

3-е издание, переработанное и дополненное

(квалификация/степень – бакалавр)

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 280700 «Техносферная безопасность»

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

А. Н. Степанов, И. П. Степанова

«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

высшего профессионального образования

Федеральное государственное образовательное учреждение

Министерства образования и науки Российской Федерации

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая рукопись является третьей версией учебного пособия, разработанного для изучения проблем электромагнитной безопасности [74, 75].

Впервые дисциплина «Электромагнитная безопасность» (ЭМБ) была введена в учебный процесс КнАГТУ в 1998 г. для специальности 280101 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» (объем – 136 ч).

Изучение электромагнитных полей (ЭМП) как фактора риска предусмотрено ГОС специальности 280101 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» и ФГОС направления 280700 – «Техносферная безопасность» в целой серии курсов: «Источники загрязнения среды обитания», «Системы защиты среды обитания», «Безопасность труда» и т.д. Однако такое «деление» проблемы на отдельные части, с нашей точки зрения, снижает качество знаний, поэтому все знания об ЭМП были сведены в одну дисциплину.

Она призвана дать полный обзор источников электромагнитного излучения и весь частотный спектр генерируемых ими полей; представить основные методы количественных оценок электромагнитного излучения на основе решения задач теории электромагнитного поля и сформулировать общие принципы оценки качества среды по электромагнитному фактору. Познакомить с организационным алгоритмом, а также с методами и средствами обеспечения электромагнитной безопасности.

Дисциплина «ЭМБ» введена в учебный процесс как расширение и углубление дисциплин ГОС специальности 280101:

- «Источники загрязнения среды обитания» – в части, касающейся источников электромагнитных загрязнений;
- «Системы защиты среды обитания» – в части, касающейся технического обеспечения электромагнитной безопасности;
- «Безопасность труда» – в части, касающейся определения меры профессионального риска по электромагнитному фактору и разработки мер профилактики и защиты;

– «Управление здоровьем персонала» – в части, касающейся меры доказанности профессионального риска и доказательств связи между уровнем ЭМП и заболеваемостью населения и разработки мер профилактики;

– «Мониторинг ОС» – в части, касающейся приборной базы и методов измерения уровней ЭМП;

– «Системный анализ и моделирование процессов в техносфере» – в части, касающейся применения математических моделей ЭМП для прикладных расчетов на стадии проектирования.

$$U_{ab} = \int_{ra}^{rb} \mathbf{E}_r \cdot d\mathbf{r} = \int_{ra}^{rb} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) = 112,4 \text{ В.}$$

Таким образом, разность потенциалов между точками а и b будет равна

Разность потенциалов между точками а и b определяется при помощи выражения (1.6). Эта разность в потенциальном поле не зависит от пути интегрирования. Поэтому, если разбить путь интегрирования на две части и вначале проводить интегрирование вдоль радиуса от точки а до точки, которая является точкой пересечения продолжения этого радиуса с поверхностью воображаемой сферы с центром в начале координат и радиусом r_b , а затем проводить интегрирование по любой линии, лежащей на поверхности этой сферы от данной точки до точки b, то интеграл вдоль этой линии будет равен нулю, поскольку вектор напряженности поля имеет одну составляющую, направленную вдоль радиуса, а подынтегральным выражением в формуле (1.6) является скалярное произведение вектора напряженности поля и вектора d \mathbf{l} , который совпадает с касательной к поверхности сферы.

Здесь индекс r у \mathbf{E} и r в знаменателе дроби $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ означает, что напряженность поля имеет одну составляющую, направленную по радиусу. Отметим, что данная формула полностью соответствует выражению (1.2), полученному Кулоном.

Поскольку напряженность электрического поля в данном случае имеет только радиальную составляющую, величина которой является функцией радиуса и не зависит от угловой координаты, то в указанных в исходном задании точках она будет равна:

$$E(r_a) = q / (4\pi\epsilon_0 r_a^2) = 10^{-9} / (4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,04^2) = 5,62 \text{ кВ/м.}$$

$$E(r_b) = q / (4\pi\epsilon_0 r_b^2) = 10^{-9} / (4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,08^2) = 1,405 \text{ кВ/м.}$$

Поскольку данный интеграл (согласно теореме Гаусса) равен отношению заряда, помещенного внутри сферы, к диэлектрической проницаемости среды, то напряженность поля будет определяться соотношением

$$\vec{E} = \frac{d\vec{r}}{dv} \cdot \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = E \cdot \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = E \cdot 4\pi r^2.$$

В связи с этим интеграл по этой поверхности будет равен:

$$\vec{E} = \frac{d\vec{r}}{dv} \cdot \int \epsilon_r \epsilon_0 - \epsilon_0 \cdot \text{grad} E^2$$

и направлена в сторону максимального возрастания напряженности электрического поля.

Сила притяжения между обкладками конденсатора (при пренебрежении краевым эффектом) определяется следующим выражением:

$$\vec{F} = 0,5 \cdot \epsilon \cdot E^2 S,$$

где S – площадь обкладки.

Сила притяжения (на единицу длины) между параллельными цилиндрическими проводниками равных радиусов R, с расстоянием между осями $d \gg 2R$ и заряженных равными по величине и противоположными по знаку зарядами определяется формулой

$$f = - \frac{\tau \epsilon \mu^2}{2d(\ln d/R)^2}.$$

Здесь μ – разность потенциалов между проводниками.

Электрическая емкость характеризует способность тела или системы тел накапливать электрические заряды, запасая, таким образом, энергию электрического поля.

Емкость определяют как отношение заряда удлиненного проводящего тела к его потенциалу: $C = q/U$, а емкость двух проводящих тел, разделенных диэлектриком и заряженных равными по значению и противоположными по знаку зарядами, – как отношение абсолютного значения заряда к разности потенциалов этих тел: $C = q/(U_1 - U_2)$.

Емкость зависит от геометрических размеров, конфигурации, диэлектрической проницаемости диэлектрика и взаимного расположения тел. Емкость измеряется в фарадах (Ф).

Ниже приведены выражения для емкостей простейших систем. Емкость плоского конденсатора с односторонним диэлектриком равна:

$$C = (\epsilon S)/d,$$

где S – площадь каждой пластины; d – расстояние между пластинами.

Емкость плоского конденсатора с двухсторонним диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 и ϵ_2 каждого слоя и их толщиной, равной d_1 и d_2 , определяется выражением:

$$C = \frac{S}{d_1/\epsilon_1 + d_2/\epsilon_2}.$$

- Европейский комитет по нормированию в области электротехники;
- Комиссия европейского союза (CEU);
- Американский национальный институт стандартов и др.

(IRPA/INIRS);

- Международная ассоциация по радиационной защите
 - Международная ассоциация по радиационной защите (IRPA/INIRS);
 - Европейский комитет по нормированию в области электротехники;
 - Комиссия европейского союза (CEU);
 - Американский национальный институт стандартов и др.
- Международная ассоциация по радиационной защите
 - Международная ассоциация по радиационной защите (IRPA/INIRS);
 - Европейский комитет по нормированию в области электротехники;
 - Комиссия европейского союза (CEU);
 - Американский национальный институт стандартов и др.

Появление новой дисциплины «Неионизирующая радиация» стало возможным благодаря результатам научных исследований многих ученых в нашей стране и за рубежом. Хотим принести благодарность всем талантливым и преданным своему делу исследователям и профессорам университетов, на результаты работ которых опирается эта рукопись.

Несомненно, что назрела необходимость в написании монографии по истории развития электромагнитной безопасности, и она уже ждет своего автора, но в рамках настоящего издания хотелось назвать хотя бы некоторые из отечественных и зарубежных организаций и имен, внесших большой вклад в развитие этого направления [69]:

- Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения (Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А. и др.);
- Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья (Асанова Т.Л., Никитина В.Н., Ревна Н.В. и др.);
- Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт охраны труда ордена Знака Почета (Морозов Ю.А., Луковкин В.В., Сазонова Т.Е., Кривова Т.И. и др.);
- Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Рахманов Б.Н. и др.);
- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет ФГБОУ ВПО «СПбПУ» (Александров Г.Н., Лисочкина Т.В., Иванов В.Л., Редков В.П., Кашина В.А., Малаян К.Р. и др.);
- Московский энергетический институт (Национальный исследовательский университет) (Долин П.А. и др.);
- Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ) (Челябинск) (Сидоров А.И., Украинская И.С. и др.);
- МАНЭБ (Алполонский С.М., Русак О.Н. и др.);
- ВОЗ (всемирная организация здравоохранения);
- МЭК (международная электротехническая комиссия);
- Международная ассоциация по радиационной защите (IRPA/INIRS);
- Европейский комитет по нормированию в области электротехники;
- Комиссия европейского союза (CEU);
- Американский национальный институт стандартов и др.

БЛАГОДАРНОСТИ

УДК 621.316.97(07)
ББК 65.9(2)248.8я7
С794

Рецензенты:

- В. С. Сердюк, д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»
ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»;
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»,
зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор А. И. Сидоров

Степанов, А. Н.
С794 Электромагнитная безопасность : учеб. пособие / А. Н. Степанов, И. П. Степанова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. – 350 с.
ISBN 978-5-7765-1044-1

В учебном пособии изложены основы теории электромагнитной безопасности. Подробно рассмотрены основные технические источники электромагнитного излучения, а также естественные источники. Описано воздействие электромагнитных полей разного типа на человека, приведены предельно допустимые уровни, рассмотрены способы защиты и методы инструментального контроля. Рассмотрен алгоритм оценки профессиональных рисков от неионизирующих электромагнитных полей и излучений: мера риска и медико-биологические показатели для повышения категории доказанности, профессиональные заболевания, обеспечение безопасности для уязвимых групп персонала, методы доказательства связи между повышенной частотой заболеваемости и действием полей.

Для закрепления теоретического материала в пособии приведены расчетно-графические задания, ситуационные и расчетные задачи и примеры их решения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 280700 - «Техносфера безопасностью». Может быть использовано студентами электротехнических специальностей при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и выполнении раздела «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте. Может быть полезно аспирантам, преподавателям и инженерам, занимающимся проблемами электромагнитной безопасности.

УДК 621.316.97(07)
ББК 65.9(2)248.8я7

ISBN 978-5-7765-1044-1 © ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический
университет», 2013

Здесь h – высота подвеса параллельных проводов над землей; R – радиус провода; D – расстояние между проводами; l – длина проводов.

