«Московский государственный технический университет

имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Дополнительное методическое описание к лабораторной работе «Исследование методов защиты от воздействия ЭМП»

Работа выполняется в дистанционном режиме.

Москва 2020

Содержание:

1. Источники электромагнитных полей_____2
2. Характеристики ЭМП поля_____2
3. Воздействие ЭМП на человека_____ 3
4. Нормирование ЭМП_____4
5. Способы защиты от ЭМИ_____7
6. Расчет эффективности экранирования_____8

1. Источники электромагнитных полей

Человек в условиях современной техногенной цивилизации постоянно испытывает на себе воздействие электромагнитных полей (ЭМП). ЭМП возникают при работе всех электрических машин, установок, приборов, электрических устройств, везде, где протекает переменный электрический ток, например, возле линии электропередачи, при работе электроннолучевой трубки телевизора или монитора компьютера. Особенно интенсивное ЭМП может возникнуть при работе специально созданных источников ЭМП двух классов.

Первый класс источников ЭМП составляют источники, предназначенные для передачи информации: радиолокационные системы, передающие (РЛС), передающие системы телевидения и радиовещания, дефектоскопы, сотовые системы телефонии, бытовые радиотелефоны.

Второй класс источников ЭМП - технологические установки: электромагнитная сепарации руд, печи индукционного нагрева металлов, сушки древесины, термической обработки полимеров, строительных материалов, бытовые микроволновые печи и т.п. В окружающей среде и помещениях при работе этих источников могут создаваться опасные зоны со значениями энергии, превышающими установленные для человека санитарные нормы.

2. Характеристики ЭМП

Электромагнитное поле – это совокупность двух неразрывно связанных между собой полей, электрического и магнитного, характеризующихся напряженностями Е ,В/м и Н А/м. Изменение этого поля в пространстве происходит с той же частотой (*f*, Гц), с которой пульсирует ток в проводнике. Расстояние, на которое распространяется электромагнитная волна за один период в воздухе, называется длинной волны $\lambda = c/f$, где с – скорость света, м/с. Пространство вокруг источника электромагнитного поля можно разделить на три зоны: зону формирования волны (*зону Френеля*), которая находится на расстоянии R<λ/2π, *зону интерференции* характеризующейся наличием максимумов и минимумов плотности потока энергии и находится на расстоянии от источника λ/2π <R<2πλ и зону излучения (*зона Фраунгофера*) на расстоянии R>2πλ , в которой основной характеристикой является плотность интенсивность I Вт/$м^2$ или плотность потока энергии ППЭ . В первой зоне основными характеристиками ЭМП являются отдельно напряженности электрического Е В/м и магнитного полей Н,А/м, в зоне интерференции существуют и та и другая составляющие электромагнитного поля , но основной является третья- интенсивность I Вт/$м^2$ или плотность потока энергии ППЭ Вт/$м^2$, в *зоне излучения*, когда существует четкая взаимосвязь между электрическим и магнитным полем - это плотность потока энергии ППЭ , Вт/$м^2$. Процессы, происходящие в живых организмах под воздействием ЭМП, зависят от времени воздействия *t* и частоты ЭМП энергетической нагрузки, которая определяется как:

$$ЭЭ_Е = Е^2 \cdot t, \left({}^{В}/_{м}\right)^2 \cdot ч; ЭЭ_H = H^2 \cdot t, \left({}^{A}/_{м}\right)^2 \cdot ч;$$

$$ЭЭ_{ППЭ} = ППЭ \cdot t, \left({}^{Вт}/_{м^2}\right). ч$$

В таблице1 приведена классификация ЭМП полей в зависимости от диапазона радио частот (РЧ).

Таблица1

Диапазон радиочастот	Частота в Гц	Длинна волны, м	Нормируемые величины
Высокие частоты ВЧ	30кГц -3МГц	10000----100	Е В/м; Н, А/м; $ЭЭ_Е$;$ЭЭ_H$
Ультравысокие частоты-УВЧ	3МГц……300МГц	100……..1	Е В/м; Н, А/м; $ЭЭ_Е$; $ЭЭ_H$
Сверх высокие частоты--СВЧ	300МГц 300Ггц	1……0,001	ППЭ, $ЭН_{ППЭ}$

3. Воздействие ЭМП на человека

Воздействие ЭМП на человека зависит от энергии ЭМП, величин параметров поля поглощенной человеком за время облучения величин составляющих ЭПМ поля: Е,Н, ППЭ и от частоты t (диапазона длин волн ВЧ, УВЧ и СВЧ) или длинны волны. На диапазоне ВЧ длина волн ЭМП значительно больше размеров тела человека. Тело человека можно считать однородным проводящим эллипсоидом. Максимальные токи возникают в теле, когда его большая ось расположена параллельно силовым линиям ЭМП. Под воздействием длинноволнового поля прежде всего страдает нервная и иммунная система системы организма человека, повышается утомляемость и уменьшается производительность труда. Наблюдается ломкость ногтей, волос, сухость кожи. Но все нарушения в работе организма являются обратимыми и после отдыха во время очередного отпуска организм восстанавливается.

