

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра безопасности жизнедеятельности

В.А. Солопова, В.А. Литвинов

# **РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального 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 614.876 (076.5)  
ББК 30н.я7+51.26я7  
С 60

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Н.Н. Рахимова

**Солопова, В.А.**  
С 60 Расчет средств защиты от электромагнитного излучения: методические указания / В.А. Солопова, В.А. Литвинов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2015. – 18 с.

В методических указаниях представлены основы расчета средств защиты от различных источников электромагнитного излучения. Приведена краткая теоретическая часть, позволяющая студенту самостоятельно освоить данный вопрос, представлены методики расчетов и варианты для решения задач.

Методические указания предназначены для студентов всех видов и форм обучения, включая бакалавров, изучающих курс энергетические загрязнения биосферы.

УДК 614.876 (076.5)  
ББК 30н.я7+51.26я7

© Солопова В.А.,  
Литвинов В.А., 2015  
© ОГУ, 2015

## Содержание

Введение.....	4
1 Методики расчета защиты от электромагнитного излучения.....	5
1.1 Биологическое действие электромагнитных полей на организм человека.....	5
1.2 Нормирование электромагнитного излучения.....	6
1.3 Средства и методы защиты от электромагнитного излучения.....	8
2 Задания для самостоятельной работы.....	12
3 Вопросы для самоконтроля.....	13
Список использованных источников.....	14
Приложение А Таблица А.1 – Варианты исходных данных для заданий 2.1 и 2.2.....	15
Приложение Б Таблица Б.1 – Варианты исходных данных для заданий 2.3 и 2.4.....	16
Приложение В Таблица В.1 – Варианты исходных данных для задания 2.5.....	17
Приложение Г Таблица Г.1 – Варианты исходных данных для задания 2.6.....	18

## Введение

С каждым годом в городской среде увеличивается количество устройств, которые используют и передают электрическую энергию. Создаваемые этими устройствами электромагнитные поля (ЭМП) в настоящий момент являются одним из негативных факторов техносферы. Электромагнитное загрязнение среды населенных мест стало столь существенным, что Всемирная Организация Здравоохранения включила эту проблему в число наиболее актуальных для человека [1].

Искусственные источники электромагнитных полей находятся как вне жилых и общественных зданий (линии электропередач, станции спутниковой связи, передающие центры, различные распределительные устройства, электротранспорт и т. д.), так и внутри помещений (компьютеры, сотовые и радиотелефоны, бытовые электрические и микроволновые печи и др.).

Одним из мощных источников высокочастотных электромагнитных полей являются телерадиопередающие антенны, которые располагаются обычно в центре крупных городов, рядом с жилой застройкой. Такие передающие центры, которые были спроектированы для трансляции двух телевизионных программ, сейчас транслируют от 5 до 100 программ.

Часто бывают нарушены границы санитарно-защитной зоны линий электропередачи (ЛЭП) при строительстве частных домов и дач.

В быту мощным источником электромагнитных полей являются микроволновые печи, защитные средства которых быстро устаревают и теряют свои защитные характеристики по мере использования.

Поэтому электромагнитное загрязнение необходимо рассматривать как важный отрицательный фактор окружающей среды и обеспечивать средства защиты от его негативного воздействия. В настоящее время существует целый комплекс различных мероприятий и технических средств защиты биологических объектов от вредного действия ЭМП.

# **1 Методики расчета защиты от электромагнитного излучения**

## **1.1 Биологическое действие электромагнитных полей на организм человека**

Рассматривая ЭМП как важный негативный фактор окружающей среды, необходимо отметить, что в электромагнитном поле выделяют две составляющие — электрическую и магнитную.

В распространяющемся ЭМП можно условно выделить на две зоны: зону индукции (находится вблизи источника) и волновую зону (дальнюю), лежащую за пределами зоны индукции. Рабочее место человека чаще всего находится в зоне индукции, а в условиях населенных мест люди подвергаются облучению в волновой зоне электромагнитного излучения.

Под воздействием электромагнитного поля в тканях организма человека 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 мощнее электромагнитное поле, меньше длина волны излучения и продолжительнее время облучения, тем сильнее негативное влияние ЭМП на организм. Это негативное воздействие проявляется в нарушении электрофизиологических процессов в центральной нервной, сердечно-сосудистой, вегетативной и репродуктивной системах организма, функций щитовидной железы, деятельности мозга.

Тепловой эффект воздействия радиочастот большой интенсивности на организм человека связан с частичным поглощением их энергии тканями тела, что и вызывает повышение температуры.

Под воздействием высокочастотного электромагнитного излучения ионы тканей приходят в движение, соответственно, в тканях возникают высокочастотные токи, которые сопровождаются поглощением энергии полей. Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять избыточное тепло, возможно повышение

температуры тела. Некоторые органы и ткани человека, обладающие низкой терморегуляцией, более чувствительны к облучению (глаза, мозг, почки, кишечник, семенники).