Если высота подвеса много больше расстояния между проводами, то

$$C = \frac{\pi \epsilon l}{\ln \left(\frac{2h}{R} \sqrt{4h^2 + D^2} \right)}. \quad (1.9)$$

Емкость двухпроводной линии с учетом влияния земли:

$$C \approx \frac{2\pi \epsilon l}{\ln \frac{l}{R}}.$$

Если длина цилиндра много больше его радиуса ($l \gg R$), то емкость можно определять по приближенной формуле

$$C = \frac{2\pi \epsilon l}{\operatorname{arsh} \frac{1}{R} \sqrt{R^2 / l^2 + 1 + R / l}}.$$

Емкость удлиненного цилиндра радиусом R и длиной l :

$$C \approx \frac{4\pi \epsilon l}{\ln \left(\frac{2}{R_1} \frac{D}{R_2} \right)}.$$

Емкость двух шаров радиусами R_1 и R_2 , расположенных на расстоянии D :

$$C = 4\pi \epsilon R. \quad (1.8)$$

Емкость удлиненного шара радиусом R равна:

$$C = \frac{4\pi \epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1} \cdot \frac{R_2}{\ln \frac{R_2}{R_1}}.$$

Емкость сферического конденсатора с наружным радиусом R_2 и внутренней сферической обкладкой R_1 и внутренним радиусом внешней сферической обкладки R_2 определяется выражением:

$$C = \frac{4\pi \epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1} \cdot \frac{R_2}{\ln \frac{R_2}{R_1}}.$$

Емкость на единицу длины цилиндрического конденсатора (коаксиального кабеля) с однослойным диэлектриком и радиусами обкладок R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$):

$$C \approx \frac{\pi \epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}.$$

Емкость трехфазной линии передачи с учетом влияния земли при параллельном расположении проводов:

$$C = \frac{2\pi \epsilon l}{\ln \left[\frac{2hd}{R \sqrt[3]{(4h^2 + D^2)(h^2 + D^2)}} \right]}. \quad (1.10)$$

При высоте подвеса h много больше расстояния между проводами D емкость трехфазной линии равна:

$$C = \frac{2\pi \epsilon l}{\ln \frac{2hd}{R}}.$$

При наличии нескольких заряженных проводников вводят понятие частичных емкостей и эквивалентной емкости системы.

Частичной емкостью называется емкость между двумя проводниками, входящими в систему проводов. Частичную емкость между двумя проводниками определяют как абсолютное отношение заряда одного проводника к разности потенциалов между этими проводниками, когда остальные проводники системы имеют один и тот же потенциал.

Эквивалентная емкость (рабочая) – емкость между двумя проводниками, входящими в систему проводов, учитывающая частичные емкости между парой проводов системы.

Рассмотрим несколько примеров по расчету электрического поля с использованием вышеприведенных выражений.

Пример 1.1. Точечный заряд $q = 10^{-9}$ Кл помещен в начале сферической системы координат. Определить напряжение между точками a ($R_a = 4$ см, $\theta_a = 45^\circ$, $\varphi_a = 0^\circ$) и b ($R_b = 8$ см, $\theta_b = 180^\circ$, $\varphi_b = 90^\circ$) и напряженность в тех же точках, если окружающей средой является воздух.

Решение будем проводить с помощью теоремы Гаусса, так как среда однородна.

Поскольку поле точечного заряда характеризуется сферической симметрией, то, если в качестве поверхности интегрирования взять поверхность сферы с центром в точке, где расположен заряд (в нашем случае это начало системы координат), то в любой точке на поверхности этой сферы напряженность поля будет иметь одно и то же значение. Направление же вектора \vec{E} будет совпадать с направлением радиуса, то есть перпендику-

мами электромагнитной безопасности.

лжно преподавателям, аспирантам и инженерам, занимающимся проблемами «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и инженерам, занимающимся проблемами «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и инженерам, занимающимся проблемами «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте.

Учебное пособие «Электромагнитная безопасность» предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 280700 – «Техносферная безопасность» и 280101 – «Безопасность жизнедеятельности в технике»», а также для студентов электротехнических специальностей при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и выполнении раздела «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и инженерам, занимающимся проблемами «Экологичность и безопасность» в дипломном проекте.

обходимый комплекс защитных мер, адекватных уровню угроз.

4. Биологическое действие полей разных частот на организм человека.

3. Источники сложных электромагнитных полей: ПЭВМ, мобильные телефоны, лазеры, источники ультрафиолетового излучения.

2. Классификация источников загрязнения и загрязнителей по спектру частот (постоянные, промышленной частоты, радиочастотный диапазон).

1. Определены основные понятия и определения рассматриваемой области знаний: физическая природа поля; уравнения поля.

Цель дисциплины – обеспечение электромагнитной безопасности в производственной, городской и бытовой среде.

Задачи дисциплины:

1. Определены основные понятия и определения рассматриваемой области знаний: физическая природа поля; уравнения поля.

2. Классификация источников загрязнения и загрязнителей по спектру частот (постоянные, промышленной частоты, радиочастотный диапазон).

3. Источники сложных электромагнитных полей: ПЭВМ, мобильные телефоны, лазеры, источники ультрафиолетового излучения.

4. Биологическое действие полей разных частот на организм человека.

5. Нормирование ЭМП: отечественное, зарубежное, международное.

6. Мониторинг электромагнитного загрязнения.

7. Количественная оценка уровня загрязнения расчетными методами.

8. Оценка профессиональных рисков.

9. Профилактика и защита от неионизирующих полей и излучений.

Знания, полученные в данном курсе, позволят идентифицировать источники и факторы риска, дать профессиональную оценку опасности, рассмотреть возможные альтернативы профилактики и защиты и выбрать необходимый комплекс защитных мер, адекватных уровню угроз.

Изучение связей «доза-эффект».

5. Нормирование ЭМП: отечественное, зарубежное, международное.

6. Мониторинг электромагнитного загрязнения.

7. Количественная оценка уровня загрязнения расчетными методами.

8. Оценка профессиональных рисков.

9. Профилактика и защита от неионизирующих полей и излучений.

Знания, полученные в данном курсе, позволят идентифицировать источники и факторы риска, дать профессиональную оценку опасности, рассмотреть возможные альтернативы профилактики и защиты и выбрать необходимый комплекс защитных мер, адекватных уровню угроз.

Изучение связей «доза-эффект».

5. Нормирование ЭМП: отечественное, зарубежное, международное.

6. Мониторинг электромагнитного загрязнения.

7. Количественная оценка уровня загрязнения расчетными методами.

8. Оценка профессиональных рисков.

9. Профилактика и защита от неионизирующих полей и излучений.

Знания, полученные в данном курсе, позволят идентифицировать источники и факторы риска, дать профессиональную оценку опасности, рассмотреть возможные альтернативы профилактики и защиты и выбрать необходимый комплекс защитных мер, адекватных уровню угроз.

Изучение связей «доза-эффект».

5. Нормирование ЭМП: отечественное, зарубежное, международное.

6. Мониторинг электромагнитного загрязнения.

7. Количественная оценка уровня загрязнения расчетными методами.

8. Оценка профессиональных рисков.

$$\vec{f} = f \vec{f} dS_s$$

в этой же точке:

Плотность механической силы (давление) в любой точке поверхности этого проводника равна объемной плотности энергии электрического поля

$$\vec{f} = 0.5 \cdot \vec{E} \vec{D} \cdot d\vec{s}_s$$

Сила, действующая на поверхность заряженного проводника, определяется при помощи формулы

$$\vec{f} = \int_V \rho \vec{E} dV_v$$

по объему с объемной плотностью ρ , равна:

Так, сила, действующая на заряженное тело, заряд которого распределен по объему с объемной плотностью ρ , равна:

В некоторых частных случаях сила определяется достаточно просто.

Единицей силы является ньютон (Н).

Здесь g – обобщенная координата.

$$\vec{f} = - \int_{U=const} \left(\frac{d_g W_g}{dg} \right)_{U=const} dg$$

$$\vec{f} = - \int_{U=const} \left(\frac{d_g W_g}{dg} \right)_{U=const} dg$$

ходя из энергетических соотношений:

закон Кулона невозможно. Поэтому механические силы определяют исходя из энергетических соотношений:

Механические силы взаимодействующих точечных зарядов могут быть вычислены при помощи закона Кулона. В случаях, когда заряды взаимодействуют в виде заряженных тел, могут применяться формулы Максвелла.

$$W_g = \frac{2}{2} \frac{2C}{2} = \frac{2C}{2}$$

$$W_g = \frac{2}{2} \frac{2C}{2} = \frac{2C}{2}$$

В частности, энергия конденсатора, состоящий из двух параллельных пластин площадью S , заряженных противоположными зарядами Q и $-Q$, равна

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$W_g = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k Q_k$$

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{f}}{q_0} \quad (1.1)$$

Единицей измерения напряженности поля является В/м.

Из выражения (1.1) следует, что сила \vec{f} , действующая на точечный заряд q конечной величины, внесенный в поле, будет равна:

$$\vec{f} = q\vec{E}$$

Если два точечных заряда q_1 и q_2 расположены в пустоте, то сила взаимодействия между ними, согласно опытному закону Кулона, равна:

$$\vec{f} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

где $\frac{\vec{r}}{r}$ – единичный вектор, направленный по линии, соединяющей заряды;

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; r – расстояние между зарядами, м.

Из закона Кулона следует выражение для напряженности электрического поля точечного заряда q , расположенного в пустоте:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.2)$$

Большая часть этого оборудования эксплуатируется и вблизи крупных городов, и в районах с высокой плотностью населения, и непосредственно в жилых домах, и на рабочих местах, где интенсивность и нагрузка электромагнитных полей может стать чрезмерной.

