

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра безопасности жизнедеятельности

И.В. Ефремов, В.Е. Дудоров

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Оренбург 2015

УДК 614.8:537.86(076.5)
ББК 68.92я7+22.336я7
Е 92

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Е.А. Горшенина

Е 92 **И.В. Ефремов**

Исследование электромагнитных полей: методические указания / И.В.Ефремов, В.Е.Дудоров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 32 с.

В методических указаниях приводятся общие правила работы и использование измерителя ИПМ-101 предназначенного для измерения напряженности переменного электрического поля, напряженности переменного магнитного поля и плотности потока энергии электромагнитного поля измерителя ИПМ-101 разработанного в Российской Федерации.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность.

УДК 614.8:537.86(076.5)
ББК 68.92я7+22.336я7

© И.В. Ефремов,
В.Е. Дудоров, 2015
© ОГУ, 2015

Содержание

Введение.....	4
1 Цель работы.....	7
1.1 Технические характеристики прибора.....	7
2 Характеристики электромагнитных полей	12
2.1 Источники электромагнитных полей и классификация электромагнитных излучений.....	14
2.2 Воздействие электромагнитных полей на организм человека.....	16
2.3 Нормирование электромагнитных полей	18
2.4 Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты и статических полей.....	19
2.5 Методы и средства защиты от воздействия электромагнитных полей.....	20
3 Устройство и принцип работы.....	22
4 Указания мер безопасности.....	23
5 Подготовка прибора к работе.....	23
6 Порядок работы с прибором.....	25
7 Порядок выполнения измерений.....	26
8 Обработка результатов.....	30
9 Указания по составлению отчета.....	31
10 Вопросы для самоконтроля.....	32

Введение

Распространенным и постоянно возрастающим негативным фактором городской среды являются электромагнитные поля (ЭМП), создаваемые различными устройствами, генерирующими, передающими и использующими электрическую энергию. Электромагнитное загрязнение среды населенных мест стало столь существенным, что ВОЗ включила эту проблему в число наиболее актуальных для человека.

В настоящее время имеется огромное количество самых разнообразных источников электромагнитных полей, находящихся как вне жилых и общественных зданий (линии электропередач, станции спутниковой связи, радиорелейные установки, телепередающие центры, открытые распределительные устройства, электротранспорт и т. д.), так и внутри помещений (компьютеры, сотовые и радиотелефоны, пейджеры, бытовые микроволновые печи и др.).

Мощными источниками высокочастотных электромагнитных полей являются телерадиопередающие ретрансляторы, которые располагаются обычно в центре крупных городов, рядом с жилой застройкой. Передающие центры, спроектированные более двух десятков лет назад для трансляции двух телевизионных программ, сейчас транслируют от 5 до 20 программ.

На территории санитарно-защитной зоны линий электропередачи (ЛЭП) нередко строятся частные дома и дачи.

Спектр электромагнитных колебаний, создаваемых линиями электропередачи, радио - и телепередающими центрами, радиолокационными системами, достаточно широк.

Рассматривая ЭМП как важный фактор окружающей среды, необходимо отметить, что в электромагнитном поле выделяют две составляющие — электрическую и магнитную. Распространяющееся в пространстве ЭМП условно делят на две зоны: зону индукции (находится вблизи антенных устройств) и волновую зону (дальнюю), лежащую за пределами антенного поля. Поэтому в

условиях населенных мест люди чаще всего могут подвергаться облучению в волновой зоне электромагнитного излучения.

Организм человека, находящегося в электромагнитном поле, поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта. Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля (или плотности потока энергии), длительности и режима воздействия (постоянный, импульсный). Чем выше мощность поля, короче длина волны и продолжительнее время облучения, тем сильнее негативное влияние ЭМП на организм. При воздействии на человека малоинтенсивного электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, функций щитовидной железы, системы "гипофиз — кора надпочечников", генеративной функции организма.

Для предотвращения неблагоприятного влияния ЭМП на население установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности электромагнитного поля, кВ/м:

- внутри жилых зданий — 0,5;
- на территории зоны жилой застройки — 1,0;
- в населенной местности вне зоны жилой застройки — 10;
- в ненаселенной местности (часто посещаемой людьми) — 15;
- в труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) — 20.

В этой связи весьма перспективным и обнадеживающим является использование для измерения напряженности переменного электрического поля, напряженности переменного магнитного поля и плотности потока энергии электромагнитного поля измерителя ИПМ-101 разработанного в Российской Федерации.

Измеритель предназначен для контроля предельно допустимых уровней высокочастотных излучений на рабочих местах персонала, обслуживающего электрорадиотехнические установки и системы, излучающие электромагнитное

поле (в соответствии с ГОСТ 12.1.006, ГН 2.1.8./2.2.4.019 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.055). Измеритель выполнен в виде малогабаритного переносного прибора с автономным питанием и включает в себя антенны преобразователи (АП) направленного приема, устройство отсчетное микропроцессорное УО-101М и футляр для переноски. Работа измерителя основана на возбуждении в АП под воздействием измеряемого поля переменного напряжения, и преобразовании этого напряжения в сигнал постоянного тока. УО-101М обеспечивает преобразование сигнала в цифровой код, математическую обработку и отображение измеряемой величины на жидкокристаллическом индикаторе. Для измерения напряженности электрического поля предназначены АП Е01 и Е02. Для измерения напряженности магнитного поля предназначены АП Н01 и Н02. Измеритель в стандартном варианте поставки комплектуется АП Е01.

1 Цель работы

Ознакомиться с устройством и работой измерителя напряженности поля ИПМ-101 и некоторыми его применениями.

1.1 Технические характеристики прибора

1.1.1 Измеритель предназначен для измерения напряженности переменного электрического поля, напряженности переменного магнитного поля и плотности потока энергии электромагнитного поля.

1.1.2 Измеритель применяется при контроле норм по электромагнитной безопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.006, ГН 2.1.8./2.2.4.019 СанПиН 2.2.4/2.1.8.055.

1.1.3 Измеритель удовлетворяет требованиям ГОСТ 22261 и ГОСТ Р 51070, а по условиям эксплуатации соответствует группе 3 ГОСТ 22261.

1.1.4 Рабочие условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха от 5 до 40 °С; относительная влажность воздуха до 90% при температуре 25°С; атмосферное давление 70-106,7 кПа (537-800 мм.рт.ст.).

1.1.5 Нормальные условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха 20°С; относительная влажность воздуха 30-80 %; атмосферное давление 84-106 кПа (630 – 795 мм рт.ст.).

1.1.6 Достоинством измерителя с антенной-преобразователем Е 01 является возможность измерение в свободном пространстве при расстоянии от проводящих тел до точки измерения поля не менее 0,2 м следующих параметров электромагнитного поля:

- среднеквадратического значения модуля вектора напряженности
- электрического поля (НЭП) способом направленного приема;
- плотности потока энергии (ППЭ) плоской электромагнитной волны путем пересчета измеренного значения НЭП в ППЭ.

1.1.7 Измеритель обеспечивает измерение НЭП и ППЭ на частотах от 30 кГц до 1,2 ГГц и от 2,4 до 2,5 ГГц.

1.1.8 Диапазон измерения НЭП зависит от частоты измеряемого поля и находится в пределах от E_{\min} , до E_{\max} , где E_{\min} и E_{\max} в В/м определяются по формулам:

$$E_{\min} = K_F \times 1 \text{ В/м}, E_{\max} = K_F \times 100 \text{ В/м},$$

где K_F - частотный коэффициент АП Е01 (таблица 1).

Таблица 1

Частота, МГц	K_F
0,03 - 0,05	1,15
0,05 - 700	1,00
300 - 500	0,85
500 - 700	0,70
700-1000	0,50
1000-1200	0,35
2400-2500	0,50

1.1.9 Диапазон измерения ППЭ находится в пределах от P_{\min} до P_{\max} , где P_{\min} и P_{\max} в мкВт/см определяются по формулам:

$$P_{\min} = 0,265(E_{\min})^2, P_{\max} = 0,265(E_{\max})^2,$$

где E_{\min} и E_{\max} в В/м определяются согласно п.1.1.8

1.1.10 Относительная основная погрешность измерения среднеквадратического значения НЭП с гармонической временной зависимостью находится в пределах, определяемых в процентах по формуле:

$$\pm [20 + 0,2 K_F [E_0 / E_x]],$$

где: $E_0 = 100$ В/м; E_x - измеренное значение НЭП в В/м; K_F — частотный коэффициент АП Е01 на частоте измерения (таблица 1).

1.1.11 АП E01 допускает в течение времени не более 1 мин в рабочем диапазоне частот перегрузку по НЭП не более $1,5 E_{MAX}$, где E_{MAX} определяется согласно п. 1.1.8

1.2 Технические характеристики измерителя в составе с антенной-преобразователем E 02

1.2.1 В составе с АП E02 измеритель обеспечивает измерение в свободном пространстве при расстоянии от проводящих тел до точки измерения поля не менее 0,05 м следующих параметров электромагнитного поля:

- среднеквадратического значения модуля вектора напряженности электрического поля (НЭП) способом направленного приема;
- плотности потока энергии (ППЭ) плоской электромагнитной волны путем пересчета измеренного значения НЭП в ППЭ.

1.2.2 Измеритель обеспечивает измерение НЭП и ППЭ на частотах от 30 кГц до 1,2 ГГц и от 2,4 до 2,5 ГГц.

Таблица 2

Частота, МГц	K_F
0,03 - 0,05	1,15
0,05 - 700	1,00
700 - 1200	0,85
2400 - 2500	0,12

1.2.3 Диапазон измерения НЭП зависит от частоты измеряемого поля и находится в пределах от E_{MIN} до E_{MAX} , где E_{MIN} и E_{MAX} в В/м определяются по формулам:

$$E_{MIN} = K_F \times 5B/м, E_{MAX} = K_F \times 500B/м,$$

где K_F - частотный коэффициент АП E02 (таблица 2).

1.2.4 Диапазон измерения ППЭ находится в пределах от P_{MIN} до P_{MAX} , где P_{MIN} и P_{MAX} в мкВт/см определяются по формулам

$$P_{\text{MIN}} = 0,265(E_{\text{MIN}})^2, P_{\text{MAX}} = 0,265(E_{\text{MAX}})^2,$$

где E_{MIN} и E_{MAX} в В/м определяются согласно п.1.2.3

1.2.5 Относительная основная погрешность измерения среднеквадратического значения НЭП с гармонической временной зависимостью находится в пределах, определяемых в процентах по формуле:

$$\pm [20 + 02 K_F [E_0/E_x]],$$

где $E_0 = 500$ В/м;

E_x - измеренное значение НЭП в В/м;

K_F - частотный коэффициент АП E02 на частоте измерения (таблица 2).

1.2.6 АП E02 допускает в течение времени не более 1 мин в рабочем диапазоне частот перегрузку по НЭП не более $1,5 E_{\text{MAX}}$, где E_{MAX} определяется согласно п.1.2.3.

1.3 Технические характеристики измерителя в составе с антенной-преобразователем Н01

1.3.1 В составе с АП Н01 измеритель обеспечивает измерение в свободном пространстве при расстоянии от проводящих тел до точки измерения поля не менее 0,2 м среднеквадратического значения модуля вектора напряженности магнитного поля (НМП) способом направленного приема.

1.3.2 Измеритель обеспечивает измерение НМП на частотах от 30 кГц до 3 МГц.

1.3.3 Диапазон измерения НМП зависит от частоты измеряемого поля и находится в пределах от H_{MIN} до H_{MAX} , где H_{MIN} и H_{MAX} в А/м определяются по формулам:

$H_{\text{MIN}} = K_F \times 0,5$ А/м, $H_{\text{MAX}} = K_F \times 50$ А/м, где K_F - частотный коэффициент АП Н01 (таблица 3).

Таблица 3.

Частота, МГц	K_F
0,03-0,05	1,50
0,05-0,07	1,20
0,07-3,00	1,00

1.3.4 Относительная основная погрешность измерения среднеквадратического значения НМП с гармонической временной зависимостью находится в пределах, определяемы в процентах по формулам:

$$\pm [20 + 2 K_F (H_0 / H_x)] \text{ при } H_x \leq H_0 K_F;$$

$$\text{или } \pm [20 + (2/K_F) (H_x / H_0)], \text{ при } H_x \geq H_0 K_F ;$$

где $H_0 = 5 \text{ А/м}$;

H_x — измеренное значение НМП в А/м;

K_F - частотный коэффициент АП Н01 на частоте измерения (таблица 3).

1.3.5 АП Н01 допускает в течение времени не более 1 мин в рабочем диапазоне частот перегрузку по НМП не более $1,5 H_{\text{MAX}}$ где H_{MAX} определяется согласно п.1.3.3.

1.4 Технические характеристики измерителя в составе с антенной-преобразователем Н 02.

1.4.1 В составе с АП Н02 измеритель обеспечивает измерение в свободном пространстве при расстоянии от проводящих тел до точки измерения поля не менее 0,2 м среднеквадратического значения модуля вектора напряженности магнитного поля (НМП) способом направленного приема.

1.4.2 Измеритель обеспечивает измерение НМП на частотах от 1 МГц до 50 МГц.

1.4.3 Диапазон измерения НМП зависит от частоты измеряемого поля и находится в пределах от H_{MIN} до H_{MAX} , где H_{MIN} и H_{MAX} в А/м определяются по формулам

$$H_{\text{MIN}} = K_F \times 0,1 \text{ А/м}, H_{\text{MAX}} = K_F \times 10 \text{ А/м},$$

где K_F - частотный коэффициент АП Н02 (таблица 4).

Таблица 4.

Частота, МГц	K_F
1,0-1,5	1,50
1,5 - 3,0	1,20
3,0- 50	1,00

1.4.4 Относительная основная погрешность измерения среднеквадратического значения НМП с гармонической временной зависимостью находится в пределах, определяемых в процентах по формулам:

$$\pm [20 + 2 K_F (H_0 / H_x)] \text{ при } H_x \leq H_0 K_F;$$

$$\text{или } \pm [20 + (2/K_F) (H_x / H_0)], \text{ при } H_x \geq H_0 K_F ;$$

где $H_0 = 1 \text{ А/м}$;

H_x — измеренное значение НМП в А/м;

K_F - частотный коэффициент АП Н01 на частоте измерения (таблица 4).

1.4.5 АП Н02 допускает в течение времени не более 1 мин в рабочем диапазоне частот перегрузку по НМП не более $1,5 H_{\text{MAX}}$, где H_{MAX} определяется согласно п. 1.3.3.

2 Характеристики электромагнитных полей

Любое электромагнитное явление, рассматриваемое в целом, характеризуется двумя сторонами - электрической и магнитной, между которыми существует тесная связь. Электромагнитное поле (ЭМП) также имеет всегда две взаимосвязанные стороны – электрическое поле и магнитное поле. Вместе с тем

можно создать условия, когда в некоторой области пространства обнаруживаются только электрические или только магнитные явления. Таковым является, например, случай заряженных неподвижных проводящих тел, вне которых обнаруживается только электрическое поле. Аналогично в пространстве, окружающем неподвижные постоянные магниты, обнаруживается только магнитное поле. Как видно из рассмотренных примеров, речь идет только о постоянных во времени полях, называемых также статическими. Однако и в этих случаях, если рассматривать явление в целом, не условия, при которых проявляется одна из составляющих ЭМП, возможно и раздельное изучение электрического и магнитного полей, а также определение только одного из полей в целом ряде практических задач.

Электромагнитное поле представляет особую форму материи. Всякая электрически заряженная частица окружена электромагнитным полем, составляющим с ней единое целое. Но электромагнитное поле может существовать и в свободном, отделенном от заряженных частиц, состоянии в виде движущихся со скоростью, близкой к 3×10^{10} м/с, фотонов или вообще в виде излученного движущегося с этой скоростью электромагнитного поля (электромагнитных волн).

Движущееся ЭМП (электромагнитное излучение – ЭМИ) характеризуется векторами напряженности электрического E (В/м) и магнитного H (А/м) полей, которые отражают силовые свойства ЭМП.

В электромагнитной волне векторы E и H всегда взаимно перпендикулярны. В вакууме и воздухе $E = 377 H$. Длина волны λ , частота колебаний f и скорость распространения электромагнитных волн в воздухе C связаны соотношением $C = \lambda \times f$. Например, для промышленной частоты $f = 50$ Гц длина волны $\lambda = 3 \times 10^8 / 50 = 6000$ км, а для ультракоротких частот $f = 3 \times 10^8$ Гц, длина волны равна 1 м. Около источника ЭМП выделяют ближнюю зону, или зону индукции, которая находится на расстоянии $R \leq \lambda / 2\pi \approx \lambda / 6$, и дальнюю зону, или зону излучения, в которой $R > \lambda / 6$. В диапазоне от низких частот до коротковолновых излучений частотой < 100 МГц ЭМП около генератора следует рассматривать как поле индукции, а рабочее место - находящимся в зоне индукции. В зоне индукции

электрическое и магнитное поля можно считать независимыми друг от друга. Поэтому нормирование в этой зоне ведется как по электрической, так и по магнитной составляющей. В зоне излучения (волновой зоне), где уже сформировалась бегущая электромагнитная волна, наиболее важным параметром является интенсивность, которая в общем виде определяется векторным произведением E и H , а для сферических волн при распространении в воздухе может быть выражена как:

$$I = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi R^2}, \text{ Вт/м}^2,$$

где $P_{\text{ист}}$ – мощность излучения.

2.1 Источники ЭМП и классификация электромагнитных излучений.

Естественными источниками электромагнитных полей и излучений являются, прежде всего: атмосферное электричество, радиоизлучения солнца и галактик, электрическое и магнитное поля Земли. Все промышленные и бытовые электро – и радиоустановки являются источниками искусственных полей и излучений, но разной интенсивности. Перечислим наиболее существенные источники этих полей.

Электростатические поля возникают при работе с легко электризующимися материалами и изделиями, при эксплуатации высоковольтных установок постоянного тока.

Источниками постоянных и магнитных полей являются: электромагниты, соленоиды, *магнитопроводы* в электрических машинах и аппаратах, литые и металлокерамические магниты, используемые в радиотехнике.

Источниками электрических полей промышленной частоты (50 Гц) являются: линии электропередач, открытые распределительные устройства, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики,

измерительные приборы, сборные, соединительные шины, вспомогательные устройства, а также все высоковольтные установки промышленной частоты.

Магнитные поля промышленной частоты возникают вокруг любых электроустановок и токопроводов промышленной частоты. Чем больше ток, тем выше интенсивность магнитного поля.

Источниками электромагнитных излучений радиочастот являются мощные радиостанции, антенны, генераторы сверхвысоких частот, установки индукционного и диэлектрического нагрева, радары, измерительные и контролирующие устройства, исследовательские установки, высокочастотные приборы и устройства в медицине и в быту.

Источником электростатического поля и электромагнитных излучений в широком диапазоне частот (сверх – и инфранизкочастотном, радиочастотном, инфракрасном, видимом, ультрафиолетовом, рентгеновском) являются персональные электронно-вычислительные машины (ПЭВМ) и видеодисплейные терминалы (ВДТ) на электронно-лучевых трубках, используемые как в промышленности, научных исследованиях, так и в быту. Главную опасность для пользователей представляет электромагнитное излучение монитора в диапазоне частот 20 Гц–300 МГц и статический электрический заряд на экране.

Источником повышенной опасности в быту с точки зрения электромагнитных излучений являются также микроволновые печи, телевизоры любых модификаций, радиотелефоны. В настоящее время признаются источниками риска в связи с последними данными о воздействии магнитных полей промышленной частоты: электроплиты с электроподводкой, электрогрили, утюги, холодильники (при работающем компрессоре).

2.2 Воздействие электромагнитных полей на организм человека

Механизм воздействия ЭМП на биологические объекты можно представить следующим образом: в электрическом поле молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются и ориентируются по направлению поля: в жидкостях, в частности в крови, под электрическим воздействием появляются ионы и, как следствие, токи. Однако ионные токи будут протекать в ткани только по межклеточной жидкости, так как при постоянном поле мембраны клеток, являясь хорошими изоляторами, надежно изолируют внутриклеточную среду.

При повышении частоты внешнего ЭМП электрические свойства живых тканей меняются: они теряют свойства диэлектриков и приобретают свойства проводников, причем это изменение происходит неравномерно. С дальнейшим возрастанием частоты индицирование ионных токов постепенно замещается поляризацией молекул.

Переменное поле вызывает нагрев тканей человека, как за счет переменной поляризации диэлектрика, так и за счет появления токов проводимости. Тепловой эффект является следствием поглощения энергии электромагнитного поля. На высоких частотах, прежде всего в диапазоне радиочастот (10^5 - 10^{11} Гц), энергия проникшего в организм поля многократно отражается, преломляется в многослойной структуре тела с разными толщинами слоев тканей. Вследствие этого поглощается энергия ЭМП неодинаково, отсюда воздействие на разные ткани происходит также неодинаково. Кроме того, подкожный жировой слой вызывает сопротивления кожи и мышечной ткани, граничащей с жировым слоем. При этом доля проходящей в тело энергии может значительно возрасти. Этот эффект зависит от толщины жирового слоя, толщины кожи и частоты поля.

При облучении дециметровыми волнами (10^8 - 10^9 Гц) подкожный слой жира толщиной 9 мм может быть таким согласующим трансформатором. Этим можно объяснить, что излучение с длинами волн 20-30 см поглощается в широком диапазоне от 20-100 % в коже, жире и мышцах. При длинах волн 30-100 см оно

поглощается в количестве 30-40 %, но в основном внутренними органами, и это определяет его наибольшую вредность как термогенного фактора. Излучение с длинами волн короче 10 см в основном поглощается слоем кожи. Для человека, с точки зрения теплового эффекта, вызываемого излучением, это наименее опасный случай, так как, с одной стороны, избыточное тепло немедленно ощущается - повышается температура кожи, а с другой стороны — это тепло, рассеиваясь, отводится от кожи как во внешнюю среду, так и в ткани, расположенные глубже.

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает общее тепловыделение тела. Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять избыточное тепло, возможно повышение температуры тела. Это происходит, начиная с интенсивности поля равной 100 Вт/м^2 , которая называется тепловым порогом. Органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник, семенники). Перегревание тканей и органов ведет к их заболеваниям, а повышение температуры тела на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше недопустимо из-за возможных необратимых изменений.

Исследования показали, что влияние ЭМП высоких частот, и особенно СВЧ, на живой организм обнаруживается и при интенсивностях ниже тепловых порогов, т.е. имеет место их нетепловое воздействие, которое, как предполагают, является результатом ряда микропроцессов, протекающих под действием полей.

Отрицательное воздействие ЭМП вызывает обратимые, а также необратимые изменения в организме: торможение рефлексов, понижение кровяного давления (гипотония), замедление сокращений сердца (брадикардия), изменение состава крови в сторону увеличения числа лейкоцитов и уменьшения эритроцитов, помутнение хрусталика глаза (катаракта).

Субъективные критерии отрицательного воздействия ЭМП — головные боли, повышенная утомляемость, раздражительность, нарушения сна, одышка, ухудшение зрения, повышение температуры тела.

Наряду с биологическим действием, электростатическое поле и электрическое поле промышленной частоты обуславливают возникновение

разрядов между человеком и другим объектом, имеющим иной, чем у человека, потенциал. Зарегистрированные при этом токи не представляют особой опасности, но могут вызывать неприятные ощущения. В любом случае такого рода воздействия можно предотвратить путем простого заземления крупногабаритных (автобус, крыша деревянного здания и пр.) и протяженных (трубопроводов, проволочная изгородь и т.п.) объектов так как на них из-за большой емкости накапливается достаточный заряд и существенный потенциал, которые могут обусловить заметный разрядный ток.

Относительно безвредным для человека в течение длительного времени предлагается признать МП, имеющие порядок геомагнитного поля и его аномалий, т.е. напряженности МП не более 0,15-0,2 кА/м. При более высоких напряженностях МП начинает проявляться реакция на уровне организма. Характерной чертой этих реакций является длительная задержка относительно начала действия МП, а также ярко выраженный кумулятивный эффект при длительном действии МП.

2.3 Нормирование электромагнитных полей

Предельно допустимую плотность потока энергии в диапазоне частот 300 МГц-300 Гц на рабочих местах персонала устанавливают исходя из допустимого значения энергетической нагрузки W на организм и времени пребывания в зоне облучения, однако во всех случаях она не должна превышать 10 Вт/м^2 , а при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше $28 \text{ }^\circ\text{C}$) - 1 Вт/м^2 .

Предельно допустимая плотность потока энергии определяется по формуле:

$$\text{ППЭ} = W/T,$$

где W - нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм, равное 2 Вт/м^2 для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 20 Вт/м^2 для облучения от вращающихся и сканирующих антенн; T - время пребывания в зоне облучения, ч.

Предельно допустимая ППЭ при эксплуатации микроволновых печей не должна превышать 0,1 Вт/м² при трехкратном ежедневном облучении по 40 мин и общей длительности облучения не более 2 ч в сутки.

2.4 Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты и статических полей

Для электростатических полей устанавливается допустимая напряженность поля на рабочих местах по формуле:

$$E = \frac{60}{\sqrt{t}}, \text{ кВ/м,}$$

где $t = 1-9$ ч.

В соответствии с этим стандартом предельное значение напряженности поля $E_{пду}$, при которой допускается работать в течение часа, равно 60 кВ/м. В течение рабочей смены разрешается работать без специальных мер защиты при напряженности 20 кВ/м.

Для электрического переменного поля промышленной частоты предельно допустимый уровень напряженности электрического поля, пребывание в котором не допускается без применения специальных средств защиты, равен 25 кВ/м. При напряженности поля свыше 20 кВ/м до 25 кВ/м время пребывания персонала в поле не должно превышать 10 мин.

Допускается пребывание персонала без специальных средств защиты в течение всего рабочего дня в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м. В интервале свыше 5 кВ/м до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания T (ч) определяется по формуле:

$$T = 50/E-2,$$

где E - напряженность воздействующего поля в контролируемой зоне, кВ/м.

При необходимости определения предельно допустимой напряженности электрического поля при заданном времени пребывания в нем уровень напряженности в кВ/м вычисляется по формуле:

$$E = 50/(T + 2),$$

где **T** - время пребывания в электрическом поле, ч.

Внутри жилых зданий принято $E_{пду} = 0,5$ кВ/м, на территории зоны жилой застройки - 1 кВ/м.

Для постоянных магнитных полей в соответствии с СН 1742-77 установлена напряженность поля $H_{пду} = 8$ кА/м в течение рабочей смены при работе с магнитными установками и магнитными материалами.

Для магнитных полей промышленной частоты в соответствии с СН 3206 - 85 в зависимости от характера воздействия (непрерывного или прерывистого) установлена следующая связь между общим временем **T** воздействия в течение рабочего дня и предельно допустимой напряженностью поля $H_{пду}$.

2.5 Методы и средства защиты от воздействия электромагнитных полей

При несоответствии требованиям норм в зависимости от рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, уровня облучения и необходимой эффективности защиты применяют следующие способы и средства защиты или их комбинации: защита временем и расстоянием; уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике излучения; экранирование источника излучения: экранирование рабочего места; рациональное размещение установок в рабочем помещении; установление рациональных режимов эксплуатации установок и работы обслуживающего персонала; применение средств предупреждающей сигнализации (световая, звуковая и т.д.); выделение зон излучения; применение средств индивидуальной защиты.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне, если интенсивность облучения превышает нормы, установленные при условии облучения в течение смены, и применяется, когда нет возможности снизить интенсивность облучения до допустимых значений и только для излучений в диапазоне 300 МГц - 300 ГГц, а также для электростатического и электрического поля частотой 50 Гц. Допустимое время пребывания зависит от интенсивности облучения.

Защита расстоянием применяется, когда невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением, времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае увеличивают расстояние между источником излучения и обслуживающим персоналом. Этот вид защиты основан на быстром уменьшении интенсивности поля с расстоянием. В ближней зоне, протяженность которой $R = \lambda / 2\pi$,

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f \sqrt{\epsilon_\gamma \times \mu_\gamma}},$$

где λ - длина волны излучения напряженности электрической и магнитной составляющих.

Поля убывают в зависимости от расстояния следующим образом:

$$E = \frac{I}{2\pi\epsilon\omega R^3}; \quad H = \frac{I}{4\pi R^2},$$

где I - ток в проводнике (антенне), А;

l - длина проводника (антенны), м;

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м;

ω - угловая частота поля;

$$\omega = 2\pi f,$$

f - частота поля, Гц;

R - расстояние от точки наблюдения до источника излучения, м.

Для одиночного прямолинейного проводника с током напряженность магнитного поля H легко определить по закону полного тока

$$H = I / 2\pi R,$$

где I - ток,

R - расстояние от провода до рассматриваемой точки.

Например, при токе в однофазной системе равном A и при условии, что обратный провод находится на достаточном расстоянии, чтобы его полем пренебречь, на расстоянии $0,1$ м

$$H = 5 / 2\pi 0,1 = 8 \text{ А/м.}$$

Такие значения магнитного поля промышленной частоты при длительном (месяцами) воздействии на людей в свете новых данных представляются небезвредными.

Для дальней зоны ($R \Rightarrow \lambda / 2\pi$) эффективность поля оценивается чаще всего по плотности потока мощности S :

$$S = \frac{P \times G}{4\pi R^2}$$

где P — мощность излучения, Вт;

G - коэффициент усиления антенны.

3 Устройство и принцип работы

Измеритель ИПМ-101 состоит из антенн-преобразователей (АП) и устройства отсчетного УО-101. Работа измерителя основана на возбуждении в АП под воздействием измеряемого поля переменного напряжения, пропорционального напряженности поля и преобразовании этого напряжения в сигнал постоянного тока, который регистрируется с помощью этого напряжения в сигнал постоянного тока, с помощью устройства отсчетного типа УО-101. Показания индикатора устройства отсчетного далее по формулам пересчитываются в значение напряженности измеряемого поля.

4 Указания мер безопасности

4.1. Проверить внешним осмотром целостность прибора. В связи с тем, что измеритель не содержит источников высокого напряжения и не подключается к электросетям, работа с измерителем электробезопасна.

4.2. При эксплуатации измерителя и его поверке необходимо соблюдать правила безопасности при работе с СВЧ-источниками. При интенсивном излучении, превышающем уровень, регламентированный ГОСТ 12.1,006-84, необходимо применять защитные средства (защитные очки, специальные костюмы, поглощающие и защитные экраны и т.д.).

5 Подготовка прибора к работе

5.1 Общие указания по вводу в эксплуатацию

5.1.1 Нормальная работа измерителя обеспечивается при соответствии внешних климатических условий рабочим условиям эксплуатации.

5.1.2 Измеритель является точным прибором и требует к себе бережного обращения. Не допускается прикладывать сильные механические нагрузки к составным частям измерителя, подвергать их воздействию толчков и ударов. Не допускается попадание химически агрессивных жидкостей и их паров на составные части измерителя.

5.1.2 Перед началом работы следует внимательно ознакомиться с расположением и назначением органов управления и контроля измерителя.

Проверьте наличие и внешнее состояние элемента питания. Для этого откройте батарейный отсек с нижней стороны УО-101 и внимательно осмотрите батарею. На ней не должно быть следов коррозии и потеков электролита. В противном случае немедленно удалите элемент, протрите батарейный отсек ватой, смоченной этиловым спиртом и установите новую батарею.

5.1.3 Маркировка, расположение и назначение органов управления, индикации и коммутации.

5.1.4 На лицевой стороне УО-101 имеется панель управления и жидкокристаллический индикатор. На торцевой стороне корпуса УО-101 расположен разъем для подключения АП. На оборотной стороне корпуса расположен отсек для батареи питания. Крышка отсека питания фиксируется на защелке. Для получения доступа к элементам питания, необходимо снять крышку, отжав защелку отверткой.

5.1.5 На панели управления имеются следующие переключатели:
переключатель **ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ (РЕЖИМ РАБОТЫ)** - для выключения питания измерителя (положение **ВЫКЛ**) и переключения УО101 в режим контроля питания или в режим измерения (положения **КОНТ** или **ИЗМ**, соответственно);
переключатель **200/2000 (ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ)** - для установки пределов измерения;

5.1.6 Устройство отсчетное УО-101 отградуировано таким образом, что индикатор показывает напряжение на выходе АП в мВ. Для получения измеренных значений НЭП или НМП необходимо показания индикатора пересчитать в напряженность измеряемого поля по приведенным в настоящем руководстве формулам.

5.1.7 Измеренное с помощью ИПМ-101 значение НЭП или НМП есть среднеквадратическое значение модуля проекции вектора напряженности поля на измерительную ось АП.

При измерении НЭП, измерительной осью АП типов Е01 и Е02 является ось дипольной антенны (ось вдоль которой расположен диполь) на конце рукоятки АП.

При измерении НМП, измерительной осью АП типов Н01 и Н02, является ось перпендикулярная плоскости рамочной антенны на конце рукоятки АП.

Это значение приписывается полю, которое было в точке пространства, соответствующей центру дипольной или рамочной антенны, до внесения в поле АП.

5.2 Измерение среднего значения плотности потока энергии (ППЭ)

5.2.1 Измерение среднего значения ППЭ с помощью ИПМ-101 производится косвенным методом путем пересчета измеренного значения НЭП в ППЭ по известной формуле:

$$\text{ППЭ}[\text{мкВт/см}^2] = 0,265 \times (\text{НЭП}[\text{В/м}])^2 ,$$

связывающей среднее значение ППЭ в плоской электромагнитной волн среднеквадратическое значение НЭП.

6. Порядок работы с прибором

6.1 Достаньте из футляра устройство отсчетное УО-101 и АП необходимого типа. Подключите АП к УО-101.