Те ткани организма, которые содержат больше жидкости, обладают наибольшей проводимостью, например, кровь и лимфа. Поэтому под воздействием ЭМП сразу же наблюдаются умеренные изменения в крови. Наименьшей проводимостью обладают жировые ткани, играя при этом охранительную роль. Толщина жирового слоя в облучаемом участке оказывает влияние на степень отражения волн от поверхности тела человека. Головной и спинной мозг имеют незначительный жировой слой, а глаза совершенно его не имеют, поэтому эти органы подвергаются наибольшему воздействию.

Частое и длительное воздействие на человека электромагнитных полей различных частот с интенсивностью, которая превышает предельно допустимые уровни (ПДУ), может привести к некоторым функциональным изменениям в организме, в первую очередь - в центральной нервной системе. Эти изменения в организме могут проявляться в головной боли, нарушении сна, повышенной утомляемости, раздражительности или в виде более серьезных изменений в организме: торможении рефлексов, замедлении сокращения сердца, изменении состава крови, помутнении хрусталика глаза.

## **1.2 Нормирование электромагнитного излучения**

Нормирование электромагнитных полей производится по ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электромагнитные поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» [2].

Для предотвращения неблагоприятного влияния ЭМП на человека установлены предельно допустимые уровни 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.

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» устанавливают предельно-допустимые уровни (ПДУ) воздействия на людей электромагнитных излучений в диапазоне частот от 30 кГц - 300 ГГц.

Согласно нормам, для защиты населения от ЭМИ мощных телерадиостанций (свыше 100 кВт), они должны размещаться за пределами населенных мест, вдали от жилой застройки. Вокруг этих станций создают санитарно-защитные зоны, размеры которых должны обеспечивать предельно-допустимый уровень ЭМИ в населенных местах. Размеры санитарных зон представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры санитарных зон

Суммарная мощность передатчика, кВт	Размеры санитарной зоны, м
до 10	в пределах технической территории
от 10 до 75	от 200 до 300
от 75 до 160	от 400 до 500
более 160	от 500 до 1000

Санитарная зона разделяется на зону строгого режима (от 50 до 100 м) и зону ограниченного пользования в зависимости от мощности передатчика. В зоне строгого режима допускается пребывание только работников передающей станции, и только ограниченное время. В зоне ограниченного пользования можно располагать объекты, в которых граждане могли бы находиться менее 8 ч (гаражи, склады, хозяйственно-бытовые помещения и др.).

### 1.3 Средства и методы защиты от электромагнитного излучения

Основным способом защиты от ЭМП в жилой зоне является защита расстоянием, что и обеспечивается созданием санитарно-защитных зон. К мероприятиям, снижающим плотность потока энергии электромагнитного излучения, относят рациональную застройку, применение специальных строительных конструкций и озеленение. Основными средствами защиты от электромагнитного излучения является экранирование с помощью металлизированных решеток и сеток. Стыки таких сеток необходимо сваривать, а сами они должны быть заземлены.

Величина энергии от точечного источника излучения, приходящаяся на единицу площади в единицу времени (поток энергии), определяется по формуле

$$S_r = \frac{\eta \cdot P}{4\pi \cdot r^2}, \quad (1)$$

где  $S_r$  – плотность потока энергии, Вт/м<sup>2</sup>;

$\eta$  – часть энергии источника, уходящая на внешнее излучение, %;

$P$  – мощность источника, Вт;

$r$  – расстояние от точечного источника излучения, м.

Количество облученности человека определяется величиной энергетической экспозиции ( $\mathcal{E}$ ). При этом допустимое значение энергетической экспозиции, Вт·ч/м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$ПДЭ = S_0 \cdot T, \quad (2)$$

где  $S_0$  – предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м<sup>2</sup>;

$T$  – время воздействия электромагнитного поля, ч.

Предельно допустимое значение плотности потока энергии характеризуется векторами электрического и магнитного полей и определяется по формуле

$$S_0 = E \cdot H = E^2 \cdot 120\pi, \quad (3)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля, В/м;

$H$  – напряженность магнитного поля, А/м.

Амплитуда нормально падающей электромагнитной волны, вошедшей в материал, уменьшается в соответствии с законом

$$E = E_0 \cdot e^{-\delta \cdot x}, \quad (4)$$

где  $E$  – амплитуда прошедшей через материал волны, м;

$E_0$  – амплитуда падающей волны, м;

$x$  – толщина экрана, м;

$\delta$  – коэффициент поглощения (затухания), определяемый по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma}{2}}, \quad (5)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$\mu$  – магнитная проницаемость;

$\sigma$  – электропроводность,  $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ ;

$\omega$  – циклическая частота электромагнитных колебаний, с, определяемая по формуле

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}, \quad (6)$$

где  $c$  – скорость света,  $3 \cdot 10^8$  м/с;

$\lambda$  – длина волны, м.