На более высоких частотах в УВЧ- и СВЧ-диапазонах длинна волны становится соизмерима с размерами тела человека и даже с размерами отдельных органов. В тканях тела человека начинают преобладать диэлектрические потери, изменяются составы лимфы и крови, т.к. их частицы выстраиваются параллельно силовым линиям ЭМП. Энергия ЭМП поглощается организмом, переводится в тепловую и на очень высоких уровнях ЭМП и при соответствующей длительности воздействия может поднять температура тела человека. Хроническое и острое воздействие электромагнитного поля на организм человека. Под воздействием ЭМП высокой интенсивности могут возникнуть острые нарушения в организме: облысение, бесплодность катаракта хрусталика глаза, страдают органы со слабо выраженным механизмом терморегуляции: мозг, глаза желчный, мочевой пузыри и нервная система. На очень высоких уровнях поля возможны ожоги роговицы глаза. В целом при длительном воздействии поля наблюдается старение организма. Особенно сильное воздействие оказывает высокочастотное электромагнитное поле с длинной волны меньше 1м. При остром воздействии такого поля врачи могут поставить диагноз *СВЧ-синдром*. Таким образом, если не принять мер защиты, то излучаемая энергия ЭМП может оказать вредное влияние на организм человека.

4. Нормирование ЭМП

Нормирование осуществляется в соответствии с СаНПиН 2.2.4.3359-16 [1]. Нормирование ЭМП промышленной частоты в условиях производства осуществляется по напряженности электрической составляющей поля. Допустимая напряженность электрического поля должна быть $E_Д \leq 5$ кВ/м при ра-

боте в работника в течение всего рабочего дня. При работе в напряженности поля от 5 до 20 кВ/м допустимое время нахождения в опасной зоне в часах определяется по формуле $T = (50/E_{изм})^{-2}$, где $E_{изм}$ - измеренная величина напряженности электрического поля. Предельно допустимый уровень напряженности для производства 25 кВ/м. Для жилого сектора напряженность от линии электропередач не должна превышать: -на территории жилой застройки 1 кВ/м; -внутри жилых зданий 0,5 кВ/м.

Нормирование полей радиочастот. Для лиц, профессионально связанных с источниками ЭМП, радиочастотная оценка безопасности ведется по энергетической нагрузке ($ЭЭ_E$; $ЭЭ_H$;$ЭЭ_{ППЭ}$) и по напряженностям электрического E,В/м и магнитного поля H, А. Для лиц , находящихся на территории жилой застройки, в местах по отдыха, оценка ведется только по напряженностям и интенсивности полей (E, H, I или ППЭ). В таблице 2 указаны максимальные значения нормируемых параметров для различных диапазонов ЭМП.

Таблица 2

Предельно допустимый параметр	ВЧ	УВЧ	УВЧ	СВЧ
E,В/м	500	300	80	-
H,А/м	50	-	-	-
I(ППЭ),Вт/м2	-	-	-	25
$ЭЭ_E$ $(В/м)^2 \cdot ч$	20000	7000	800	
$ЭЭ_H$ $(А/м)^2 \cdot ч$	200	-	-	
$ЭЭ_{ППЭ}$ $(Вт/м^2)^2 \cdot ч$	-	-	-	2/К

Предельно допустимые значения параметров ЭМП на рабочих местах персонала с учетом времени воздействия t рассчитывают по следующим формулам $E_{ПД}=\sqrt{ЭЭ_E / t}$, $H=\sqrt{ЭЭ_H / t}$, $ППЭ=ЭЭ_{ППЭ}/t$, где $ЭН_E$, $ЭН_H$, $ЭН_{ППЭ}$, максимально допустимые значения энергетической нагрузки из таблицы 2; К- коэффициент ослабления биологического воздействия. (К=10 для случая сканирующих и вращающихся антенн, К=12,5 при локальном облучении узкими полосками кистей рук (при работе с измерительными инструментами, излучающими ЭМИ узкими полосками), К=1 для источников постоянного действия).