В настоящее время для того, чтобы акцентировать внимание на негативном воздействии электромагнитных полей, введены в обращение такие термины, как «электромагнитное загрязнение» и «электрошок». Причем считается, что во многих случаях электромагнитное загрязнение может быть даже более опасным, чем радиационное. Это связано с тем, что радиационные инциденты и аварии охватывают довольно ограниченные массы населения. Электромагнитные же поля воздействуют практически на все население, включая детей и подростков. Известно также, что с радиацион-

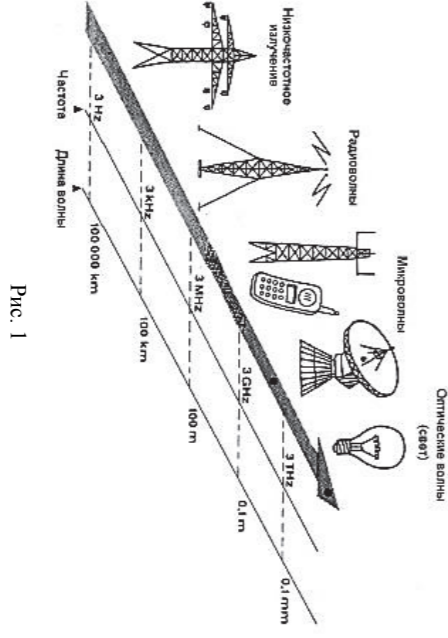


Рис. 1

т.п.) техники (рис. 1) [108].

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники неизбежно связано с применением все новых и новых источников электромагнитной энергии. Причем количество и мощность таких источников постоянно возрастает. Так, например, напряжение высоковольтных линий электропередачи уже достигло 1500 кВ и расширяется применение напряжения на переменном токе, равное 1800 кВ.

Быстрыми темпами увеличивается количество новых аэропортов, а следовательно, и количество радиолокационных станций различного назначения, появляются новые виды связи (мобильные телефоны), растет количество телевизионных каналов, огромными темпами растет использование компьютерной и бытовой (СВЧ-печи, спиральные машины, пылесосы и т.п.) техники (рис. 1) [108].

Поэтому вопросы, связанные с изучением природы электромагнитных полей, источников этих полей, профессиональной вредностью и разработкой мер защиты от них, являются достаточно актуальными. Актуальность этих проблем обусловлена так же и тем, что электромагнитные излучения могут не только негативно влиять на здоровье человека, но и приводить к техногенным катастрофам (к пожарам, взрывам боеприпасов и т.д.).

Электромагнитные поля чрезвычайно разнообразны по своим характеристикам и отличаются друг от друга частотой, интенсивностью и степенью воздействия на биологические объекты.

В настоящее время известно, что радиоволны, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, свет, рентгеновские лучи и гамма-излучение имеют одну и ту же природу и относятся к электромагнитным волнам (электромагнитному излучению (ЭМИ)). Шкала электромагнитных волн для разных диапазонов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Шкала электромагнитных волн

| Статические | Постоянные ЭМП | Диапазон частот, Гц | Длина волны, м |
|----------------|-------------------------|---|------------------------------|
| Низкочастотные | Сверхнизкие, низкие | $30 - 3 \cdot 10^3$ | $10^8 - 10^5$ |
| Радиочастотные | Радиоволны | $3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^{12}$ | $10^5 - 10^4$ |
| Оптические | Инфракрасные | $3 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{14}$ | $10^4 - 10^6$ |
| | Видимые | $4 \cdot 3 \cdot 10^{14} - 7 \cdot 5 \cdot 10^{14}$ | $(76 - 38) \cdot 10^{-6}$ |
| Ионизирующие | Ультрафиолетовые | $7 \cdot 5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$ | $38 \cdot 10^{-6} - 10^{-8}$ |
| | Рентгеновское излучение | $3 \cdot 10^{16} - 10^{19}$ | $10^{-8} - 10^{-11}$ |
| | Гамма-излучение | $3 \cdot (10^{19} - 10^{21})$ | $10^{-11} - 10^{-13}$ |

В данном пособии рассматриваются только статические и переменные ЭМП низкочастотного и радиочастотного диапазонов. В отдельный раздел вынесены широко распространенные источники ЭМП с широким частотным спектром: компьютеры, радио и сотовые телефоны. Достаточно подробно в пособии представлено также ультрафиолетовое и лазерное излучение. Эти виды полей называются неионизирующими электромагнитными полями и излучениями (НЭПИ). Рассмотрен алгоритм оценки профессиональных рисков от НЭПИ. Для закрепления и контроля знаний представлен широкий спектр учебно-методических материалов. В работе приведена обширная библиография по теме, включающая 122 источника. В приложениях представлен полный спектр нормативно-технических документов (130 документов), регламентирующих безопасное взаимодействие с источниками НЭПИ.

Соответственно, энергия поля, запасенная в объеме V , может быть представлена следующим выражением:

$$W_3 = \frac{1}{2} \int_V \vec{E} \cdot d\vec{v}.$$

Единицей энергии является Джоуль (Дж).

Энергия системы заряженных и тел определяется по формуле

Оператор ∇^2 часто обозначают Δ и называют оператором Лапласа или лапласианом.

В случае, когда среда неоднородна, при анализе электростатических полей используют граничные условия. Так, граница раздела диэлектриков проводник является поверхностью равного электрического потенциала ($U = \text{const}$), и линии напряженности поля в диэлектрике нормальны к ней. Обозначив через E_n и E_t нормальную и касательную к поверхности проводника составляющие вектора напряженности поля в диэлектрике около поверхности проводника, указанные условия можно записать в виде:

$$E_t = 0; \quad E_n = E_n = -\epsilon \cdot \partial U / \partial n = \sigma,$$

где σ – поверхностная плотность электрического заряда на поверхности проводника.

На поверхности раздела двух диэлектриков равны между собой касательные составляющие напряженности поля ($E_{n1} = E_{n2}$) и нормальные составляющие вектора электрического смещения ($D_{n1} = D_{n2}$).

Из данных граничных условий можно получить еще одно условие – условие преломления линий поля при переходе их из одного диэлектрика в другой:

$$\frac{\text{tg} \theta_1}{\epsilon_1} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \text{tg} \theta_2,$$

где θ_1 и θ_2 – углы между вектором напряженности (или смещения) и нормалью к границе раздела сред.

При этом, если вектор напряженности перпендикулярен к границе раздела, то электрическое смещение не меняется при переходе из одной среды в другую, а напряженность поля меняется скачком.

Система заряженных тел является носителем определенного запаса энергии. Энергия электрического поля распределяется во всем объеме поля. При этом каждая точка поля характеризуется объемной плотностью энергии:

$$W_3' = \vec{E} \cdot D / 2.$$

Соответственно, энергия поля, запасенная в объеме V , может быть представлена следующим выражением:

$$W_3 = \frac{1}{2} \int_V \vec{E} \cdot d\vec{v}.$$

Единицей энергии является Джоуль (Дж).

Энергия системы заряженных и тел определяется по формуле

Таким образом, разность потенциалов между точкой, лежащей на поверхности шара, и точкой, отстоящей от поверхности на расстоянии 20 см, равна

$$U_{AB} = 13.56 \cdot (1/0.06 - 1/0.26) = 173.8 \text{ В.}$$

Емкость шара можно определить выражением (1.8):

$$C = 4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot R_0 = 4\pi \cdot 3 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 0.06 = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Ф.}$$

Потенциал шара равен потенциалу любой точки, лежащей на поверхности шара ($r = R_0$), $U = 13.56/0.06 = 173.8 \text{ В}$.
Разность потенциалов между любыми точками А ($r = R_A$) и В ($r = R_B$) определяется с помощью следующей формулы

$$U_A - U_B = 13.56 \cdot (1/R_A - 1/R_B).$$

$$U = \int_r^{\infty} E_r \cdot dr = \frac{\sigma \cdot R_0^2}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{0.1 \cdot 10^{-6} \cdot 0.06^2}{3 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot r} = \frac{13.56}{r}.$$

Потенциал шара равен потенциалу любой точки, лежащей на поверхности шара ($r = R_0$), $U = 13.56/0.06 = 173.8 \text{ В}$.
Разность потенциалов между любыми точками А ($r = R_A$) и В ($r = R_B$) определяется с помощью следующей формулы

$$E_r = \sigma \cdot R_0^2 / (\epsilon_0 \cdot \epsilon_0 \cdot r^2) = 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot 0.06^2 / (3 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot r^2).$$

Таким образом, напряженность поля вне шара имеет только одну радиальную составляющую и равна

$$q = \sigma \cdot 4\pi \cdot R_0^2.$$

Здесь в качестве поверхности интегрирования взята поверхность сферы радиуса $r \geq R_0$ с центром, совпадающим с центром шара.

Заряд шара определяется через поверхностную плотность:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E_r \cdot \oint_S dS = E_r \cdot 4\pi r^2 = q/\epsilon_0.$$

Поле внутри проводящего шара отсутствует. Поле вне шара обладает сферической симметрией, поэтому рассчитывается с помощью теоремы Гаусса точно так же, как и для точечного заряда:

Пример 1.2. Уединенный проводящий шар радиусом $R_0 = 9 \text{ см}$, поверхностная плотность заряда которого $\sigma = 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$, помещен в диэлектрик ($\epsilon_r = 3$). Определить закон изменения напряженности поля и потенциала в функции расстояния r от центра шара, приняв потенциал равным нулю в бесконечности. Рассчитать напряжение между точками, одна из которых лежит на поверхности шара, а другая – на расстоянии 20 см от его поверхности. Вычислить емкость шара.

$$E_1 = r \cdot \tau / (3 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_0); U_1 = -r \cdot \tau^2 / (6 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_0) + C_1;$$

$$E_2 = r \cdot R_0^3 / (3 \cdot \epsilon_0 \cdot r^2); U_2 = r \cdot R_0^3 / (3 \cdot \epsilon_0 \cdot r).$$

Постоянная C_1 в этом случае определяется также из условия равенства потенциалов U_1 и U_2 на поверхности шара

$$C_1 = r \cdot R_0^3 \cdot (1 + 2 \cdot \epsilon_r) / (6 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r).$$

Пример 1.4. Бесконечно длинная тонкая заряженная нить расположена в воздухе вдоль оси z цилиндрической системы координат (рис. 1.2). Линейная плотность заряда $\tau = 10^{-9} \text{ Кл/м}$. Рассчитать и построить график изменения напряженности поля вдоль радиуса. Определить разность потенциалов между точками m ($r_m = 10 \text{ см}$; $\theta_m = 270^\circ$) и n ($r_n = 40 \text{ см}$; $\theta_n = 180^\circ$).

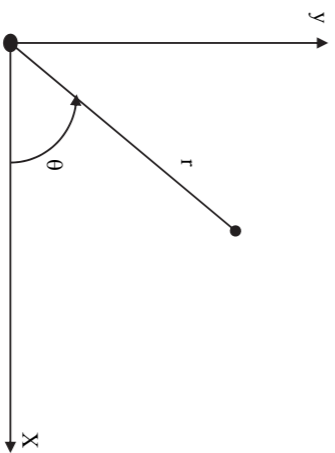


Рис. 1.2

В этом случае поле характеризуется цилиндрической симметрией, то есть во всех точках цилиндрической поверхности, охватывающей заряженную нить, произвольного радиуса r напряженность поля имеет одно и то же значение и направлена перпендикулярно к поверхности. Поэтому, если окружить нить цилиндрической поверхностью длиной l и радиусом r и использовать теорему Гаусса, то можно получить выражение для напряженности поля E :

$$\oint_S \vec{E} dS = E \cdot 2\pi r l = \tau l / \epsilon_0; \Rightarrow E = \tau / (2\pi \epsilon_0 r).$$

График изменения напряженности поля вдоль радиуса представлен на рис. 1.3.

Значение напряженности поля на графике дано в относительных единицах. За базисное значение принято значение напряженности на расстоянии одного миллиметра от начала координат ($E_0 = 1.798 \cdot 10^4 \text{ В/м}$).

$$1 + 2 \frac{r_0}{a} 10^{-2};$$

– при $n = 2$

– при $n = 3$

Здесь k – коэффициент, который определяется в зависимости от числа проводов в фазе (n) по следующим формулам:

$$E = \frac{k \cdot 0.35 U_n}{n r_0 \lg \frac{D}{r_0}}.$$

– при $n = 2$

После определения емкости максимальное значение напряженности поля на расщепленном проводе можно рассчитать с помощью формулы (1.11), заменив в ней радиус r_0 на r_s или с помощью следующего выражения [10]:

$$r_s = n r_0 \left(3 \cdot 3 \right)^{1/n}. \quad (1.13)$$

Если число составляющих и размеры всех фаз одинаковы, то при равной высоте подвески рабочая емкость средней фазы значительно (на 5 – 7 %) больше, чем крайних.

Средняя рабочая емкость трехфазной линии с расщепленными горизонтально расположенными проводами может быть приближенно вычислена по формуле (1.10), если в ней заменить радиус эквивалентным радиусом.

При подборе радиуса расщепления проводов необходимо учитывать следующие условия [1]:

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

– радиус расщепления проводов должен быть не менее радиуса провода, чтобы его поверхность была минимальной, эквивалентной радиусу расщепленного провода;

Пропускная способность ВЛ и дальность передачи электроэнергии

| Напряжение, кВ | Максимальная мощность по одной цепи, МВт | Дальность передачи, км |
|----------------|--|------------------------|
| 35 | 5 – 15 | 30 – 60 |
| 110 | 25 – 50 | 50 – 150 |
| 220 | 100 – 200 | 150 – 250 |
| 330 | 300 – 400 | 200 – 300 |
| 500 | 700 – 900 | 600 – 1200 |
| 750 | 1800 – 2200 | 800 – 1500 |
| 1150 | 4000 – 6000 | 1200 – 2000 |

Для ВЛ применяют однопроводные и многопроводные провода. Однопроводные провода изготавливаются сечением 4, 6 и 10 мм², многопроводные – для сечений свыше 10 мм². Минимальный диаметр проводов устанавливается в зависимости от величины передаваемой мощности.

Отметим, что если бы объемная плотность заряда ρ оставалась постоянной, то напряженность поля и потенциалы поля в соответствующих областях определялись бы следующими выражениями:

$$C_1 = \frac{k \cdot R^3}{4\epsilon_0} \left(\frac{1}{3\epsilon_r} + 1 \right) = 3,846 \cdot 10^4 \text{ В}.$$

Отсюда

$$U_1 \Big|_{r=R} = U_2 \Big|_{r=R} \Rightarrow -\frac{k}{12\epsilon_r \epsilon_0} R^3 + C_1 = \frac{k}{4\epsilon_0} R^3.$$

Постоянную интегрирования C_1 можно определить из условия равенства потенциалов U_1 и U_2 на поверхности шара (при $r = R$)

$$U_2 = \int_r^\infty \vec{E} d\vec{r} = \frac{k \cdot R^4}{4 \cdot \epsilon_0} \cdot \int_r^\infty \frac{1}{r^2} \cdot dt = \frac{k \cdot R^4}{4 \cdot \epsilon_0} \cdot r.$$

где C_1 – постоянная интегрирования.

Принимая потенциал бесконечно удаленной точки равным нулю, определим потенциал любой произвольной точки в области вне шара:

$$U_1 = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\frac{k}{4 \cdot \epsilon_r \epsilon_0} \cdot \frac{r^3}{3} + C_1,$$

Потенциал поля внутри шара можно определить по формуле

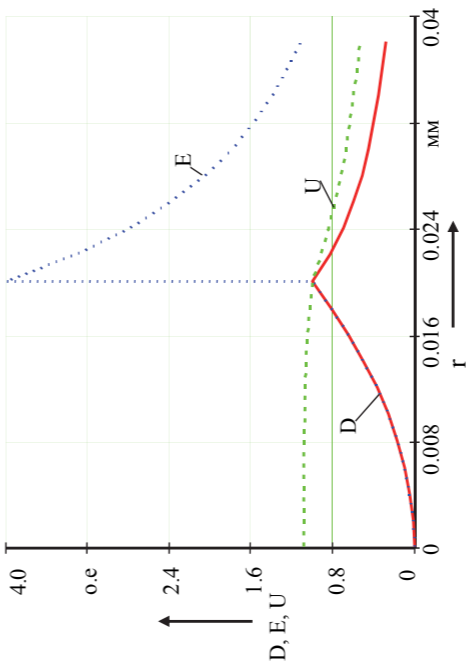


Рис. 1.1

Пример 1.3. Шар из диэлектрика ($\epsilon_r = 4$) заряжен и расположен в воздухе. Объемная плотность заряда является функцией расстояния r от центра шара: $\rho = k \cdot r$, где $k = 0,05 \pi$ [Кл/м⁴]. Радиус шара $R = 2$ см. Рассчитать и построить графики изменения потенциала и напряженности поля вдоль радиуса.

В данном случае поле также обладает сферической симметрией, но область не однородна. Поэтому здесь удобнее применять постулат Максвелла.

Так, при $0 \leq r \leq R$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dv,$$

где s – сферическая поверхность радиусом r с центром, совпадающим с центром шара; v – объем, заключенный внутри этой поверхности. Перепишем уравнение с учетом симметрии поля:

$$D_r \cdot 4\pi r^2 = k \cdot 4\pi \cdot \int_0^r r^3 dr.$$

Отсюда найдем радиальную составляющую вектора электрического смещения:

$$D_r = 0,25 k \cdot r^2.$$

Напряженность электрического поля, которая так же, как и вектор электрического смещения, направлена по радиусу, внутри шара будет равна:

$$E_r = D_r / \epsilon_r \epsilon_0 = 0,25 k \cdot r^2 / \epsilon_r \epsilon_0.$$

Вне шара ($r \geq R$) электрическое смещение, исходя из постулата Максвелла, определяется следующим образом:

$$D_r \cdot 4\pi r^2 = k \cdot 4\pi \cdot \int_0^R r^3 dr.$$

Следовательно, электрическое смещение и напряженность поля будут равны:

$$D_r = 0,25 k \cdot R^4 / r^2; \quad E_r = D_r / \epsilon_r.$$

Графики изменения напряженности поля и вектора электрического смещения представлены на рис. 1.1. Значения напряженности поля и вектора электрического смещения даны в относительных единицах. За базисные значения приняты значения этих величин на поверхности шара, которые для заданных исходных данных соответственно равны:

$$E_0 = 4,435 \cdot 10^5 \text{ В/м}; \quad D_0 = 1,571 \cdot 10^5 \text{ Кл/м}^2.$$

Для районов с умеренным климатом относительная плотность воздуха принимается равной 1,04 – 1,05.

Для наиболее распространенных в настоящее время сталламиниевых проводов, наружная поверхность которых образуется рядом алюминийевых жиллок круглого сечения диаметром 3 – 4 мм, $m = 0,82$. Для проводов, поверхность которых образуется плоскими полосками, $m = 0,90$.

В некоторых литературных источниках, например [1, 4], даются и другие выражение для определения начальной напряженности короны:

$$E_0 = 17 m \delta \left(1 + \frac{0,62}{\delta^{0,3} r_0^{0,38}} \right); \quad E_0 = 24,5 m \delta \left(1 + \frac{0,613}{(\delta r_0)^{0,4}} \right).$$

Здесь E_0 измеряется в кВ/см, а r_0 – в см.

Наибольшая напряженность электрического поля у поверхности любого из проводников должна быть $E \leq 0,9 E_0$. При этом максимальное значение E не должно превышать 2,8 МВ/м.

Максимальная напряженность электрического поля при одном проводе в фазе и симметричном расположении проводников определяется по формуле

$$E = \frac{CU_\phi}{2\pi\epsilon_0 r}, \quad (1.11)$$

где C – емкость провода; U_ϕ – фазное напряжение.

Это же значение можно определить и по приближенной формуле [101]:

$$E = \frac{0,35 U_\phi}{r_0 \lg \frac{D}{r_0}},$$

где U_ϕ – линейное напряжение, В; D – расстояние между фазами, м.

На среднем проводе при расположении их в одной плоскости напряженность больше на 7 – 10 %.

В линиях напряжением выше 330 кВ для уменьшения индуктивного сопротивления и потерь на корону применяются расцепленные провода (подвеска двух и более проводов в одной фазе линии).

При расчете емкости такого расцепленного провода, определении максимальной напряженности электрического поля на его поверхности и других расчетах предполагают, что заряд всех составляющих этого провода расположен на одном проводе, ось которого совпадает с осью симметрии расцепленного провода и с радиусом [1]:

Пример 1.5. Рассчитать электростатическое поле от двух бесконечно длинных, равномерно заряженных, параллельных, тонких проводников, расположенных в воздухе на расстоянии $2d = 6$ м друг от друга. Проводники имеют одинаковые по величине, но противоположные по знаку заряды, линейная плотность которых равна $\tau = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл/м.