В основном для экранирования используют следующие металлы: медь, алюминий, сталь. Электропроводность и магнитная проницаемость для этих металлов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Электропроводность и магнитная проницаемость металлов для экранирования

Материал	Проводимость, $\sigma \cdot 10^{-7}$ (Ом·м) <sup>-1</sup>	Магнитная проницаемость, $\mu$
Медь	6,41	1
Алюминий	4,08	1
Сталь	1,15	1000

Когда амплитуда колебаний уменьшается в  $n$  раз, то отношение  $\frac{E}{E_0} = e^{-\delta x} = n$ , прологарифмировав обе части уравнения, величину толщины защитного экрана определяют из выражения

$$x = \frac{\lg n}{\delta}, \quad (7)$$

где  $x$  – толщина экрана, м;

$n$  – величина уменьшения амплитуды колебаний, раз;

$\delta$  – коэффициент поглощения сигнала.

Напряженность магнитного поля в зоне индукции, А/м, может быть определена по формуле

$$H = \frac{I}{2\pi r}, \quad (8)$$

где  $I$  – сила тока в силовой сети, А;

$r$  – радиус зоны индукции, м.

Сила тока в силовой сети определяется по формуле

$$I = \frac{P}{U}, \quad (9)$$

где  $P$  – мощность источника магнитного поля, Вт;

$U$  – напряжение в сети, В.

Плотность энергии магнитного поля определяется по формуле

$$W = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \cdot 2, \quad (10)$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость воздуха (принимается равной единице);

$\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

## 2 Задания для самостоятельной работы

2.1 Рассчитать плотность потока электромагнитной энергии от СВЧ-печи мощностью  $P_1$ , находящейся на расстоянии  $r_1$ . Часть мощности этой печи  $\eta_1$  уходит на внешнее излучение. Варианты принять согласно таблице А.1 приложения А.

2.2 Определить безопасное расстояние, на котором можно находиться возле микроволновой печи мощностью  $P_2$ , если часть энергии печи уходит на внешнее облучение  $\eta_2$ . Принять, что плотность потока энергии будет равна или меньше допустимой. Варианты в таблице А.1 приложения А.

2.3 Определить плотность потока энергии электромагнитной волны, которая создается телевизионной станцией на частоте 190 МГц в течение времени  $T_1$ . Варианты принять согласно таблице Б.1 приложения Б.

2.4 Системы сотовой связи создают электромагнитную волну. Определить допустимое значение энергетической экспозиции, если время воздействия на человека этой волны составляет  $T_2$  (таблица Б.1 приложения Б).

2.5 Определить какой минимальной толщины должен быть защитный экран, для того чтобы ослабить нормально падающую электромагнитную волну. Варианты принять согласно таблице В.1 приложения В.

2.5 Машинист в кабине локомотива подвергается воздействию магнитных полей. Определить напряженность и плотность энергии магнитного поля от силовой сети в кабине локомотива. Варианты принять согласно таблице Г.1 приложения Г.

### **3 Вопросы для самоконтроля**

3.1 На какие две зоны делится область распространения электромагнитных полей?

3.2 Как влияет электромагнитное излучение на человека?

3.3 Перечислите последствия воздействия электромагнитных полей на человека.

3.4 Какие органы наиболее подвержены электромагнитному облучению и почему?

3.5 Назовите документы для нормирования электромагнитного излучения.

3.6 Какие основные методы, способы и средства используются для защиты от электромагнитного излучения?

3.7 Какие материалы используют для экранирования от ЭМП?

## Список использованных источников

1. Куклев, Ю. И. Физическая экология: учебное пособие для технических вузов. / Ю. И. Куклев. – М.: Высшая школа, 2001.- 357 с.
2. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электромагнитные поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. - Введ. 1986-00-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
3. Подгорных, С.Д. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Д. Подгорных. – Волгоград : Волгоградский институт бизнеса, Вузовское образование, 2011. – 240 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11307>.
4. Цуркин, А.П. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] : учебно-практическое пособие / А.П. Цуркин, Ю.Н. Сычев. – М. : Изд. центр ЕАОИ, 2011. - Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/90807/>.

## Приложение А (рекомендуемое)

Таблица А.1 – Варианты исходных данных для заданий 2.1 и 2.2

Номер варианта	Мощность СВЧ-печи, кВт		Часть мощности СВЧ-печи, уходящая на внешнее излучение, %		Расстояние от СВЧ-печи, м	Допустимая плотность потока энергии, Вт/м <sup>2</sup>
	$P_1$	$P_2$	$\eta_1$	$\eta_2$		
01	1,0	2,2	5	16	2	1,0
02	1,1	2,1	6	14	3	2,0
03	1,2	1,3	12	12	1	3,0
04	1,3	1,2	13	10	2	2,5
05	1,5	1,1	8	8	1	1,5
06	1,6	1,4	9	10	4	3,5
07	1,7	1,5	10	11	5	4,0
08	1,8	1,6	11	12	5	4,5
09	2,0	1,7	12	13	6	5,0
10	1,1	1,8	7	12	3	1,0
11	2,2	1,9	14	10	1	1,5
12	2,3	2,0	15	11	2	3,0
13	1,1	2,1	6	12	2	2,5
14	1,5	2,2	8	14	5	4,5
15	1,3	2,3	10	15	5	5,0
16	1,8	1,9	11	10	2	1,0
17	2,2	1,8	12	11	3	2,5
18	2,3	1,7	13	9	6	5,0
19	2,2	1,6	14	8	2	1,5
20	2,3	1,5	15	7	1	3,0
21	2,3	1,4	16	7	1	2,0
22	1,8	1,3	9	6	3	4,0
23	1,9	1,2	8	5	1	1,0
24	1,9	2,0	10	12	3	3,5
25	2,0	1,1	11	6	6	4,5

## Приложение Б (рекомендуемое)

Таблица Б.1 – Варианты исходных данных для заданий 2.3 и 2.4

Номер варианта	Предельно допустимое значение экспозиции воздействия излучения, мкВт·ч/см <sup>2</sup>	Предельно допустимый уровень электрического поля, В/м	Время воздействия электромагнитного излучения, мин	
	<i>ПДЭ</i>	<i>E</i>	<i>T<sub>1</sub></i>	<i>T<sub>2</sub></i>
01	200	2,0	40	240
02	180	2,5	45	245
03	150	3,0	50	300
04	180	5,5	55	360
05	190	4,5	60	420
06	200	4,0	65	450
07	210	3,0	70	460
08	220	3,5	75	480
09	230	4,0	80	420
10	240	3,0	90	300
11	250	4,0	75	420
12	200	5,5	65	480
13	150	3,5	55	365
14	180	2,0	45	420
15	190	2,5	40	480
16	220	3,0	50	420
17	230	4,5	75	300
18	240	4,0	60	420
19	250	5,5	50	480
20	200	3,0	45	240
21	180	2,5	40	325
22	150	2,0	45	240
23	200	3,5	90	300
24	150	5,0	65	360
25	190	5,5	70	425

## Приложение В (рекомендуемое)

Таблица В.1 – Варианты исходных данных для задания 2.5

Номер варианта	Металл, используемый для экранирования	Кратность ослабления электромагнитной волны, раз	Длина волны, м
		$n$	$\lambda$
01	медь	10	0,1
02	алюминий	11	0,1
03	сталь	12	0,2
04	медь	13	0,2
05	алюминий	14	0,3
06	сталь	15	0,4
07	медь	16	0,4
08	алюминий	17	0,4
09	сталь	18	0,4
10	медь	19	0,4
11	алюминий	20	0,4
12	сталь	10	0,1
13	медь	15	0,2
14	алюминий	17	0,3
15	сталь	25	0,5
16	медь	11	0,1
17	алюминий	12	0,2
18	сталь	13	0,2
19	медь	14	0,3
20	алюминий	20	0,5
21	сталь	25	0,5
22	медь	11	0,2
23	алюминий	14	0,2
24	сталь	16	0,4
25	медь	17	0,5

## Приложение Г (рекомендуемое)

Таблица Г.1 – Варианты исходных данных для задания 2.6

Номер варианта	Напряжение в сети, кВ	Мощность, развиваемая локомотивом, кВт	Расстояние от силового провода до кабины машиниста, м
01	3,0	2000	1,7
02	3,5	2250	1,8
03	3,4	2500	1,9
04	3,3	2550	2,0
05	3,6	2600	2,1
06	3,7	2700	2,2
07	3,8	2650	2,3
08	3,9	3600	2,4
09	4,0	4000	2,3
10	3,8	2900	2,2
11	3,7	2550	2,1
12	3,6	2600	2,0
13	3,5	2700	1,8
14	3,4	2550	1,9
15	3,3	2600	2,0
16	3,2	2650	1,7
17	3,1	3000	2,0
18	3,0	3250	1,8
19	3,3	3300	2,1
20	3,4	3450	2,2
21	3,8	3500	2,3
22	3,9	4000	2,4
23	4,0	3900	1,8
24	3,5	3750	1,9
25	3,0	2500	2,0