Для бытовых источников ЭМП массового пользования, таких как сотовые телефоны и микроволновые печи, существуют специальные нормы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы определяют допустимую облученность электромагнитными полями работников передающих станций и население(СанПиН 2.1.8./2/4.1190-03). Система сотовой радиосвязи работают в интервале частот 400 МГц…..1,2 ГГц , т.е. в диапазоне СВЧ. Максимальная мощность передатчиков базовой станции не превышает 10….16 Вт. Мощность передатчиков автомобильных станций 8…..20 Вт, ручных радиотелефонов 0,8…..5Вт. Лица, профессионально связанные с источниками ЭМП, подвергаются его воздействию в течении рабочего дня, население, проживающие в непосредственной близости от базовых станций до 24 часов в сутки, пользователи - только во время телефонных разговоров. Предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных полей базовых станций на рабочих местах персонала представлены в таблице 3.

таблица 3.

Предельно допустимое значение $ЭЭ_E$	27 f<30	30 f<300	300 f<2400
Предельно допустимое значение $ЭЭ_E$	7000 $(В/м)^2$ ·ч	800 $(В/м)^2$ ·ч	200 (мкВт/см)·ч
Максимальный ПДУ	296 В/м*	80 В/м*	1000 мкВт/см *
ПДУ для Т 8 ч за смену	30 В/м	10 В/м	25 мкВт/см

Предельно допустимые уровни ППЭ, создаваемые микроволновыми печами составляют 0,1 Вт/$м^2$ на расстоянии 50$\pm$ 5 см от любой точки наружной поверхности микроволновой печи.

5. Способы защиты от электромагнитных полей. Существую следующие способы защиты от ЭМП:

1.Уменьшение интенсивности источника;
2. Изменение направленности излучения;
3.Уменьшение времени воздействия;
4.Увеличение расстояния до источника излучения;
5.Защитное экранирование;
6. Применение средств индивидуальной защиты.

Экранирование - один основных и наиболее часто применяемых методов защиты от ЭМП. Высокими экранирующими свойствами обладают материалы с высокой электропроводностью. Высокая электропроводность свойственна прежде всего металлам. Конструктивно экраны могут быть сплошными, сетчатыми, ячеистыми, выполненными из специального стекла с проводящим покрытием окислами металлов, чаще всего – цинка. Если экран сетчатый ил ячеистый, то размер ячейки должен быть значительно меньше длинны ЭМП.

Физическую сущность электромагнитного экранирования высокочастотного поля, с точки зрения электрической теории ЭМП, объясняют тем что под действием его в материале экрана наводятся токи, поля которых по величине близки, а по направлению противоположны экранируемому. Результирующая от сложения двух полей очень быстро убывает в материале экрана. При экранировании высокочастотных ЭМП индуцируемые токи концентрируются вблизи поверхности материала экрана (явление поверхностного эффекта – токи Фуко). Расстояние вдоль распространения ЭМП на котором величины составляющих его Е и Н уменьшаются в 2,73 раза называют *глубиной проникновения* δ поля в материал экрана. Согласно волновой теории электромагнитного поля часть падающей энергии отражается от экрана, часть поглощается, часть проходит сквозь экран. Величина этих частей зависит от электрических свойств материалов экрана.

6. Расчет эффективности экранирования.

При экранировании электромагнитного излучения часть отражается от материала экрана, часть поглощается материалом экрана и часть проходит через экран. При экранировании металлами большая часть электромагнитной энергии отражается от экрана, другая часть поглощается и практически несколько энергии не проходит сквозь экран. В целом эффективность тонких металлических экранов зависит от соотношения толщины экрана d к глубине проникновения δ, которая определяется соотношением

$$\delta = \sqrt{\rho/(\pi f \mu)}, \text{ м}, \qquad (1)$$

где ρ – удельная проводимость материала экрана Ом·м; μ − магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м, f- частота ЭМП в МГц.

При соотношении $d/\delta > 0{,}8$ эффективность металлического экрана можно определить по формуле [3]:

$$Э = 36 + 20\lg(\delta/\rho) + 8{,}7(d/\delta), \text{ дБ}. \qquad (2)$$

В формуле (2) первые два слагаемых определяет эффективность экранирования за счет отражения от экрана, а третье − эффективность экранирования за счет поглощения ЭМИ в материале экрана.

В случае проведения экспериментальных исследований эффективность экранирования определяют после замеров по формуле:

$$Э=10 \lg (ППЭ_1/ППЭ_2) , \quad (3)$$

Зная величину плотности потока энергии перед экраном, $ППЭ_1$, можем, после определения расчетной эффективности экранирования, рассчитать величину поля за экраном $ППЭ_2$, согласно выражению:

$$ППЭ_2=ППЭ_1/10^{0,1Э}, \quad (4)$$

В таблице 4 представлены характеристики некоторых распространенных металлических материалов.