Разность потенциалов между точками, указанными в условии задачи, равна 24.931 В.

Разность потенциалов между точками, указанными в условии задачи, равна 24.931 В.

$$U_m = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon} \cdot \ln r_m = 41,41 \text{ В}.$$

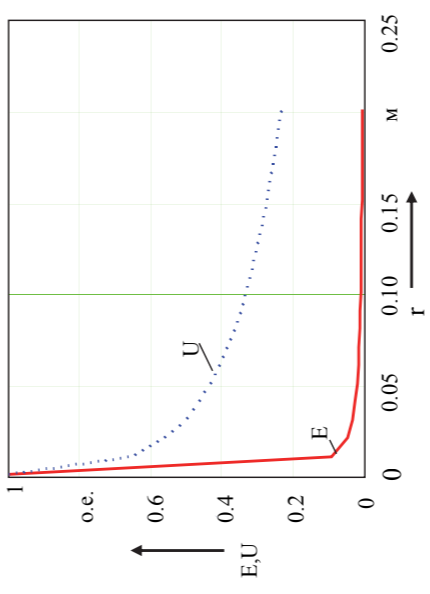
Изменение потенциала вдоль радиуса представлено на рис. 1.3. Значения потенциала даны также в относительных единицах. За базисное значение потенциала принято значение потенциала в той же точке, что и базисное значение напряженности поля ($U_b = 124.226 \text{ В}$).

Если за такую точку принять точку, расположенную на расстоянии одного метра от оси провода, то потенциал точки m будет равен:

$$U_m = \int_{r_p}^{r_m} \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \cdot dr = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} (\ln r_p - \ln r_m).$$

Потенциал поля в любой точке m , расположенной на расстоянии r_m от оси провода, равен:

Рис. 1.3



В этом случае ось ОУ будет являться эквипотенциальной линией нулевого потенциала.

Все остальные линии равного потенциала являются окружностями с центрами, лежащими на оси ОХ. Координаты этих центров и радиусы окружностей определяются с помощью следующих формул:

$$x_{ок} = \frac{1+K^2}{1-K^2} b; R_k = \frac{2K}{|1-K^2|} b; k = \frac{r_2}{r_1}.$$

Таким образом, если необходимо провести линию равного потенциала через точку, потенциал которой задан (например, 100 В), то надо определить k , используя формулу для потенциала:

$$K = e^{\frac{100 \cdot 2\pi\epsilon_0}{\tau}} = 4.015; x_{ок} = -3.397 \text{ м}; R_k = 1.593 \text{ м}.$$

При построении картины поля, для того чтобы приращение потенциала при переходе от любой линии равного потенциала к соседней оставалось постоянным, должно соблюдаться условие

$$\Delta\varphi = \varphi_{n+1} - \varphi_n = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{r_{2,n+1}}{r_{1,n+1}} - \ln \frac{r_{2,n}}{r_{1,n}} \right) = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{K_{n+1}}{K_n} = B.$$

Здесь B – постоянная; n – порядковый номер линии равного потенциала.

Таким образом, число k при возрастании порядкового номера линии равного потенциала n должно изменяться в геометрической прогрессии.

Линиями поля данной системы заряженных проводников являются дуги окружностей, пересекающихся с проводниками. При этом центры этих дуг лежат на оси ОУ и имеют координаты, которые определяются при помощи следующей формулы:

$$y = b \cdot \text{ctg}(\tau - (\alpha_1 + \alpha_2)) = b \cdot \text{ctg} \vartheta.$$

Чтобы при построении картины поля подразделить поле на трубки равного потенциала, необходимо при переходе от любой линии напряженности поля к соседней изменить угол ϑ на постоянную величину.

Пример 1.6. Два одинаковых бесконечно длинных проводящих цилиндра расположены в воздухе. Радиус цилиндров $R = 0.04$ м. Расстояние между геометрическими осями $2h = 0.12$ м (рис. 1.6).

Напряжение, приложенное к цилиндрам $U_{12} = 100 \text{ В}$.

Рассчитать электростатическое поле, построить графики изменения напряженности поля и потенциала вдоль оси x . Найти емкость системы проводов на единицу длины.

1.2.1. Линии электропередачи

Одним из основных источников электрических полей являются линии электропередачи (ЛЭП). ЛЭП являются составными частями электрических систем и вместе с электрическими подстанциями образуют электрические сети. Протяженность ЛЭП постоянно растет и только в нашей стране составляет сотни тысяч километров. При этом в связи с тем, что электрифицируются в основном зоны с благоприятными климатическими

условиями, некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Источниками электрических полей промышленной частоты являются: линии электропередачи, открытые распределительные устройства, различные высоковольтные аппараты, высоковольтные вводы, тоководы, измерительные приборы и другое высоковольтное оборудование.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

Рассмотрим некоторые из источников электрического поля более подробно.

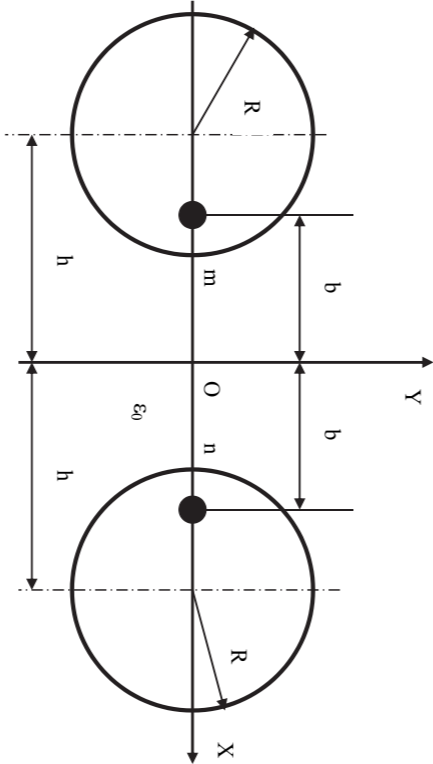


Рис. 1.6

Поле внутри проводящих проводов отсутствует. Поле же в воздухе будет точно таким, как и поле от двух бесконечно тонких линейных проводников, проходящих через электрические оси данных проводов.

Таким образом, задача по расчету поля двух проводов круглого сечения сводится к нахождению электрических осей проводов, поскольку в дальнейшем расчет поля в воздухе будет аналогичным расчету поля, приведенному в предыдущем примере.

Поскольку поверхность проводящих проводов является поверхностью равного потенциала, то, используя выражения для координат центра и радиуса линий равного потенциала, которые приведены в примере 1.5, можно получить формулу для определения координат центра электрических осей проводов b :

$$b = \sqrt{h^2 - R^2} = \sqrt{0.06^2 - 0.04^2} = 0.045 \text{ м}.$$

В условии задачи задана не линейная плотность зарядов, а разность потенциалов между проводами (разность потенциалов между точками m и n). Поэтому, прежде всего, следует определить линейную плотность зарядов τ . Для этого используем выражение для потенциалов, которое также приведено в предыдущем примере

$$U_{12} = \varphi_m - \varphi_n = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{r_2}{r_1} - \ln \frac{r_2'}{r_1'} \right).$$

Здесь r_1 и r_2 – расстояние от электрической оси первого (левого) и второго провода, соответственно, до точки m , которая находится на поверхности

Модуль данной результирующей напряженности поля рассчитывается по формуле

$$E = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Сумма этих векторов:

Направление векторов напряженности поля показано на рис. 1.4.

Результирующая напряженность поля определяется как векторная сумма этих векторов:

$$\vec{E}_1 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 l} \vec{r}_1; \vec{E}_2 = \frac{-\tau}{2\pi\epsilon_0 l} \vec{r}_2.$$

Задача по расчету поля от бесконечно длинного заряженного провода решена в примере 1.4. Поэтому сразу запишем выражения для определения напряженности поля от правого и левого провода:

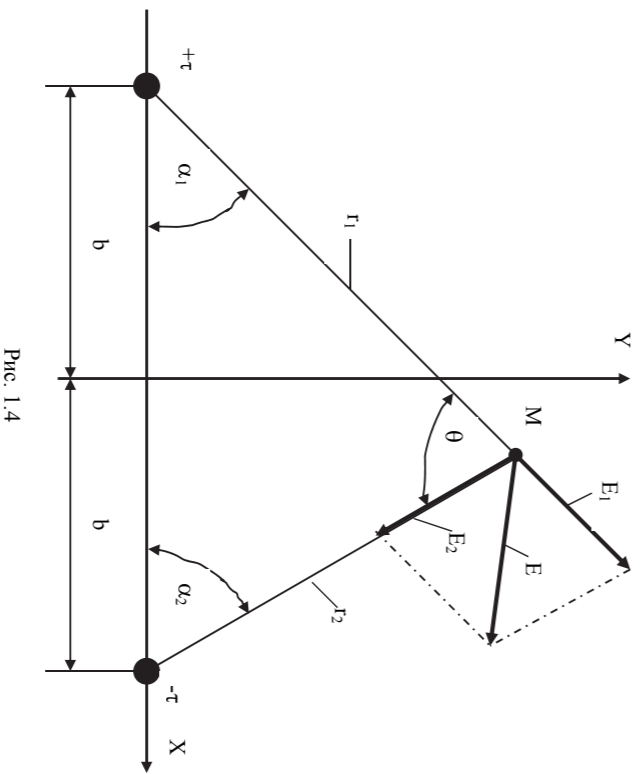


Рис. 1.4

Построить график изменения напряженности поля вдоль оси X (при $x = 0$) и вывести уравнения для построения эквипотенциальных линий и линий поля.

Поскольку среда линейна, то данную задачу можно решить методом наложения. Вначале рассчитываем напряженность поля в любой точке M от правого провода (рис. 1.4), а затем в этой же точке от левого провода.

$$E = \sqrt{(E_{1x} + E_{2x})^2 + (E_{1y} + E_{2y})^2},$$

где E_{1x} , E_{2x} , E_{1y} , E_{2y} – проекции векторов напряженности поля на соответствующие декартовы оси координат:

$$E_{1x} = E_1 \cos \alpha_1; E_{1y} = E_1 \sin \alpha_1;$$

$$E_{2x} = E_2 \cos \alpha_2; E_{2y} = E_2 \sin \alpha_2.$$

Здесь $\alpha_1 = \arctg \frac{y_m}{x_m + b}$; $\alpha_2 = \arctg \frac{y_m}{b - x_m}$; y_m и x_m – координаты произвольной точки M.

В частности, если точка M лежит на оси Y, то ($r_1 = r_2$) результирующая напряженность поля будет направлена вдоль оси X ($E = E_x$). График распределения данной величины вдоль оси Y представлен на рис. 1.5. Значения напряженности поля на графике даны в относительных единицах, при этом за базисное значение принято значение напряженности в начале координат ($x = 0, y = 0$), которое оказалось равным 47.956 В/м .

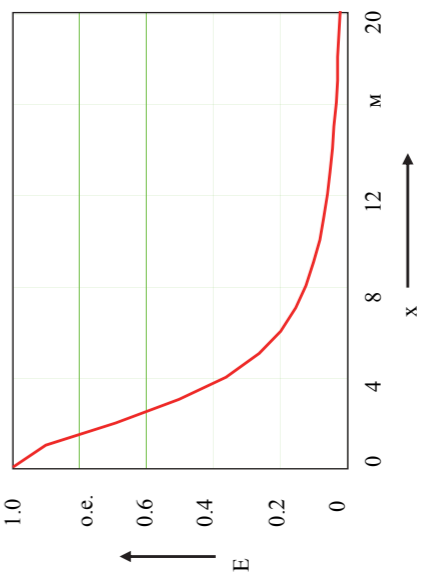


Рис. 1.5

Потенциал поля в любой точке M определяется так же как сумма потенциалов поля от одного и другого провода:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} + C.$$

Здесь C – постоянная интегрирования. Эта постоянная будет равна нулю, если принять потенциал точки, которая находится в начале координат, равным нулю.

1.2. Источники электрического поля

Источники электрического поля можно подразделить на естественные и искусственные. **Естественными источниками** являются атмосферное электричество и электрическое поле Земли. Так, известно [33], что общий заряд земного шара отрицателен и равен, примерно, $5 \cdot 10^7$ Кл. Примем этот заряд постоянно изменяется и на человека действует электрическое поле Земли напряженностью $E = 120 - 150 \text{ В/м}$.

Во время грозы, при снежных метелях, сильных ветрах, бурях напряженность электрического поля существенно увеличивается (до $120 - 150 \text{ кВ/м}$). Особенно резко она возрастает на острых выступах, возвышающихся над Землей (острые выступы скал, вершины деревьев, громоотводы, трубы, верхушки опор линий электропередачи, антенны и т.д.). При этом на этих остриях иногда возникают светящиеся разряды, известные под названием огня Эльма. В некоторых случаях светящиеся разряды наблюдаются на вытянутой руке человека и на животных, что сопровождается потрескиванием продолжительностью до нескольких часов.

Электрическое поле возникает также вследствие того, что при движении облаков, восходящих теплых потоков воздуха, трения воздушных масс они заряжаются. Это иногда может сопровождаться таким явлением, как молния. Так, если заряженное грозовое облако проходит над Землей, то оно создает на ее поверхности большие наведенные заряды и разность потенциалов при этом между облаком и землей может достигать огромных значений, измеряемых сотнями миллионов Вольт. При определенных условиях возникает пробой. Поскольку напряженность поля существенно выше над резко выступающими над поверхностью Земли частями, молния возникает чаще всего между этими частями и заряженным облаком. **Поэтому человеку находиться во время Грозы на открытой местности, а также рядом с отдельными выступающими предметами опасно.** Молния также может возникнуть и между разноименно заряженными облаками или их частями.

На электризацию атмосферы естественным образом оказывает влияние и потоки ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения, направленные от Солнца к Земле. В результате их действия на некотором

С учетом того, что ось OY является осью симметрии для напряженности поля и осью антисимметрии для потенциала, графики построены только для положительных значений x.

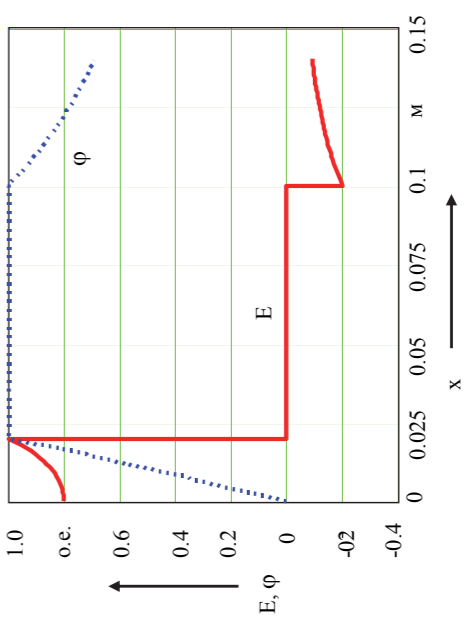


Рис. 1.7

Графики распределения напряженности поля и потенциала вдоль оси OX (при $y = 0$) приведены на рис. 1.7. Все значения на графике даны в относительных единицах, причем, за базисные значения приняты значения напряженности поля и потенциала на поверхности правого провода, которые оказались равными $E_0 = 2904 \text{ В/м}$, $\varphi_0 = -50 \text{ В}$.

приведены в примере 1.5.

После определения плотности зарядов и расположения линейной плотности зарядов и проводов можно записать уравнение для нахождения напряженности поля и потенциала в области вне проводов и в области между ними. Для этого воспользуемся формулами для нахождения напряженности поля и потенциала в области вне проводов и в области между ними:

$$E = E_1 - E_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right); \quad \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} + C.$$

Для нахождения напряженности поля и потенциала в области между проводами воспользуемся формулами для нахождения напряженности поля и потенциала в области между проводами:

$$C = -\frac{\tau\epsilon_0}{\ln \left[\frac{h}{R} + \sqrt{\frac{h^2}{R^2} - 1} \right]} = 2.889 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}.$$

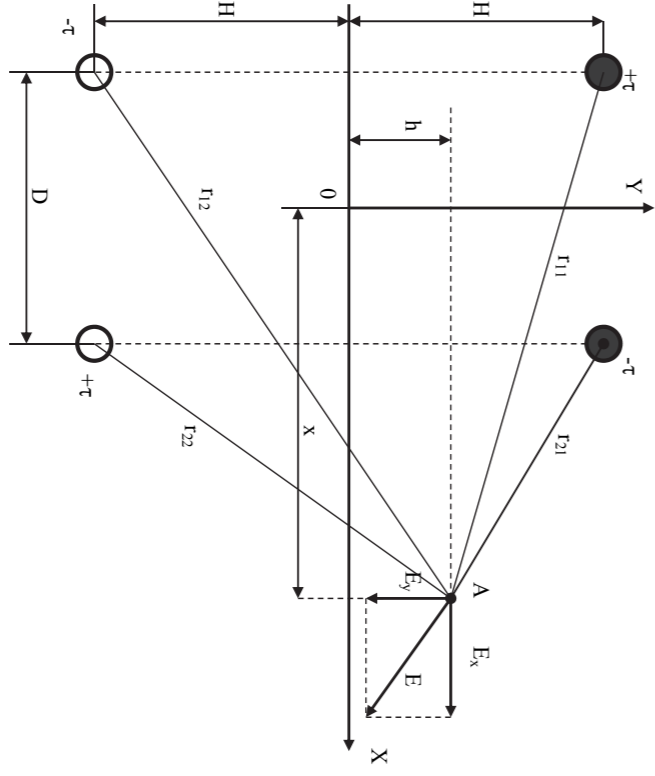
Емкость между двумя проводниками на единицу их длины определяется при помощи следующего выражения:

Найдем потенциал точки А как сумму потенциалов от каждой пары проводов (реального провода и его зеркального изображения), для чего воспользуемся формулой, приведенной в примере 1.5:

$$\tau = \frac{\pi \varepsilon U}{\ln \left(\frac{2H}{r_3 \sqrt{4H^2 + D^2}} \right)} \quad (1.15)$$

Подставляя значение емкости в выражение для заряда, находим линейную плотность заряда провода:

Рис. 1.8



Здесь r_3 – эквивалентный радиус провода (в случае, если провод расщеплен).

$$C = \frac{\pi \varepsilon l}{\ln \left(\frac{2H}{r_3 \sqrt{4H^2 + D^2}} \right)} \quad (1.14)$$

$$1 - 3.5 \frac{U_0}{a} 10^{-2};$$

$$1 + 2.5 \frac{U_0}{a} 10^{-2}$$

– при $p = 1$

Провода ВЛ подвешиваются к опорам через изоляторы с помощью специальных зажимов.

При напряжении до 35 кВ применяют штыревые фарфоровые и стеклянные изоляторы различных типов.

При напряжении от 35 кВ и выше – подвесные стеклянные, фарфоровые и остекленные изоляторы.

На ВЛ сверхвысокого напряжения для подвески проводов применяются тарельчатые и стержневые изоляторы.

Тарельчатые изоляторы изготавливаются из фарфора или закаленного стекла, а стержневые изоляторы – из высокопрочного фарфора или из полимеров.

Гирлянды подвесных изоляторов бывают поддерживающие и натяжные. Поддерживающие гирлянды располагаются вертикально на промежуточных опорах. Натяжные гирлянды размещаются на анкерных опорах почти горизонтально. На ответственных участках ЛЭП применяют двойные трехцепные и многоцепные гирлянды.

Опоры ВЛ выполняются деревянными, металлическими, железобетонными и комбинированными.

ВЛ электропередачи сверхвысокого напряжения состоят из отдельных анкерных пролетов, на концах которых устанавливаются анкерные опоры. Средняя длина анкерных пролетов составляет 5 – 10 км. В пределах каждого анкерного пролета провода подвешиваются к нескольким промежуточным опорам. В месте поворота линии, а также в месте ее пересечения с ответственными транспортными магистралями и другими линиями устанавливаются анкерно-угловые опоры. Анкерные опоры несколько ниже промежуточных, однако, поскольку они рассчитываются на большие механические нагрузки, их масса значительно больше.

Габариты ВЛ электропередачи зависят в основном от диэлектрических свойств воздуха, которые, в конечном счете, определяют расстояние (при заданном значении рабочего напряжения) между проводами, между проводами и землей, с одной стороны, и металлическими частями опор – с другой стороны. Увеличение передаваемой мощности при повышении рабочего напряжения ведет к увеличению этих расстояний и требует повышения опор и расширения зоны расположения линий. При сверхвысоких напряжениях изоляционные расстояния увеличиваются быстрее, чем растет рабочее напряжение. Это ставит определенные ограничения дальней-

лей пространстве привело к увеличению смертности подопытных мышей за счет нарушения регуляции обмена веществ в организме.

