

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Методические указания
к лабораторной работе № 16

САМАРА 2004

Составители: Г. Ф. Несолонов, В. Н. Вякин, В. В. Морозов, С. С. Козий

УДК 658.3.043

Исследование напряженности электромагнитных полей высоких частот: Метод. указания к лаб. раб. №16/Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Г. Ф. Несолонов, В. Н. Вякин, В. В. Морозов, С. С. Козий. Самара, 2004. 26 с.

Рассматриваются общие сведения об электромагнитных полях (ЭПМ) и снижении их отрицательного воздействия на человека за счёт изменения параметров, характеризующих нормированное ЭМП.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности». Разработаны на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Проничев Н. Д.

Лабораторная работа №16

Цель работы: исследование основных методов защиты человека от электромагнитных излучений (ЭМИ) высоких частот на производстве, приобретение практических навыков по изменению напряженности электромагнитных полей ЭМП.

1. Общие сведения об электромагнитных полях

ЭМП в зависимости от природы подразделяются на естественные и антропогенные.

Естественные поля образуются от солнечных, космических излучений, излучений Земли за счет её вращения вокруг своей оси и перераспределения скорости движения магмы с образованием так называемых гравитационных волн, а также в атмосфере из-за электризации облаков и их пробоя.

Антропогенные ЭМИ образуются электрическими генераторами, антеннами, в том числе сканирующими, линиями электропередач, радиолокационными и радиопередающими станциями (РЛС и РПС), индукционными печами и т.п. Кроме того, источниками таких излучений могут являться ненадежно заземленные экраны электроустройств, панели шкафов, кабельные каналы и др.

Существенной особенностью искусственных источников электромагнитной биосферы, в отличие от природной, является высокая когерентность и большая концентрация энергии в тех или иных областях спектра радиочастот.

2. Воздействие электромагнитных полей на человека

В зависимости от места нахождения работающего относительно источника излучений он может подвергаться воздействию как электрической E , так и магнитной H составляющей или воздействию сформированной электромагнитной волны, основным параметром которой является плотность потока энергии. В зависимости от воздействия ЭМП на чело-

века принято различать четыре вида облучения: профессиональное, непрофессиональное, в быту, облучение в лечебных целях.

При воздействии ЭМП на живые организмы имеет место явление отражения, проводимости и поглощения электромагнитной энергии (ЭМЭ) тканями.

Воздействие ЭМП промышленной частоты оказывает влияние на центральную нервную (ЦНС) и сердечно-сосудистую системы (С-СС), реагирующие даже на незначительные уровни ЭМП. Это приводит к снижению частоты сердечных сокращений (брадикардия), падению систолического давления, повышению тонуса сосудов, морфологическим изменениям (изменение строения и внешнего вида тканей), увеличению скорости кровотока, расширению артерий; изменениям в печени, легких, почках, поджелудочной железе (вплоть до омертвления). Наиболее выраженные изменения при воздействии ЭМП происходят в мужских половых органах.

Воздействие ЭМП на организм человека может быть с биологической точки зрения обратимым и необратимым.

К обратимому состоянию можно отнести сосудистые изменения в организме человека, головные боли, головокружение, слабость, тошноту, изменение ритма сердечных сокращений и артериального давления. Чаще это связано с кумулятивным действием ЭМП относительно низких уровней излучения. Нарушения отмечаются стойкостью и сохраняются до 1,5...2,0 месяцев.

При необратимых изменениях меняется состав крови. Это характерно для ЭМИ с сантиметровой и дециметровой длиной волны λ ; нарушаются рефлекторные, физиологические и биологические процессы в организме, регуляция С-СС, возникает гипотония, гепатиты.

ЦНС страдает от воздействия всех ЭМП, в том числе и постоянных. Опасным является изменение регуляторной функции нервной системы. Это отражается в нарушении: ранее выработанных условных рефлексов организма; характера и интенсивности физиологических и биохимических процессов в организме; функций различных отделов нервной системы; нервной регуляции С-СС.

Под воздействием ЭМП и ЭМИ происходит поглощение энергии тканями тела организма. Механизм поглощения энергии сложный. В облучаемых тканях возникает ионная дисперсия, дипольное и резонансное поглощение.

В постоянном электрическом поле ткани тела поляризуются, молеку-

лы (в основном воды) ориентируются вдоль силовых линий, однако ионные токи протекают только по межклеточным жидкостям, а так как мембраны клеток - изоляторы, они надежно изолируют внутриклеточное содержание. При высоком постоянном напряжении возможен электрофорез (перемещение заряженных частиц в виде микромолекул и даже клеток).

В переменных ЭМП электрические свойства живых тканей зависят от частоты, причем с возрастанием частоты они теряют свойства диэлектриков и приобретают свойства проводников. Энергия ЭМИ, поглощаемая тканями и организма, превращается в тепловую энергию.

Нагрев тканей и органов является функцией интенсивности и частоты поля излучения и длительности облучения. Тепловое воздействие характеризуется общим повышением температуры тела, подобно лихорадочному состоянию, либо локальным нагревом тканей.

При общем облучении повышение температуры тела человека более чем на 1° недопустимо.

Нагрев особенно опасен для организма со слабой терморегуляцией, которая может нарушать температурный режим жизненно важных органов. К таким органам можно отнести: мозг, органы зрения, почки, желудок и др.

Если частоты ЭМИ совпадают с собственными частотами возбуждения молекул, то возможно полное резонансное поглощение энергии. При этом происходит преобразование молекул, развиваются процессы биокаталитического характера и др.

При длине волны, соизмеримой с размерами тела человека или его отдельными органами, образуются стоячие волны в живом организме, что приводит к концентрации тепловой энергии с последующим повреждением организма даже при облучении полями малой интенсивности (табл. 1).

ЭМИ с длиной волны от 1 до 20 см могут вызвать катаракту глаз, то есть потерю зрения. Под влиянием магнитных полей (МП) промышленной частоты в органах зрения появляется «Магнитный фосфен» (ощущение мелькания, возрастает время неясного видения).

Установлено и нетепловое действие ЭМП. Это действие приводит к изменению строения тканей и органов человека, расстройствам питания тканей, изменениям структуры клеток, крови и др.

Под воздействием ЭМП высокой и сверхвысокой частоты (ВЧ и СВЧ соответственно) твердые взвешенные частицы, содержащиеся в жироро-

вой ткани, крови, лимфе, образуют так называемый ориентационный эффект, или «эффект жемчужной нити». Они собираются в кольцеобразные цепочки, подобно ниткам жемчуга. Этот эффект вызывает кожное заболевание, проявляющееся в появлении ряда последовательно расположенных пузырьков, наполненных мутноватой жидкостью.

Таблица 1

Возможные изменения в организме человека
под влиянием ЭМИ различных интенсивностей

Интенсивность ЭМИ, Вт/см ²	Наблюдаемые изменения
600	Болевые ощущения в период облучения
200	Угнетение окислительно-восстановительных процессов в ткани
100	Повышенное артериальное давление с последующим его снижением; в случае воздействия - устойчивая гипотония. Двусторонняя катаракта
40	Ощущение тепла. Расширение сосудов. При облучении в течение 0,5...1 ч повышение давления на 20...30 мм рт. ст.
20	Стимуляция окислительно-восстановительных процессов в ткани
10	Астенизация после 15-минутного облучения, изменение биоэлектрической активности головного мозга
8	Неопределенные сдвиги со стороны крови с общим временем облучения 150 ч, изменение свертываемости крови
6	Электрокардиографические изменения, изменения в рецепторном аппарате
4-5	Изменение артериального давления при многократных облучениях, непродолжительная лейкопения
3-4	Ваготоническая реакция с симптомами брадикардии, замедлением электропроводимости сердца
2-3	Выраженный характер снижения артериального давления, тенденция к учащению пульса, незначительные колебания объема крови сердца
1	Снижение артериального давления, тенденция к учащению пульса, незначительные колебания объема крови сердца. Снижение офтальмотонуса при ежедневном воздействии в течение 3,5 мес.
0,4	Слуховой эффект при воздействии импульсных ЭМП
0,3	Некоторые изменения со стороны нервной системы при хроническом воздействии в течение 5...10 лет
0,1	Электрокардиографические изменения
≤0,05	Тенденция к понижению артериального давления при хроническом воздействии

В настоящее время известно, что биологическая активность ЭМП, МП и ЭМИ зависят:

- от интенсивности и частоты полей и излучений;
- вида модуляции;
- поляризации;
- биологической активности органов и организма;
- электрических свойств тканей;
- длительности облучения, что, в конце концов, сказывается на биофизической регуляции организма в целом.

При комбинированном воздействии ЭМИ с другими неблагоприятными факторами (аддитивном воздействии) среды обитания отмечается дезаптирующее действие радиоволн - снижение приспособляемости организма к другим видам воздействия, в частности к шуму, рентгеновскому излучению, тепловому воздействию.

3. Основные характеристики ЭМП

ЭМП вокруг любого точечного источника излучения волн условно разделяют на три зоны:

- ближнюю - зону индукции

$$\text{с радиусом } R \leq \frac{\lambda}{2\pi}; \quad (1)$$

- промежуточную - зону интерференции

$$\frac{\lambda}{2\pi} \leq R \leq 2\pi\lambda; \quad (2)$$

- волновую - зону излучения

$$R \geq 2\pi\lambda, \quad (3)$$

где λ - длина волны, R - расстояние до источника.