Таблица 4

Материал	Удельное сопротивление ρ,Ом·м	Магнитная проницаемость μ ,Гн/м
Алюминий	$2,7\cdot10^{-8}$	$1,26\cdot10^{-6}$
Железо	$9,7\cdot10^{-8}$	$6,3\cdot10^{-3}$
Медь	$1,7\cdot10^{-8}$	$1,3\cdot10^{-6}$
Нержавеющая сталь	$7,5\cdot10^{-8}$	$1,0\cdot10^{-3}$
Никель	$8,7\cdot10^{-8}$	$1,25\cdot10^{-4}$
Платина	$10,7\cdot10^{-8}$	$1,26\cdot10^{-6}$
Углеродистая сталь	$12,0\cdot10^{-8}$	$1,2\cdot10^{-4}$

Порядок выполнения работы:

1. Получите у преподавателя вариант задания с исходными данными, приведенными в Приложении 1.
2. Для заданного материала экрана найдите, пользуясь таблицей 4, его характеристики.
3. Вычислите для данного экрана глубину проникновения δ и эффективность экранирования Э в заданном частотном диапазоне.
4. Постройте графики эффективности данного экрана для двух его толщин в заданном частотном диапазоне.

5. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы по работе.
6. Оформить отчёт по образцу, приведённому в Приложении 2.

Контрольные вопросы:

1. Какие источники ЭМП Вы знаете в биосфере и в техносфере?
2. Какими физическими характеристиками оценивается электромагнитное поле?
3. Как ЭМП воздействует на организм человека?
4. Расскажите принципы нормирования ЭМП?
5. Какие существуют способы защиты человека от высоких уровней ЭМП?
6. Каков принцип действия экранов от ЭМП и как оценивается эффективность экранирования от источников ЭМП?

Литература:

1. СаНПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

2. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи

3. Полонский Б.Н. Конструирование электромагнитных экранов для РЭА. М.: Издательство "Советское радио", 1979. 216 с.

Приложение 1

Варианты задания

№	Материал	Частотный диапазон	Толщина экрана1	Толщина экрана 2
1	Алюминий	10 кГц-100 кГц	2 мм	5 мм
2	Алюминий	100 кГц-1 МГц	0,2 мм	0,5 мм
3	Алюминий	1 МГц -10 М Гц	0,02 мм	0,05 мкм
4	Алюминий	10 МГц-100 МГц	0,002 мм	0,005 мм
5	Медь	10 кГц-100 кГц	2 мм	5 мм
6	Медь	100 кГц-1 МГц	0,2 мм	0,5 мм
7	Медь	1 МГц -10 М Гц	0,02 мм	0,05 мкм
8	Медь	10 МГц-100 МГц	0,002 мм	0,005 мм
9	Никель	10 кГц-100 кГц	2 мм	5 мм
10	Никель	100 кГц-1 МГц	0,2 мм	0,5 мм
11	Никель	1 МГц -10 М Гц	0,02 мм	0,05 мкм
12	Никель	10 МГц-100 МГц	0,002 мм	0,005 мм
13	Платина	10 кГц-100 кГц	2 мм	5 мм
14	Платина	100 кГц-1 МГц	0,2 мм	0,5 мм
15	Платина	1 МГц -10 М Гц	0,02 мм	0,05 мкм
16	Платина	10 МГц-100 МГц	0,002 мм	0,005 мм
17	Углеродистая сталь	10 кГц-100 кГц	2 мм	5 мм
18	Углеродистая сталь	100 кГц-1 МГц	0,2 мм	0,5 мм
19	Углеродистая сталь	1 МГц -10 М Гц	0,02 мм	0,05 мкм
20	Углеродистая сталь	10 МГц-100 МГц	0,002 мм	0,005 мм

Приложение 2

МГТУ им. Н.Э. Баумана Кафедра Э9	Отчет о лабораторной работе «Исследование методов защиты от воздействия ЭМП» Вариант №	
		(индекс группы)
		(Ф.И.О. студента)

Материал экрана_____ ρ = _____ μ= _____

Толщины экрана_d_1=_____d_2=_____ Частотный диапазон_____

Формула для глубины проникновения ЭМП:

δ =

Формула для эффективности экранирования:

Э =

Эффективность экранов на нижней граничной частоте заданного частотного диапазона:

$Э_{d1}$ = дБ $Э_{d2}$ = дБ

Графики эффективности экранов в заданном частотном диапазоне

Э, дБ

f,

Выводы по результатам проведенных расчетов: