
3.3. Порядок выполнения работы	7
3.4. Контрольные вопросы	11
Литература	11
Приложение 1	12
Приложение 2	15

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с особенностями воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) СВЧ-диапазона на организм человека.

1.2. Изучить методику гигиенической оценки СВЧ-излучений в рабочей зоне производственных помещений.

1.3. Оценить измеренные уровни излучения с точки зрения безопасности для человека в заданных условиях.

1.4. Ознакомиться с основными методами и средствами защиты от электромагнитных излучений. Исследовать эффективность некоторых защитных экранов и материалов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Радиочастотный диапазон электромагнитных излучений (ЭМИ) 300 МГц – 300 ГГц (1м – 1мм) относится к СВЧ-диапазону. Основными источниками СВЧ-излучений на производстве являются: антенны радиопередающих устройств, отверстия и щели в фидерных линиях и фланцевых соединениях волноводов, неплотности и отверстия в экранирующих устройствах генераторов, открытые выходы генераторов, а также современные телекоммуникационные технологии.

2.1. Воздействие СВЧ – излучений на организм человека

Воздействие СВЧ-излучений на организм человека выражается тепловыми и нетепловыми (специфическими) эффектами, возникающими при нахождении человека в электромагнитном поле (ЭМП).

Поглощённая электромагнитная энергия вызывает нагрев тела и отдельных органов, увеличивает общее теплообразование в организме человека. Степень воздействия СВЧ-излучения зависит от свойств терморегуляции участков тела (перераспределении тепла между соседними тканями через кровь, конвекционная теплоотдача в окружающее пространство). Ткани и органы, у которых терморегуляция выражена слабо (вследствие небольшого числа находящихся в них кровеносных сосудов или менее интенсивного кровообращения), наиболее чувствительны к облучению (глаза, мозг и др.).

Наблюдения за состоянием здоровья людей, работающих с источниками ЭМП СВЧ-диапазона, выявили функциональные изменения в нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной, кроветворной, эндокринной и других системах организма. Субъективно реакция нервной системы человека проявляется в головной боли, повышенной утомляемости, нарушении сна, повышенной раздражительности, ослаблении памяти и др.

При длительном воздействии уровней СВЧ-излучений, превышающих гигиенические нормы, возможны изменения в крови, катаракта (помутнение

хрусталика глаза), снижение кровяного давления, трофические изменения (выпадение волос, ломкость ногтей и др.), а согласно последним данным – рост числа онкологических заболеваний, утрата репродуктивной функции, иммунитета.

Негативное влияние ЭМП, в том числе угнетение защитной реакции, значительно возрастает при совокупном воздействии ЭМИ с другими вредными факторами окружающей среды (увеличение радиационного фона, химического загрязнения воздушного и водного бассейнов, грунта, почв и др.).

Таким образом, степень функциональных нарушений и тяжести патологических изменений в организме человека зависит от количественных и качественных характеристик поля, наличия неблагоприятных санитарно-гигиенических факторов и индивидуальных особенностей организма. К воздействию ЭМП более чувствительны больные люди, дети и лица пожилого возраста.

2.2. Гигиеническая оценка и нормирование СВЧ – излучений

Основной количественной характеристикой электромагнитных полей СВЧ-диапазона при их оценке является плотность потока энергии (ППЭ), проходящая через единицу площади, перпендикулярной направлению распространения излучения в единицу времени в $мкВт/см^2$ или $Вт/м^2$.

Гигиеническая оценка СВЧ-излучений на производстве заключается в сравнении ППЭ на рабочих местах или в местах возможного нахождения персонала с предельно допустимой плотностью (ППЭ_{пд}).

Плотность потока энергии в контрольной точке (ПЛЭ,,) определяется по формуле:

$$ППЭ_{кт} = \frac{P_{cp} \cdot N}{\eta \cdot S_g}, мкВт/см^2$$

где: P_{cp} – измеренное среднее значение мощности, мкВт (Вт);

N – величина ослабления аттенюатора источника СВЧ-колебаний, раз (при выведенном аттенюаторе $N=1$);

η – коэффициент полезного действия термисторной головки измерительного моста (0,95);

S_g – эффективная площадь антенны измерителя мощности СВЧ колебаний ($51см^2$).

Расстояние, на котором плотность потока энергии от источника излучения не превышает предельно допустимого значения ($r_{пд}$), можно определить по формуле:

$$r_{пд} = r \cdot \sqrt{\frac{P_r}{P_{пд}}},$$

где: r – расстояние от источника до точки, в которой проводились измерения;

P_r и $P_{пд}$ – соответственно, измеренная в контрольной точке и допустимая плотность потока энергии при известной продолжительности облучения.

Предельно допустимое значение плотности потока энергии (ППЭ_{пд}) определяется по формуле:

$$ППЭ_{пд} = K \cdot \frac{ЭН_{ППЭпд}}{T}, \text{ мкВт/см}^2, (\text{Вт/м}^2)$$

где: K – коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, для которых $K=10$;

$ЭН_{ППЭпд}$ – максимальная предельно допустимая энергетическая нагрузка на организм, равная $200 \text{ мкВт} \cdot \text{ч/см}^2$ ($2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$);

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

Для ориентировочной оценки ожидаемых (прогнозируемых) уровней поля на рабочих местах и жилой территории допускается рассчитывать $ППЭ_{ож}$ по следующей формуле:

$$ППЭ_{ож} \approx \frac{P_{ср} \cdot G}{4\pi \cdot r^2}, \text{ мкВт/см}^2, (\text{Вт/м}^2)$$

где: $P_{ср}$ – средняя мощность излучателя, мкВт (Вт);

G – коэффициент усиления антенны (излучателя) (принять для данных условия $G = 3,0$);

r – расстояние до источника излучения, см (м).

2.3. Основные способы и средства защиты от СВЧ-излучений

Для снижения интенсивности поля в рабочей зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия.

В качестве инженерно-технических методов и средств применяются: экранирование излучателей, помещений или рабочих мест; уменьшение плотности потока энергии в рабочей зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты и др.

При экранировании используются такие явления, как поглощение электромагнитной энергии материалом экрана и её отражение от поверхности экрана. Поглощение ЭМИ обуславливается тепловыми потерями в материале за счёт индукционных токов и зависит от электромагнитных свойств экрана (электрической проводимости, магнитной проницаемости и т.д.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха (или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия) и материала экрана (прежде всего, волновых сопротивлений).

Для изготовления экранов применяют любые тонкие металлические листы (сталь, алюминий, медь или их сплавы) либо металлические сетки, т.к. обладающие хорошей электрической проводимостью и низким волновым сопротивлением.

ем, они обеспечивают хорошее экранирование как за счет поглощения, так и за счёт отражения.

Толщина экрана (d) из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм и должна быть больше глубины проникновения ЭМ волн в толщу экрана:

$$d \geq r = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu \cdot \omega \cdot \sigma}{2}}} \geq 0,5 \text{ мм},$$

где: r – глубина проникновения поля в проводящую среду, определяется как величина обратная коэффициенту затухания α , мм ($P_r = P_0 e^{-\alpha r}$, где e – основание натуральных логарифмов; P – плотность потока энергии, мкВт/см²);

ω – круговая частота, рад/с ($2\pi f$, где f – частота, Гц)

μ – магнитная проницаемость материала, Гн/м;

σ – электрическая проводимость материала, См.

Большая отражающая способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, т.к. может увеличивать интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных случаях применяют экраны с малым коэффициентом отражения специальной конструкции - преимущественно обладающие поглощением.

Требуемое ослабление поля (L_{mp}) и эффективность экранирования ($\mathcal{E}_{экр}$) определяются по формулам:

$$L_{mp} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_1}, \quad \mathcal{E}_{экр} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ}$$

где: P_1 и P_2 – плотность потока энергии до и после применения экрана; (P_1 и P_2 , соответственно, мощность СВЧ-излучения).

Применение поглощающих нагрузок и аттенуаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМИ при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используются специальные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Меры безопасности

1. Во избежание облучения во время измерений необходимо находиться вне сектора распространения излучаемой энергии.
2. Аттenuатор генератора между измерениями должен быть установлен на максимальное ослабление.
3. Не допускается перемещение излучающей антенны вне выделенной для экспериментальных работ зоны и направление её на работающих в лаборатории.
4. Измерения следует проводить не менее чем двумя лицами, одно из которых ориентирует антенну измерителя по отношению к источнику, другое – непосредственно измеряет и записывает уровни излучения.
5. Работы на излучающей и измерительной аппаратуре следует проводить после ознакомления с инструкциями по их эксплуатации (Приложение 1).

3.2. Описание экспериментальной установки

На рис.3 Л представлена блок-схема экспериментальной установки для выполнения лабораторной работы. В качестве источника СВЧ-излучений используется типовой генератор (ГЧ-32А). Для измерения мощности излучения и определения плотности потока энергии в контрольных точках применяется измерительный мост ПЗ-9 (или МЧ-2).

Как видно из рисунка, энергия СВЧ-диапазона от генератора (1) через рупорные антенны (2 и 4) поступает на термисторную головку (5), выход которой через коаксиальный кабель РК-50 соединяется с измерителем мощности (6). В пространство между излучающей и приёмной антеннами вводятся исследуемые экранирующие и поглощающие устройства и материалы (3).

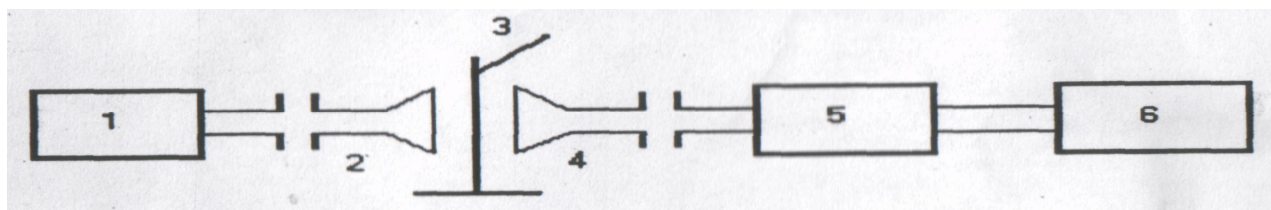


Рис.3.1. Блок-схема экспериментальной установки

3.3. Порядок выполнения работы

1. Подготовить измеритель мощности и источник СВЧ-энергии к работе в соответствии с инструкциями (Приложение 1).

2. Измерить мощность излучения на рабочем месте на расстояниях 10, 20 и 30 см от излучающей антенны измерительного прибора в двух направлениях (0° и 30°) от оси излучателя (не менее трех раз в каждой точке), ориентируя антенну на максимум излучения (рис. 3.2).

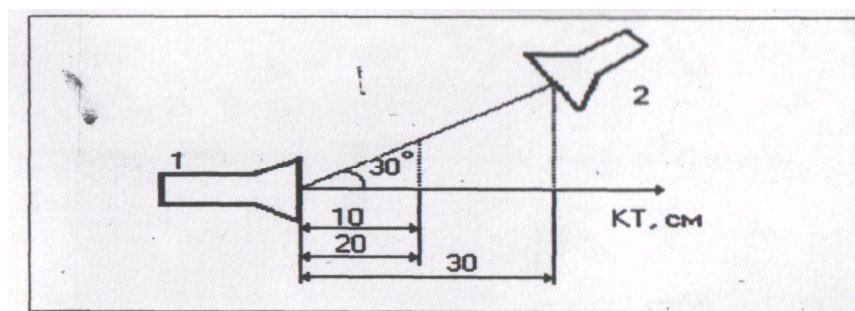


Рис. 3.2. Разметка контрольных точек (КТ) измерения мощности излучения (Р) на рабочем столе экспериментальной установки.

1 – излучающая антенна; 2 – приемная антенна.

Результаты измерений (усредненные значения) и расчетов занести в таблицу 3.1. Оценить опасность СВЧ-излучения на различных расстояниях от антенны, сравнив рассчитанные значения ППЭ в контрольных точках с предельно допустимыми, при длительности облучения, равной 5 часам. Сделать вывод о зависимости уровня излучения от расстояния до источника излучения и направленности.

Таблица 3.1.

№ п/п	Расстояние от источника, см (в двух направлениях)		Измеренное значение мощности, мкВт	Рассчитанное значение ППЭ, мкВт/см ²	Допустимое значение	Выводы
1	10	а) 0° б) 30°				
2	20	а) 0° б) 30°				
3	30	а) 0° б) 30°				

3. Определить экспериментально (на основании измерений) и рассчитать теоретически максимальное расстояние от излучателя ($r_{\text{ПД}}$) в направлении максимального излучения СВЧ-энергии, в пределах которого пребывание персонала в течение рабочего дня (5 часов) не допускается.

4. Определить допустимое время пребывания персонала в опасной зоне (на расстоянии $r < r_{\text{ПД}}$) в направлении максимального излучения источника.

Полученные по п.3 и п.4 результаты занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

Значение $r_{\text{ПД}}$, см		Допустимое время пребывания $T_{\text{ПД}}$ в зоне, $r < r_{\text{ПД}}$, ч	Выводы
Рассчитанное	Полученное в результате эксперимента		

5. Определить эффективность (в абсолютных и относительных единицах) защиты (экранирования) исследуемых экранов и материалов. Для чего определить плотность потока энергии на одном из расстояний от излучателя (например, 20 см) до и после установки экрана (ППЭ₁ и ППЭ₂, соответственно).

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.3 и сделать вывод об эффективности исследуемых защитных экранов, материалов и устройств.

Таблица 3.3.