Точечным считается источник излучения, размеры которого меньше длины волны излучения λ .

Основными параметрами электромагнитных колебаний являются:

- λ - длина волны излучения, м;
- f - частота колебаний. Гц;
- c - скорость распространения волны, км/с (равна скорости света - c = 300000 км/с);

- T - период колебания, с;
- E - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м;
- H - напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м.

Период и частота колебаний связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью:

$$T = \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Расстояние, на которое перемещается волна за промежуток времени, равный одному периоду колебаний, называется длиной волны λ . Следовательно:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}. \quad (5)$$

Между электрической E и магнитной H составляющими ЭМП нет определенной зависимости. Они могут отличаться друг от друга во много раз.

Напряжение электрической E и магнитной H составляющих в зоне индукции смещены по фазе на 90° . Когда одна из них достигает максимума, другая равна нулю.

В зоне излучения напряженность обеих составляющих ЭМП совпадает по фазе и в любой момент находится в пропорциональной зависимости. Так, для ЭМП, распространяющихся в воздушной среде, эта зависимость определяется:

$$E = 377H. \quad (6)$$

4. Нормирование электромагнитных полей

Нормирование ЭМП включает следующие этапы:

- выбор необходимых и достаточных для анализа ЭМП параметров;
- оценка количественной и качественной характеристики выбранных параметров;
- определение распространенности и времени действия факторов;
- сравнение параметров ЭМП с нормативными значениями в соответствующих диапазонах частот;
- конструирование формы, учитывающей сочетание выбранных параметров и удобной для использования на практике. Форма выбирается по

максимальной или средней предельной плотности мощности энергии или дозы (ППМ_{max} или ППМ_{ср}).

В зависимости от места и условий воздействия ЭМИ различают четыре вида облучения:

- профессиональное;
- непрофессиональное;
- облучение в быту;
- облучение, осуществляемое в лечебных условиях.

По характеру облучение может быть местным или локальным. Эти два последних обстоятельства также должны быть учтены при нормировании ЭМП и ЭМИ.

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой $f = 50$ Гц в зависимости от времени пребывания и регламентируется [1] и [2]. Влияние электрических полей переменного тока промышленной частоты в условиях населенных мест (внутри жилых зданий на территориях жилой застройки и т.д.) ограничивается санитарными нормами [3].

Нормирование напряженности электрических полей осуществляется в соответствии с [4], а магнитных полей согласно [5].

Большую часть спектра неионизирующих ЭМИ составляют радиоволны (3 Гц ... 3000 ГГц). В зависимости от частоты ЭМИ тканей организмов проявляют различные электрические свойства и ведут себя как проводники и диэлектрики.

С учетом радиофизических характеристик условно выделяют пять диапазонов частот радиоволн:

- до 30 МГц;
- 30 МГц... 10 ГГц;
- 10 ГГц... 200 ГГц;
- 200 ГГц ... 3000 ГГц;
- более 3000 ГГц.

Нормирование ЭМИ радиочастотного диапазона проводится в соответствии с [6] и [7]. В основу гигиенического нормирования в этом случае положен принцип действующей дозы, учитывающий энергетическую нагрузку на организм.

В диапазоне частот 60 кГц ... 300 МГц интенсивность ЭМП выражается предельно допустимыми напряженностями $E_{пд}$ и $H_{пд}$. Помимо этого

нормируемыми параметрами являются предельно допустимые электрические нагрузки $\mathcal{E}H_E$ и $\mathcal{E}H_H$:

$$\mathcal{E}H_E = E^2 \cdot T, \quad (7)$$

$$\mathcal{E}H_H = H^2 \cdot T, \quad (8)$$

где T - время воздействия в часах.

Предельно допустимые значения E и H в диапазоне $f = 60$ кГц ... 300 МГц на рабочих местах персонала устанавливаются, исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия, и определяют по следующим выражениям:

$$E_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}}{T}}, \quad (9)$$

$$H_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}}{T}}, \quad (10)$$

Здесь $\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}$ и $\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня, $((\text{В}/\text{м}^2) \cdot \text{ч})$ и $((\text{А}/\text{м}^2) \cdot \text{ч})$, которые приведены в табл. 2 (см. [6] и [7]).

Таблица 2

Максимальные значения $\mathcal{E}H_E$, $\mathcal{E}H_H$, $\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}$ и $\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}$

Параметр	Диапазон частот, МГц		
	0,03...3,00	3...30	30...3000
$E_{\text{пд}}, \text{В}/\text{м}$	500	300	80
$H_{\text{пд}}, \text{А}/\text{м}$	50	-	-
$\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}, (\text{В}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}, (\text{А}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$	200	-	-

В диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц интенсивность ЭМИ характеризуется плотностью потока энергии (ППЭ); энергетическая нагрузка представляет собой:

$$\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T, \quad (11)$$

где T - время воздействия, ч.

Предельно допустимые значения ППЭ ЭМП в этом случае:

$$ППЭ_{нд} = \frac{K \cdot ЭН_{ППЭ_{нд}}}{T}$$

где K - коэффициент ослабления биологической эффективности:

K = 1 - для всех случаев, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

K = 10 - для сканирующих и вращающихся антенн;

$ЭН_{ППЭ_{нд}} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-1}$;

T - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену в часах.

Во всех случаях ППЭ_{нд} не должна превышать 10 Вт/м², а при локальном облучении кистей рук 50 Вт/м².

Предельно допустимые уровни ЭМИ для телевизионных установок в диапазоне f = 48,4... 300 МГц регламентируются в санитарных нормах [8] (табл. 3).

Таблица 3

Предельно допустимые уровни напряженности электрической и магнитной составляющей и плотности потока энергии в диапазоне частот от 0,03 до 300 МГц в зависимости от продолжительности воздействия ЭМИ

Продолжительность воздействия T, ч	E _{гду} , В/м			H _{гду} , А/м		ППЭ _{плу'} , Вт/см ²
	0,03...3,00 МГц	3...30 МГц	30...300 МГц	0,03...3,00 МГц	30...50 МГц	
≥ 8,0	50	30	10	5,0	0,30	25
7,5	52	31	10	5,0	0,31	27
7,0	53	32	11	5,3	0,32	29
6,5	55	33	11	5,5	0,33	31
6,0	58	34	12	5,8	0,34	33
5,5	60	36	12	6,0	0,36	36
5,0	63	37	13	6,3	0,38	40
4,5	67	39	13	6,7	0,40	44
4,0	71	42	14	7,1	0,42	50
3,5	76	45	15	7,6	0,45	57
3,0	82	48	16	8,2	0,49	67
2,5	89	52	18	8,9	0,54	80
2,0	100	59	20	10,0	0,60	100
1,5	115	68	23	11,5	0,69	133
1,0	141	84	28	14,2	0,85	200
0,5	200	118	40	20,0	1,20	400
0,25	283	168	57	28,3	1,70	800
0,125	400	236	80	40,0	2,40	-
≤ 0,08	500	296	80	50,0	3,00	1000

Методы защиты от ЭМП

При защите от ЭМП применяют следующие мероприятия.

Организационные - методы, направленные на создание условий для работы и отдыха. Их применение позволяет снизить до минимума время нахождения людей под облучением и предотвратить их попадание в зоны с высокой плотностью потока энергии.

Лечебно-профилактические мероприятия способствуют повышению сопротивляемости организма обслуживающего электромагнитные установки персонала к воздействию ЭМП, расширению сферы самозащиты организма, а также своевременному предупредительному лечению, обеспечивающему сохранение здоровья и работоспособности персонала в течение всего стажа работы.

Инженерно-технические мероприятия (активные методы защиты) предназначены для снижения уровня ЭМП проектируемых устройств и действующих установок.

К **пассивным** методам защиты от воздействия ЭМП на рабочем месте следует отнести:

- защиту временем;
- защиту расстоянием;
- выбор оптимальных электрических режимов работы электромагнитных устройств;
- экранизацию токопроводящих шин, рабочих элементов и всей установки.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в зоне действия ЭМП.

Защита расстоянием обусловлена тем, что с удалением от источника напряженность ЭМП уменьшается.

Выбор оптимальных электрических режимов работы электромагнитных устройств зависит от их конструкции, места нахождения человека-оператора, ими управляющего, и т.д.

Защитные свойства экранов. Экранирование является эффективным и наиболее часто применяемым методом защиты от ЭМИ. Экранируют либо источник излучения, либо рабочее место. Экраны бывают отражающими и поглощающими, сплошными и сетчатыми.

Отражающие экраны делают из хорошо проводящих металлов - меди, латуни, алюминия, стали. Защитное действие таких экранов обусловлено тем, что экранируемое поле создает в экране токи Фуко («вихревые

токи»), наводящие в нем вторичное поле, по амплитуде почти равное, а по фазе противоположное экранируемому полю. Результирующее поле, возникающее при сложении этих двух полей, очень быстро убывает в экране, проникая в него на незначительную глубину. Экран можно установить у источника излучения или у защищаемого рабочего места.

Поглощающие экраны выполняют из радиопоглощающих материалов. Естественных материалов с хорошей радиопоглощающей способностью нет, поэтому их выполняют с помощью различных конструктивных приемов и введением различных поглощающих добавок. В качестве основы используют каучук, поролон, пенополистирол, пенопласт, металлокерамические композиции и т.д. В качестве добавок применяют сажу, активированный уголь, порошок корбонильного железа и т.д. Все экраны обязательно должны заземляться для обеспечения стекания образующихся на них зарядов в землю. Как поглощающий экран можно рассматривать лес и лесозащитные полосы.

В практике применяются:

- сплошные экраны, которые изготавливаются из металлических листовых материалов различной толщины $h \approx 0,5...2,0$ мм;
- сетчатые экраны - из металлических сеток различного плетения, размер ячейки которых согласуется по длине волны ЭМП;
- фольговые экраны - из металлической фольги толщины от 0,01 до 0,05 мм;
- прозрачные экраны, которые изготавливаются из стекол с токопроводящими покрытиями, в качестве которых чаще всего используют пленки из окиси олова, наносимые на поверхность стекол;
- тканевые материалы, содержащие металлическую нить;
- радиопоглощающие материалы - для уменьшения отражения радиоволн внутри экранируемых объектов (производственные помещения, экранированные камеры и т.д.). В этих целях используется феррит, древесное волокно, резина и др.;
- электропроводимые клеи на основе эпоксидных смол с наполнителем из тонкодисперсных металлических порошков (железа, никеля, кобальта).

Эффективность экранирования

Эффективность экранирования показывает, во сколько раз уменьшается напряженность на рассматриваемом участке при экранировании источника, то есть

$$\mathcal{E}_E = \frac{E}{E_3}, \quad \mathcal{E}_H = \frac{H}{H_3},$$

где $\mathcal{E}_E, \mathcal{E}_H$ - эффективности экранирования по электрической и магнитной составляющим;

E, H - электрическая и магнитная напряжённости до экранирования;

E_3, H_3 - электрическая и магнитная напряженности после экранирования.

Эффективность экранирования определяется в первую очередь экранирующими материалами экрана (примеры приведены в табл. 4).

Известно, что поле, распространяясь в пространстве, переносит определенное количество энергии, характеризующее её плотностью, Дж/м:

$$W = 0,5 (\epsilon E^2 - \mu H^2), \quad (14)$$

где E и H - напряженности электрического (В/м) и магнитного (А/м) полей;

ϵ - диэлектрическая постоянная среды, Ф/м;

μ - магнитная проницаемость среды, Гн/м.

В зоне индукции (зависимость (1)) плотность энергии W может быть рассчитана по электрической и магнитной составляющей с учетом того, что E и H сдвинуты по фазе на 90° , когда максимуму E соответствует $H = 0$ и наоборот.

Ослабление передачи энергии в дБ в зоне индукции тогда составляет:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{W}{W_3} = 20 \lg \frac{E}{E_3} = 20 \lg \frac{H}{H_3}, \quad (15)$$

где W и W_3 - плотность энергии до экранирования и после экранирования соответственно.

В волновой зоне (уравнение (3)) эффективность экранирования с учетом [6] оценивается по плотности потока мощности излучения, Вт/м²:

$$J = \frac{E^2}{377} = 377 H^2. \quad (16)$$

Ослабление излучения в этой зоне принято выражать:

Примеры эффективности экранирования ЭМП диапазона высоких частот металлическими листами или сетками

Вид экрана	Материалы экрана	Эффективность экранирования, Э				
		Частота f, кГц				
		10	100	1000	10000	100000
Металлические листы толщиной 0,5 мм	Сталь	$2,5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	10^{12}	10^{12}	10^{12}
	Медь	$5 \cdot 10^8$	10^7	$6 \cdot 10^8$	10^{12}	10^{12}
	Алюминий	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	10^8	10^{12}	10^{12}
Металлические сетки	Медная проволока толщиной 0,1 мм с размером ячейки 1x1 мм	$3,5 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^5$	10^5	$1,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$
	Стальная проволока толщиной 0,1 мм с размером ячейки 1x1 мм	$6 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{J}{J_3} = 20 \lg \frac{E}{E_3} = 20 \lg \frac{H}{H_3}, \quad (17)$$

где J и J_3 - плотности потока мощности до и после экранирования соответственно.

В зависимости от толщины сплошного экрана ослабление поля можно рассчитать:

$$\Delta L = 15,4 \alpha \delta \sqrt{f \mu \sigma}, \quad (18)$$

где α - поправочный коэффициент, учитывающий интервал частот и постоянную установки, при $f = 100$ кГц...30 МГц - $\alpha = 20$; $f = 30$...2300 МГц - $\alpha = 1$;

δ - толщина металлического экрана, м;

f - частота, Гц;

μ - абсолютная магнитная проницаемость, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

σ - удельная проводимость среды, $\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ (см. табл. 5).

Удельная проводимость металла экрана

Металл	$\sigma, (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$
Медь	$5,71 \cdot 10^7$
Алюминий	$3,54 \cdot 10^7$
Сталь	$1,02 \cdot 10^7$

С учетом формулы (17)

$$\Delta L = 10 \lg \frac{E}{E_s} = 20 \lg \frac{H}{H_s} = 20 \lg \mathcal{E}_E = 20 \lg \mathcal{E}_H,$$

то есть эффективность экранирования

$$\mathcal{E}_E = \mathcal{E}_H = 10^{-0,05 \Delta L}.$$

Откуда напряженность поля после экранирования

$$E_s = \frac{E}{\mathcal{E}_E} = E \cdot 10^{-0,05 \Delta L}, \quad (20)$$

$$H_s = \frac{H}{\mathcal{E}_H} = H \cdot 10^{-0,05 \Delta L}.$$

Оценка условий труда

Исходя из гигиенических критериев и принципов классификации труда, последние подразделяются на четыре класса.

1-й класс - характеризует **оптимальные** условия труда, то есть такие условия труда, которые позволяют сохранить не только здоровье работающих, но и создают условия для сохранения высокого уровня их работоспособности.

2-й класс - относится к **допустимым** условиям труда. Допустимые условия труда определяются такими факторами среды и трудового процесса, которые не превышают значений установленных гигиенических нормативов, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха в течение рабочего дня или отдыха к началу следующей смены.

3-й класс представляет собой вредные условия труда. Такие условия труда характеризуются наличием опасных и вредных производственных факторов, превышающих значения гигиенических нормативов и оказывающих неблагоприятное воздействие на организм работающего и (или) его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов и степени выраженности изменений в организме работающих подразделяются на четыре степени вредности.

1-я степень 3-го класса (3.1) объединяет условия труда, характеризующиеся такими отклонениями от гигиенических нормативов, которые, как правило, вызывают обратимые функциональные изменения и обуславливают риск развития заболевания.

2-я степень 3-го класса (3.2) характеризуется условиями труда с такими уровнями опасных и вредных производственных факторов, которые могут вызывать стойкие функциональные нарушения, приводящие к росту заболеваемости с временной утратой трудоспособности, повышению частоты общей заболеваемости, появлению начальных признаков профессиональной патологии.

3-я степень 3-го класса (3.3) выражается условиями труда, характеризующимися такими уровнями вредных производственных факторов, которые приводят к развитию профессиональной патологии в легкой форме в период трудовой деятельности, росту хронической общесоматической патологии, включая повышение уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

4-я степень 3-го класса (3.4) - это условия труда, приводящие к возникновению выраженных форм профессиональных заболеваний, при которых отмечается значительный рост хронической патологии, высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

4-й класс представлен **опасными** (экстремальными) условиями труда.

Оценка условий труда в соответствии с характером действующих факторов зависит от действия ЭМИ и полей (по числу критериев, превышающих значения предельно допустимых уровней (ПДУ)), представленных в табл. 6.

Классы условий труда при воздействии ЭМИ

Фактор	Классы условий труда					Опасный
	Допустимый	Вредный				
		1-й степени	2-й степени	3-й степени	4-й степени	
Электрические поля промышленной частоты (50 Гц)	≤ ПДУ	1,1.. 3,0	3,1.. 5,0	5,1...10,0	> 10	
Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц)	≤ ПДУ	1,1.. 3,0	3,1.. 5,0	5,1...10,0	> 10	
Электромагнитные поля радиочастотного диапазона:						
0,01...3,00 МГц	≤ ПДУ	1,1.. 3,0	3,1.. 5,0	5,1...10,0	> 10	
3...30 МГц	≤ ПДУ	1,1..3,0	3,1...5,0	5,1...10,0	> 10	> 10
300 МГц...300 ГГц	≤ ПДУ	1,1.. 3,0	3,1.. 5,0	5,1...8,0	8,1.. 10,0	> 10

Описание лабораторной установки

Измеритель электромагнитных полей ИЭМП-1

Для измерения напряженностей электрического и магнитного полей в непосредственной близости от излучающих установок в диапазоне частот: 100 кГц...30 МГц для электрического поля, 100 кГц...1,5 МГц для магнитного поля применяется специальный прибор ИЭМП-1, представляющий собой ламповый вольтметр с набором антенн. Прибор имеет отдельные датчики (антенны) для измерения напряженностей электрического (дипольная антенна) и магнитного (рамочная антенна) полей. Дополнительная дипольная антенна (помимо основных) настроена на диапазон частот до 300 МГц, в котором измеряется напряженность электрической составляющей поля.

Прибор измеряет эффективные значения напряженности электрических полей в пределах 5...1000 В/м и магнитных полей 0,5...300 А/м в рабочем диапазоне частот и не требует настройки на определенную частоту. Погрешности измерений не превышают 20%. Прибор помещен в металлический ящик, который экранирует схему измерителя от внешних ЭМП.

Внешний вид прибора, панель управления и индикаторы, регистрирующие напряженность электрического E и V магнитного H полей, представлены на рис. 1.

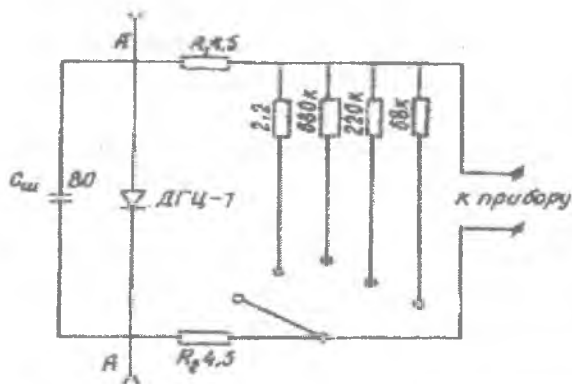


Рис. 1. Измеритель электромагнитных полей ИЭМН

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими основами.
2. Зарисовать схему лабораторной установки в отчете по лабораторной работе.
3. Занести в протокол к лабораторной работе значения частот f_1 и f_2 электромагнитных колебаний, на которых будет определяться эффективность экранирования (задаются преподавателем).
4. Рассчитать длины волн ЭМИ λ_1 и λ_2 , соответствующие заданным частотам f_1 и f_2 по уравнениям (5) и занести в протокол испытаний.
5. Определить размеры зоны индукций, интерференции и излучения для f_1 и f_2 с помощью зависимостей (1), (2), (3) и занести полученные значения в протокол.
6. Рассчитать эффективность экранирования для f_1 и f_2 $\mathfrak{E}_E = \mathfrak{E}_H$, используя зависимости (18) и (19) и значения из табл. 3 (задаваемые преподавателем), и занести в протокол испытаний.
7. Включить установку (под наблюдением преподавателя), с помощью звукового генератора установить значение f_1 и замерить значения

E_1 и H_1 при максимальной амплитуде колебаний без экранирования. Повторить замеры, определяя E_2 и H_2 при втором значении частоты f_2 .

8. Повторить измерения по пункту 7 после постановки металлического экрана между источником ЭМИ и системой измерения E_3 и H_3 .

9. Рассчитать измеренные значения эффективности экранирования по зависимостям (13), занести их в протокол и сопоставить с расчетными значениями.

10. Занести в протокол предельно допустимые значения $E_{пд}$ и $H_{пд}$ напряженностей из табл. 1 для заданных значений f_1 и f_2 , а также значения энергетической нагрузки $\Delta N_{Eпд}$ и $\Delta N_{Hпд}$.

11. Сопоставить результаты расчетов и замеров E и H с допустимыми значениями. При расчете $E_{пд}$ и $H_{пд}$ по энергетической нагрузке $\Delta N_{Eпд}$ и $\Delta N_{Hпд}$ используются соотношения (9) и (10):

$$E_{пд} = \sqrt{\frac{\Delta N_{Eпд}}{T}}, \quad H_{пд} = \sqrt{\frac{\Delta N_{Hпд}}{T}},$$

где T - время воздействия ЭМИ на человека в течение рабочей смены в часах (задается преподавателем).

12. Оценить условия труда при работе с ЭМП.

13. Сделать выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что является источниками ЭМИ на производстве?
2. В чем заключается опасность воздействия ЭМИ на человека?
3. Какие основные методы защиты используются в настоящее время для защиты человека от воздействия ЭМИ?
4. Как определить зоны ЭМП вокруг источника?
5. Как определить длину волны ЭМИ λ , если известна частота f ?
6. Как определить эффективность экранирования по данным измерений E и H ?
7. Как определить эффективность экранирования расчетным способом?
8. Какие материалы и конструкции применяются для экранирования?
9. Как нормируются значения напряженности ЭМП?
10. В каких единицах измеряются частота, длина волны, магнитная и электрическая составляющие напряженности ЭМП?

11. Как изменяются электрическая E и магнитная H напряженности ЭМП с увеличением частоты f ?

12. Какие параметры ЭМП и ЭМИ характеризуют воздействие на организм?

Протокол к лабораторной работе

Период T воздействия на организм, мс	Частота f , Гц	Напряженность E (В/м) и H (А/м) для экранирования (экраны)				Напряженность E и H внутри экранирующей среды	Средняя плотность экранирования $\bar{\alpha}, \text{дБ}$	График, рисунок, эскизная схема экранирования	Пример расчета экранирующей способности $\bar{\alpha}, \text{дБ}$
		расчет	экран	расчет	экран				
Индукция	f_1	E_{10}		H_{10}		E_{10}	$\bar{\alpha}_{10}$	H_{10}	
Интервал									
Излучение	f_2	E_{20}		H_{20}		E_{20}	$\bar{\alpha}_{20}$	H_{20}	
Индукция	f_3	E_{30}		H_{30}		E_{30}	$\bar{\alpha}_{30}$	H_{30}	
Интервал									
Излучение	f_4	E_{40}		H_{40}		E_{40}	$\bar{\alpha}_{40}$	H_{40}	

Толщина экрана, материал, частота ЭМИ, время воздействия за смену задаются преподавателем.