Биологическое действие полей техногенных источников. Кроме естественных полей на современного человека действуют поля от различных техногенных источников. Именно действие этих полей и рассматривается ниже.

В постоянном электрическом поле молекулы, из которых состоит тело человека, поляризируются и ориентированы по направлению поля. При этом происходит перераспределение зарядов таким образом, что поле внутри человека, которое возникает под действием этих зарядов, полностью компенсирует стороннее электрическое поле и суммарная напряженность поля внутри тела человека становится равной нулю.

Этот процесс можно интерпретировать как кратковременное прохождение токов внутри тела человека. Это ионные токи, которые протекают по межклеточной жидкости, т.к. мембраны клеток, являясь хорошими изоляторами, надежно изолируют внутриклеточную среду.

Предполагается, что нарушение регуляции физиологических функций организма обусловлено воздействием этих процессов на различные отделы нервной системы.

В ходе эксплуатации первой в мире высоковольтной линии постоянного тока «Волгоград – Донбас» напряжением 800 кВ и построенной вслед за ней линии «Экибастуз – Центр» напряжением 1500 кВ проводилось изучение воздействия постоянного электрического поля на человека. В табл. 1.7 представлены выявленные в ходе этих исследований [24] начальные функциональные изменения в человеческом организме, обусловленные воздействием постоянного электрического поля.

Таблица 1.7

Начальные функциональные изменения в человеческом организме под действием постоянного электрического поля [24]

| Место | Е, кВ/м | Физиологические сдвиги |
|---|---------|---|
| Рабочие места ОРУ производственных подстанций ЛЭП-800 | До 20 | Не выявлены |
| Под проводами ЛЭП-1500 В зоне разьединителя | 30 | Не выявлены |
| | 60 | Понижение уровня артериального давления на 2 кПа, уменьшение пульса на 10 – 14 ударов в минуту, понижение порога нервно-мышечной возбудимости при раздражающих импульсах электрического тока. Реакции носили обратимый характер |
| В непосредственной близости от проводов ЛЭП-1500 | 90 | Кроме изменений со стороны центральной нервной системы и сосудистого тонуса снижается работоспособность человека. Изменения носят стойкий характер |

1.2.2. Распределительные устройства

Одним из важнейших элементов электроэнергетических систем являются подстанции, которые осуществляют связь между электрическими станциями и линиями электропередачи, а также между станциями, линиями электропередачи и потребителями.

Каждая подстанция имеет распределительные устройства (РУ), содержащие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные и соединительные шины и вспомогательные устройства.

Распределительные устройства сверхвысокого напряжения создаются в открытом (ОРУ), закрытом (ЗРУ) и герметичном (ГРУ) исполнении. В ОРУ все основное оборудование располагается на открытом воздухе. В ЗРУ оборудование располагается в здании. В ГРУ оборудование заключено в герметичную оболочку и не имеет контактов с атмосферным воздухом. В связи с различным расположением, режим различиям в условиях работы, габариты и масса ОРУ, ЗРУ и ГРУ также различны. Наиболее громоздкое оборудование применяется на ОРУ. Поэтому ОРУ оказывают наибольшее воздействие на окружающую среду. Это воздействие состоит в том, что установки ОРУ создают значительные электрические и магнитные поля, а также являются источниками акустических и радиопомех. Акустические и радиопомехи возникают вследствие появления на электродах и проводах так называемой стримерной короны. Критическое значение напряженности

| Характеристика местности | Наименьшее расстояние, м, при напряжении ВЛ, кВ, равном | | | |
|--|---|-----|-----|-----|
| | 110 | 150 | 220 | 330 |
| Ненаселенная | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 |
| Труднодоступная | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 |
| Населенная, территория промывающей предприятий | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,0 |
| Полотно железной дороги | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| Полотно автомобильных дорог | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 |

Наименьшие допускаемые расстояния проводов ВЛ до земли и пересекаемых объектов

Таблица 1.4

| U _{ли} , кВ | Расстояние между проводами, м, при стрелах провеса, м | | | |
|----------------------|---|------|------|-----|
| 3 | 4 | 5 | 6 | 8 |
| 110 | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 |
| 150 | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 |
| 220 | - | 4,25 | 4,5 | 5 |
| 330 | - | - | 5,5 | 6 |
| 500 | - | - | 7 | 7,5 |

Наименьшее расстояние между проводами при горизонтальном расположении проводов (ПУЭ)

Таблица 1.3

| Номинальное напряжение U _{ли} , кВ | 220 | 330 | 500 | 750 | 1150 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Площадь отчуждаемой земли под промежуточную опору, м ² | 240 | 260 | 320 | 830 | 1280 |
| Площадь отчуждаемой земли под опоры на 1 км линии, м ² | 600 | 650 | 800 | 2100 | 3200 |
| Ширина просеки, м | 54 | 58,5 | 63,5 | 80 | 87 |
| Расстояние между крайними проводами, м | 14 | 18,5 | 23,5 | 40 | 47 |
| Экономическая длина пролета, м | 250 – 350 | 250 – 400 | 300 – 450 | 350 – 500 | 400 – 600 |

Характеристики ЛЭП

Таблица 1.2

шему повышению напряжения. В табл. 1.2 – 1.4 приведены некоторые сведения, характеризующие как габариты линий [1], так и изоляционные промежутки, предусмотренные правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

Наряду с линиями переменного тока получают распространение и линии электропередач постоянного тока. Так, с 1968 г. работает линия постоянного тока Волгоград – Донбасс, построена линия длиной 2414 км км Скиба-Эскибэ.

Центр напряженияи ток имеет определенные преимущества: электроэнергия транспортируется по двум проводам вместо трех (при переменном токе) что сокращает расход цветного металла и облегчает опоры; отсутствуют потери на перемагничивание проводов. Кроме этого, при постоянном токе нет различия действующего и максимального напряжения, поэтому действующее значение допустимой напряженности электрического поля на поверхности проводов в 2^{0,5} раз больше, чем на линиях переменного тока. Следовательно, оптимальное сечение на линиях постоянного тока вдвое больше, чем на линиях переменного тока.

Воздушный промежуток между проводом ЛЭП и землей является промежуток безопасности, обеспечивающим безопасность передвижения людей и животных под линией, а также сельскохозяйственных машин других транспортных средств. Одним из путей обеспечения безопасности является ограничение напряженности электрического поля под линией. **Поэтому необходимо еще на стадии проектирования ЛЭП проводить расчет напряженности поля и электрического потенциала, с тем чтобы определить оптимальные геометрические размеры линии, обеспечивающие безопасный уровень ее воздействия на окружающую среду.**

В качестве примера найдем напряженность и потенциал на расстоянии h, равном h от поверхности земли для трехфазной линии и линии постоянного тока.

Вначале рассмотрим линию постоянного тока. Пусть провода линии подвешены на высоте H и расположены в одной плоскости, параллельной земле. Разность потенциалов между проводами равна U, расстояние между проводами – D (рис. 1.8).

Расчет потенциала и напряженности электрического поля будем проводить для точки А, расположенной на расстоянии h от поверхности земли.

Для упрощения примем, что грозозащитные тросы отсутствуют или они изолированы от опор и не оказывают существенного влияния на электрическое поле вокруг проводов.

При расчете воспользуемся методом зеркальных изображений. В первую очередь найдем заряды на проводах:

$$q1 = -q2 = q = C \cdot U,$$

где C – емкость между проводами с учетом влияния земли (1.9).

Перепишем выражение (1.9) с учетом принятых обозначений для линии:

| Номинальное напряжение, кВ | Напряженность электрического поля, кВ/м |
|----------------------------|---|
| 330 | 7.5 – 10 |
| 500 | 8.5 – 25 |
| 750 | 9 – 26 |

Таблица 1.5

Типичные значения напряженности электрического поля на территории ОРУ

Таблица 1.6
Напряженность электрического поля вблизи электрооборудования ОРУ, кВ/м

| Место измерения | Напряженность электрооборудования, кВ |
|---|---------------------------------------|
| У воздушного выключателя. | 500 |
| У крайней фазы крайней ячейки между ячейками | 19 |
| У трансформатора напряжения | 27 |
| У разрядника | 17 |
| У разъединителя | 15 |
| У силового трансформатора и шунтирующего реактора на расстоянии до 5 м от баков | 4 |
| На дорогах | 23 |
| На кабельных каналах | 26 |

Провести расчет напряженности электрического поля под сложности их конфигураций не всегда представляется возможным. Поэтому для оценки уровней напряженности поля и электрического потенциала используются экспериментальные данные.

Так, например, зависимость напряженности электрического поля от крайними фазами шин ОРУ 750 кВ, расположенными на высоте 8.7 м, в функции расстояния от поверхности земли представлена на рис. 1.14 [115]. В табл. 1.5 – 1.6 даны типичные значения напряженности электрического поля на территории ОРУ, а также электрооборудования ОРУ, находящегося под рабочим напряжением, полученные опытным путем [22].

$$E_{kr} = \left(\frac{U_0}{290} + 1 \right) \sin \delta = dk$$

где E – напряженность электрического поля, кВ/м; U₀ – номинальное напряжение, кВ; δ – угол между вектором напряженности электрического поля и нормалью к поверхности земли.

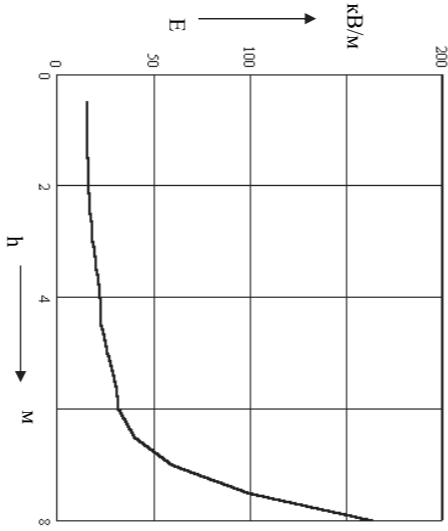


Рис. 1.14

Как видно из этих данных, напряженность поля во многих случаях превышает предельно допустимый уровень (ПДУ), равный 5 кВ/м при восьмичасовом воздействии, и поэтому требует специальных защитных мероприятий. Речь о ПДУ и защитных мероприятиях пойдет ниже.