№ п/п	Исследуемый материал, устройство	Измеренное значение мощности, мкВт (P_1 -без экрана, P_2 -за экраном)		Рассчитанное значение плотности потока энергии, мкВт/см ²		Эффективность экранирования, дБ	Выводы
		P_1	P_2	ППЭ ₁	ППЭ ₂		
1.	Сетка стальная, шаг 5 мм						
2.	Сетка стальная, шаг 2 мм						
3.	Сетка латунная, шаг 0,5 мм						
4.	Экран с поглощающим покрытием ЛУЧ-50						
5.	Тоже «болото»						
6.	Тоже БМП						
7.	Стекло с металлическим покрытием						
8.	Радиотехническая ткань						

6. Исследовать отражательную способность экранов и устройств ($K_{\text{отр}}$), используемых в работе. Для чего расположить исследуемый экран и приемную антенну измерителя в положение, соответствующее рисунку 3.3 и произвести необходимые измерения падающей на экран мощности от источника ($P_{\text{пад}}$) и отражаемой ($P_{\text{отр}}$). Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.4.

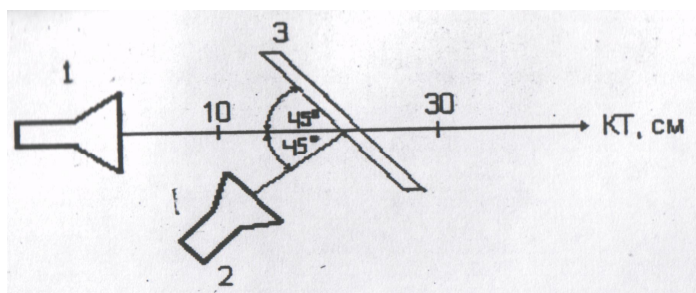


Рис. 3.3. Схема расположения элементов экспериментальной установки для измерения отражающей способности электромагнитных экранов.

1 – излучающая антенна; 2 – приемная антенна; 3 – экранирующее устройство.

Таблица 3.4.

№ п/п	Исследуемый экран или экранирующее устройство	Измеренные значения мощности, мкВт		Рассчитанное значение коэффициента отражения $K_{отр}$ ($R_{пад}/R_{отр}$), %	Выводы
		$R_{пад}$	$R_{отр}$		
1.	Лист стальной, толщина 0,1-0,5 мм				
2.	Стекло с металл. покрытием, толщина <0,001 мм				
3.	Сетка стальная, шаг 2 мм				
4.	Сетка стальная, шаг 5 мм				
5.	Материал типа «Луч-50»				
6.	Другие материалы				

7. Каждому члену студенческой бригады, выполнявшему данную лабораторную работу, выбрать из исследованных экранов и материалов наиболее эффективный и целесообразный для защиты персонала при условиях облучений, указанных в таблице 3.5.

Таблица 3.5.

Номер члена бригады	1	2	3	4	5
Длина волны ЭМП, см	3	10	8	3	8
ППЭ на рабочем месте ($r=20$ см) при отсутствии экрана, мкВт/см ²	300	725	525	400	375
Продолжительность работы (облучения) в течение рабочего дня, ч	6	3	4	2	4
Вывод (наиболее подходящий экран или материал)					

8. По проделанной работе подготовить письменный отчет, в котором представить: название и цель работы, блок-схему экспериментальной установки, результаты измерений и расчетов.

3.4. Контрольные вопросы

1. В чем состоит особенность воздействия ЭМП СВЧ-диапазона на организм человека?
2. В чем суть гигиенической оценки ЭМП СВЧ-диапазона?
3. Назовите основные методы и средства защиты от ЭМП радиочастотного диапазона?
4. В чем суть экранирования, используемого для защиты от электромагнитных излучений?
5. Какие физические явления используются при экранировании и каковы принципы работы отражающих и поглощающих экранов?

Литература

1. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона. СанПиН РБ 11-17-94.

Индивидуальное задание

1. Обоснуйте необходимость использования конкретных методов и средств коллективной индивидуальной защиты персонала от неблагоприятного действия ЭМП СВЧ-диапазона при следующих условиях:

Характер работы персонала	Источник излучения	Средняя мощность, измеренная в рабочей зоне, мВт	Время работы персонала в условиях облучения, ч
1. Работа оператора по обслуживанию РТС	Паразитное излучение от генератора	10	2
		5	4
		11	1
		1	5
2. Работа оператора в зоне излучения антенны	Направленное излучение, сканирующая антенна	70	0,5
		100	1,0
		80	0,75
		90	0,25
3. Работа персонала с источниками ЭМИ в производственных помещениях	Ненаправленное излучение (утечка ЭМИ). Направленное излучение при наладке приборов	0,6	6
		1	4
		5	4
		0,8	5