Пример расчета

Исходные данные: частота $f = 1\,000\,000$ Гц, толщина стального экрана $\delta = 0,4$ мм = $0,0004$ м, абсолютная магнитная проницаемость $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (см. уравнение (18)), удельная проводимость среды $\sigma = 1,02 \cdot 10^7$ (Ом·м) $^{-1}$ (из табл. 5), поправочный коэффициент $\alpha = 20$, время воздействия ЭМИ на человека в течение рабочей смены

$T = 4$ часа.

1. Длина волны $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300000}{100000} = 3$ км;

а) зона индукции $R = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{3}{2 \cdot 3,14} = 0,478$ км;

б) зона интерференции

$$\frac{\lambda}{2\pi} < R \leq 2\pi\lambda; \quad 0,478 \text{ км} < R \leq 18,84 \text{ км};$$

в) зона излучения $R > 18,84$ км.

2. Напряженности до экранирования (эксперимент) $E_1 = 100$ В/м и $H_1 = 3$ А/м.

3. Напряженности после экранирования.

Расчет:

$$\mathcal{E}_E = \mathcal{E}_H = 10^{-0,05\Delta L};$$

$$\Delta L = 15,4 \alpha \sigma \sqrt{f\mu\sigma} = 15,4 \cdot 20 \cdot 0,0004 \times \\ \times \sqrt{100000 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,02 \cdot 10^7} = 139,4;$$

$$\mathcal{E}_E = \mathcal{E}_H = 10^{-0,05 \cdot 139,4} = 10^{-6,97} \approx 10^{-7}.$$

Расчет после экранирования

$$\left\{ \begin{array}{l} E_1 = \frac{100}{10^{-7}} = 10^9 \text{ В/м}; \\ H_1 = \frac{3}{10^{-7}} = 3 \cdot 10^7 \text{ А/м}. \end{array} \right.$$

4. Из табл. 1

$$E_{\text{зд}} = 500 \text{ В/м}; \quad H_{\text{зд}} = 50 \text{ А/м};$$

$$\mathcal{E}H_{\text{БПД}} = 20000 \text{ (В/м}^2\text{)} \cdot \text{ч}; \mathcal{E}H_{\text{НПД}} = 200 \text{ (А/м}^2\text{)} \cdot \text{ч}.$$

5. Расчет $E'_{\text{нд}}$, $H'_{\text{нд}}$ по энергетической нагрузке:

$$E'_{\text{нд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{E_{\text{нд}}}}{T}} = \sqrt{\frac{20000}{4}} = 70,7 \text{ В/м};$$

$$HE_{\text{нд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{H_{\text{нд}}}}{T}} = \sqrt{\frac{200}{4}} = 7,07 \text{ А/м}.$$

Библиографический список

1. Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты. № 5802-91. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. ГОСТ 12.1.002-84. Электромагнитные поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочем месте. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
3. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередач переменного тока промышленной частоты. № 2971-84.
4. ГОСТ 12.1.045-84. Электромагнитные поля. Допустимые уровни на рабочем месте и требования к проведению контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
5. ПДУ № 1742-77. Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами.
6. ГОСТ 12.1.006-64. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочем месте и требования по проведению контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
7. Санитарные нормы и правила электромагнитных излучений радиочастотного диапазона (ЭМ и РЧ), СанПиН 2.2.4/2.18.055-96.
8. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях. № 4557 - 88.

Содержание

1. Общие сведения об электромагнитных полях	3
2. Воздействие электромагнитных полей на человека	3
3. Основные характеристики ЭМП	7
4. Нормирование электромагнитных полей	8
Эффективность экранирования	13
Оценка условий труда	16
Описание лабораторной установки	18
Порядок выполнения работы	19
Контрольные вопросы	20
Протокол к лабораторной работе	21
Пример расчета	21
Библиографический список	24

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Методические указания к лабораторной работе №16

Составители: *Несоленов Геннадий Федорович*
Вякин Вениамин Николаевич
Морозов Владимир Васильевич
Козий Софья Сергеевна

Редактор Т. К. Кретинина
Компьютерная верстка И. И. Спиридоновой

Подписано в печать 27.10.04. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1,4. Усл.кр.-отт. 1,5. Уч.-изд. л. 1,75.

Тираж 100 экз. Заказ №. Арт. С-65/2004.

Самарский государственный аэрокосмический университет .
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.