6.2 Установите переключатель **ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ** в положение **КОНТ** (переключатель **200/2000** может быть в произвольном положении), При этом на индикаторе УО-101 появится контрольное число, пропорциональное напряжению питания прибора. Число на индикаторе должно находиться в пределах от 75 до 100.

При свежей батарее число находится в пределах 90-100. При разряде батареи во время эксплуатации измерителя число будет уменьшаться. При полностью разряженной батарее контрольное число станет менее 75. В этом случае следует заменить элемент питания,

Элемент питания подлежит замене также при отсутствии показаний на индикаторе или появлении в левом верхнем углу индикатора символа **LO BAT**. Проведение измерений при включенном символе **LO BAT** не допускается, поскольку в этом случае погрешность измерений может выйти за допустимые пределы.

6.3 После прохождения времени установления рабочего режима, равного 3 мин, установить переключатель **ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ** в положение **ИЗМ**, а переключатель **200/2000** в положение **2000**.

Поместите АП в измеряемое поле, удерживая ее за пластмассовую рукоятку в одной руке, а устройство отсчетное УО-101 — в другой. Изменяя направление измерительной оси АП, добейтесь максимального показания на индикаторе.

Если показания на индикаторе слишком малы, переключитесь на более чувствительный предел измерения, установив переключатель **200/2000** в положение **200**. Если на индикаторе появляется символ перегрузки (цифра 1 в левом десятичном разряде индикатора при отсутствии цифр в других разрядах), то это означает, что напряженность поля в точке измерения превышает величину установленного предела. Наиболее оптимальным для проведения измерений является предел, на котором можно получить отсчет с максимальным количеством значащих цифр.

6.4 После окончания работы с измерителем установите переключатель ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ в положение ВЫКЛ, разъедините составные части прибора и уложите их в футляр.

7 Порядок выполнения измерений

7.1 Измерение модуля проекции вектора напряженности электрического (магнитного) поля на измерительную ось АП.

7.1.1 Возьмите в одну руку УО-101, а в другую — АП. Внесите АП на вытянутой руке в исследуемое поле. При этом, на экране индикатора УО-101 появятся показания, соответствующие проекции вектора напряженности поля на измерительную ось АП.

7.1.2 Найдите среднеквадратическое значение модуля проекции вектора напряженности электрического (магнитного) поля на измерительную ось E_i ; в В/м (H_i ; в А/м) по формулам:

$$E_i = K_A \cdot K_F \quad (H_i = K_A \cdot K_F), \quad (7.1)$$

$$K_A = A \left[U_a + \frac{B\sqrt{U_a}}{C + \sqrt{U_a}} \right] \quad (7.2)$$

где K_A - амплитудный коэффициент АП, В/м;

K_F - частотный коэффициент АП;

U_a - показания индикатора УО-101, мВ;

A, B, C - коэффициенты, задающие амплитудную характеристику АП.

7.2 Измерение среднеквадратического значения модуля вектора напряженности линейно поляризованного электрического (магнитного) поля.

7.2.1 Возьмите в одну руку УО-101, а в другую — АП. Внесите П на вытянутой руке в исследуемое поле. Плавно изменяя ориентацию измерительной оси АП в пространстве, добейтесь максимального значения показаний на индикаторе УО-101. Используя это значение, определите по формулам (7.1) и (7.2) среднеквадратическое значение модуля вектора напряженности поля в данной точке пространства.

7.3 Измерение среднеквадратического значения модуля вектора напряженности произвольно поляризованного электрического (магнитного) поля.

7.3.1 Если поляризация измеряемого поля неизвестна, измерения производятся трехортогональным способом. Для этого необходимо провести в выбранной точке пространства измерение трех взаимно-перпендикулярных проекций вектора напряженности поля (E_x, E_y и E_z для электрического поля, или H_x, H_y, H_z , для магнитного поля) и произвести вычисления по формулам:

$$E = \sqrt{(E_x)^2 + (E_y)^2 + (E_z)^2}, \text{ или } H = \sqrt{(H_x)^2 + (H_y)^2 + (H_z)^2} \quad (7.3)$$

где: $E(\mathbf{H})$ - среднеквадратическое значение модуля вектора напряженности электрического (магнитного) поля.

7.3.2 Каждое измерение из трех выполняется одинаково и отличается различным направлением измерительной оси АП в точке измерения. Единственное условие, которое необходимо выполнить - это соблюдать взаимную ортогональность трех выбранных направлений.

7.3.3 При проведении измерений согласно п.7.1, 7.2, 7.3 следует оценить изменение показаний измерителя при повороте АП относительно оси ручки на 180° . Если изменение показаний превышает 20%, необходимо проводить измерения следующим образом.

7.3.4 При измерении согласно п. 7.1. модуля проекции вектора напряженности электрического (магнитного) поля на измерительную ось АП необходимо устанавливать АП в два положения, отличающиеся поворотом относительно оси ручки на 180° . Для каждого положения АП необходимо по формулам (7.1) и (7.2) определить измеренные значения напряженности поля $E^0(\mathbf{H}^0)$ и $E^{180}(\mathbf{H}^{180})$. Затем вычислить напряженность электрического (E) (магнитного (H)) поля по формуле:

$$E = \sqrt{E^0 \times E^{180}}, \quad (7.4)$$

7.3.5 При измерениях согласно п.7.2. после нахождения максимального показания УО-101 определить напряженность поля $E^0(\mathbf{H}^0)$, повернуть антенну на 180° относительно оси ручки и также определить напряженность поля $E^{180}(\mathbf{H}^{180})$. Затем вычислить напряженность поля по формуле (7.1).

7.3.6 При измерениях согласно п.7.2 значение каждой из трех проекций вектора напряженности поля находится согласно п. 7.3.4

7.4 Проведение измерений плотности потока энергии (ППЭ)

7.4.1 Для измерения ППЭ плоской линейно поляризованной электромагнитной волны на частотах более 300 МГц следует при помощи АП

типов E01 или E02 измерить среднеквадратическое значение модуля вектора напряженности электрического поля (НЭП) согласно п. 7.2 или 7.3.

7.4.2 Далее определить ППЭ по формуле

$$P=0,265 \times E^2, \quad (7.5)$$

где P - ППЭ электромагнитного поля в мкВт/см²,

E - напряженность электрического поля в В/м.

7.5 Пример проведения измерений с помощью ИПМ-101.

7.5.1 В качестве примера рассмотрим проведение измерений с помощью АП E01 в некоторой точке пространства напряженности и ППЭ электрического поля частотой 300 МГц трехортогональным способом. При этом будем использовать типовые значения коэффициентов K_F , A , B , C . Согласно приложению 1 для этих коэффициентов имеем следующие значения:

$$K_F= 0,93; A=0,0845; B = 84,3; C =9,66.$$

7.5.2 Выбираем в точке пространства O (точке измерений) три взаимно ортогональные оси Ox , Oy и Oz . Для определенности ось Oz можно направить вертикально, тогда оси Ox и Oy будут лежать в горизонтальной плоскости перпендикулярно друг другу.

7.5.3 Устанавливаем в точку O центр АП E01, ориентируя измерительную ось АП вдоль оси Ox . Записываем показания индикатора '0-101 U_x^0 . Поворачиваем АП относительно оси ручки на 180^0 и также записываем показания индикатора U_x^{180} . Далее, аналогично ориентируя измерительную ось АП вдоль осей Oy и Oz , записываем показания индикатора U_y^0 , U_y^{180} , U_z^0 и U_z^{180} . Предположим, что при этом получены следующие значения:

$$U_x^0 = 58,1 \text{ мВ}; \quad U_x^{180} = 69,5 \text{ мВ};$$

$$U_y^0 = 22,3 \text{ мВ}; \quad U_y^{180} = 25,9 \text{ мВ},$$

$$U_z^0 = 17,3 \text{ мВ}; \quad U_z^{180} = 15,0 \text{ мВ}.$$

7.5.4 Подставив полученные значения в формулы (7.1) и (7.2), получим:

$$E_x^0 = 7,5 \text{ В/м}; \quad E_x^{180} = 8,5 \text{ В/м};$$

$$E_y^0 = 3,9 \text{ В/м}; \quad E_y^{180} = 4,3 \text{ В/м};$$

$$E_z^0 = 3,4 \text{ В/м}; \quad E_z^{180} = 3,1 \text{ В/м}.$$

7.5.5 Используя формулу (7.3) получим значения модулей проекций вектора напряженности электрического поля на оси Ox , Oy и Oz .

$$E_x = (7,5 \times 8,5)^{0,5} = 8,0 \text{ В/м};$$

$$E_y = \dots = 4,1 \text{ В/м};$$

$$E_z = \dots = 3,3 \text{ В/м}.$$

7.5.6 Подставив полученные значения в формулу (7.5) получим значение модуля вектора напряженности электрического поля в точке O .

$$E_z = ((8,0)^2 + (4,1)^2 + (3,3)^2)^{0,5} = 9,6 \text{ В/м}.$$

7.5.7 Согласно п.1.4.4 получим пределы допускаемой относительной основной погрешности измеренного значения напряженности электрического поля в точке $0 \pm 22 \%$.

7.5.8 Подставив измеренное значение напряженности электрического поля в формулу (7.5) получим плотность потока энергии электромагнитного поля в точке O .

$$\text{ППЭ} = 0,265 \times (9,6)^2 = 24 \text{ мкВт/см}^2.$$

8 Обработка результатов

8.1 Ознакомиться с устройством измерителя напряженности поля малогабаритного ИПМ-101 и подготовиться к работе.

8.2 Провести измерения с помощью АП Е01 в некоторой точке пространства напряженности и ППЭ электрического поля с заданной частотой трехортогональным способом.

8.3 Результаты измерений занести в таблицу 5

Таблица 5 - Результаты исследования электрического и электромагнитного полей трехортогональным способом.

U_x^0	U_x^{180}	E_x^0	E_x^{180}	E_x
U_y^0	E_y^{180}	E_y^0	E_y^{180}	E_y
U_z^0	U_z^{180}	E_z^0	E_z^{180}	E_z
Значение модуля вектора напряженности электрического поля в точке O, (E)				
Плотность потока энергии электромагнитного поля в точке O, (ППЭ)				

7.4 С помощью приложения 1 и формул (7.1), (7.2), (7.3), (7.4), (7.5) найти значения модуля вектора напряженности электрического (E) и плотность потока энергии электромагнитного полей (ППЭ).

9 Указания по составлению отчета

Отчет должен содержать:

9.1 Цель работы.

9.2 Краткие сведения об электромагнитных полях, их характеристики, источники ЭМП. Воздействие электромагнитных полей на организм человека, методы и средства защиты от воздействия. Принципы нормирования.

9.3 Расчет показаний, полученных при помощи прибора ИПМ-101.

9.4 Таблицу с результатами измерений и расчетов.

9.5 Вывод по полученным результатам.

10 Вопросы для самоконтроля

10.1 Изложить характеристики электромагнитных полей, их источники.

10.2 Охарактеризовать воздействие электромагнитных полей на организм человека.

10.3 Изложить методы и средства защиты от воздействия, принципы нормирования.

10.4 Изложить устройство и принцип работы измерителя ИПМ-101.

10.5 Изложить порядок проведения измерений.

Список использованных источников

1 Измеритель напряженности поля малогабаритный ИПМ-101. Руководство по эксплуатации АВНР 411153.001 РЭ/ООО НПП «ДОЗА», Зеленоград, 2005.-20с.