1.3. Биологическое действие и нормативы

1.3.1. Биологическое действие постоянного электрического поля

Биологическое действие естественных электрических полей. Земля заряжена отрицательно относительно свободного пространства. Аэрозольные частицы и молекулы газа атмосферы заряжены, как правило, положительно. У поверхности Земли напряженность электрического поля составляет 100 – 150 В/м. Поле такой напряженности постоянно действует на человека. В зависимости от величины постоянное электрическое поле может оказывать как позитивное стимулирующее действие, так и негативное, патогенное действие, способное вызывать нарушения в состоянии здоровья. Доказано, что негативное действие может оказать не только увеличение, но и ослабление напряженности естественных электрических полей. Усиление электрического поля перед грозой вызывает ухудшение самочувствия у некоторых людей. Исследования на животных показали, что 2-3-недельное пребывание в экранированном от внешних электрических по-

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}. \quad (1.19)$$

Искомая напряженность электрического поля получается из выражения:

$$E_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\tau D x}{\pi \varepsilon} \left[\frac{1}{r_2^2 r_2^2} + \frac{(H-h)}{r_2^2 r_1^2} \right]. \quad (1.18)$$

$$E_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{2Hht}{\pi \varepsilon} \left[\frac{(x+0.5D)}{r_2^2 r_1^2} - \frac{(x-0.5D)}{r_2^2 r_2^2} \right]; \quad (1.17)$$

С учетом того, что электрическое поле имеет плоскопараллельный характер, выражение (1.7) для горизонтальной и вертикальной составляющей запишется следующим образом:

$$r_{11} = \sqrt{(x+0.5D)^2 + (H-h)^2}; \quad r_{21} = \sqrt{(x-0.5D)^2 + (H-h)^2}; \\ r_{12} = \sqrt{(x+0.5D)^2 + (H+h)^2}; \quad r_{22} = \sqrt{(x-0.5D)^2 + (H+h)^2}.$$

Зная величину потенциала, можно по выражению (1.7) определить напряженность электрического поля.

Эти расстояния являются гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (см. рис. 1.8) и определяются из следующих уравнений:

$$\Phi_A = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{r_{12}}{r_{11}} + \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{r_{21}}{r_{22}} = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \left(\frac{r_{12}}{r_{11}} \frac{r_{21}}{r_{22}} \right), \quad (1.16)$$

где r_{11} , r_{21} , r_{12} , r_{22} – расстояние от проводов линии и их зеркальных отображений до точки А.

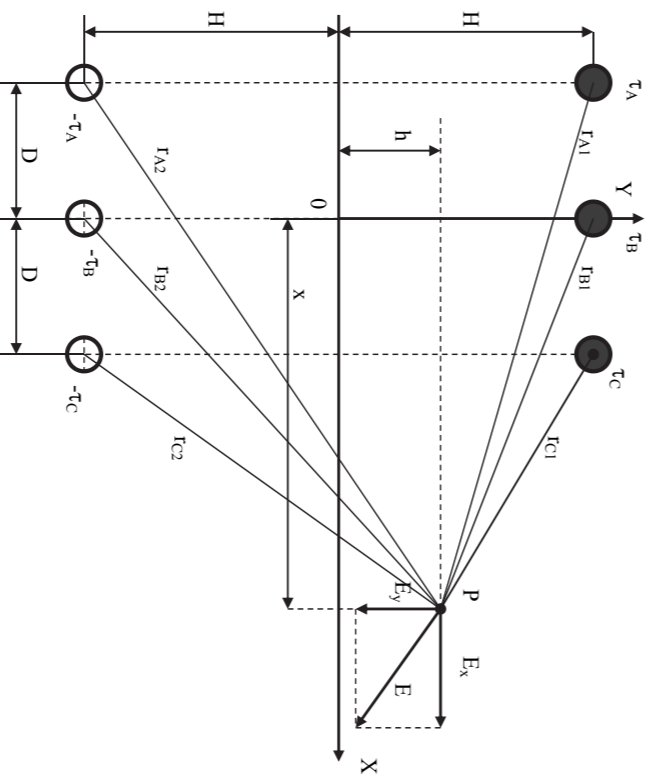


Рис. 1.11

С учетом этого комплекссы фазных напряжений (для симметричного режима) можно записать следующим образом:

$$\dot{U}_A = U_\Phi, \quad \dot{U}_B = a^2 U_\Phi, \quad \dot{U}_C = a U_\Phi.$$

Здесь U_Φ – действующее значение фазного напряжения.

Таким образом, выражение для комплексного потенциала для произвольной точки Р примет следующий вид:

$$\Phi_P = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[\ln \frac{r_{A2}}{r_{A1}} + a^2 \ln \frac{r_{B2}}{r_{B1}} + a \ln \frac{r_{C2}}{r_{C1}} \right],$$

где С – емкость фазы относительно земли (определяется по формуле (1.10)); r_{A1} , r_{A2} , r_{B1} , r_{B2} , r_{C1} , r_{C2} – расстояние от проводов соответствующих фаз и их зеркальных отображений до точки Р (см. рис. 1.11):

трессы изолированы от опор.

Пример 1.7. Определить напряженность электрического поля и электрический потенциал на высоте h , равной 1.8 м (рост человека) для ЛЭП постоянного тока напряжением 1500 кВ. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними $D = 20$ м; провода расщепленные, состоящие из 12 проводников радиусом $r_0 = 0.01205$ м с радиусом расщепления $r_p = 0.52$ м; габарит линии $H = 10$ м. Грозозащитные

Вначале по формуле (1.13) определяем эквивалентный радиус расщепленного провода $r_s = 0.432$ м (отметим, что при вычислении эквивалентного радиуса по формуле (1.12), его значение получается несколько выше 0.467 м). Затем с помощью выражения (1.14) находим емкость линии (на один метр ее длины) $C = 7.97 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, а с помощью формулы (1.15) – линейную плотность заряда провода $\tau = 1.195 \cdot 10^{-8}$ кКл/м. После этого по

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}. \quad (1.19)$$

Искомая напряженность электрического поля получается из выражения:

$$E_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\tau D x}{\pi \varepsilon} \left[\frac{1}{r_2^2 r_2^2} + \frac{(H-h)}{r_2^2 r_1^2} \right]. \quad (1.18)$$

$$E_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{2Hht}{\pi \varepsilon} \left[\frac{(x+0.5D)}{r_2^2 r_1^2} - \frac{(x-0.5D)}{r_2^2 r_2^2} \right]; \quad (1.17)$$

Зная величину потенциала, можно по выражению (1.7) определить напряженность электрического поля.

Эти расстояния являются гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (см. рис. 1.8) и определяются из следующих уравнений:

$$\Phi_A = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{r_{12}}{r_{11}} + \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{r_{21}}{r_{22}} = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \left(\frac{r_{12}}{r_{11}} \frac{r_{21}}{r_{22}} \right), \quad (1.16)$$

где r_{11} , r_{21} , r_{12} , r_{22} – расстояние от проводов линии и их зеркальных отображений до точки А.

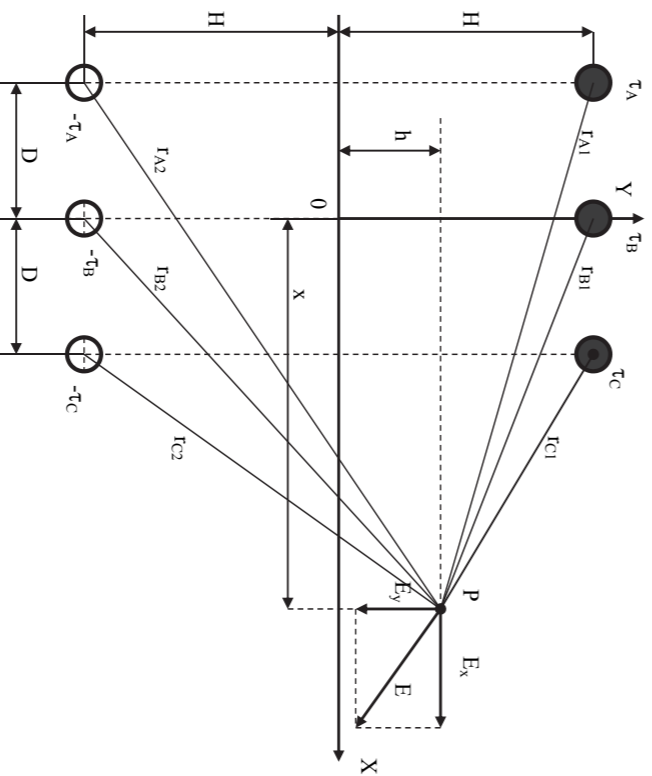


Рис. 1.11

С учетом этого комплекссы фазных напряжений (для симметричного режима) можно записать следующим образом:

$$\dot{U}_A = U_\Phi, \quad \dot{U}_B = a^2 U_\Phi, \quad \dot{U}_C = a U_\Phi.$$

Здесь U_Φ – действующее значение фазного напряжения.

Таким образом, выражение для комплексного потенциала для произвольной точки Р примет следующий вид:

$$\Phi_P = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[\ln \frac{r_{A2}}{r_{A1}} + a^2 \ln \frac{r_{B2}}{r_{B1}} + a \ln \frac{r_{C2}}{r_{C1}} \right],$$

где С – емкость фазы относительно земли (определяется по формуле (1.10)); r_{A1} , r_{A2} , r_{B1} , r_{B2} , r_{C1} , r_{C2} – расстояние от проводов соответствующих фаз и их зеркальных отображений до точки Р (см. рис. 1.11):

$$E_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[\frac{r_{B2}}{r_{B1}^2} - \frac{r_{B2}}{r_{B2}^2} \right]; \quad (1.22)$$

$$E_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[\frac{r_{B2}}{r_{B1}^2} + \frac{r_{B2}}{r_{B2}^2} \right]; \quad (1.23)$$

Модуль результирующей напряженности определяется по формуле

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}. \quad (1.19)$$

Из рисунка видно, что напротив провода напряженность поля достигает значения 37.7 кВ/м, что выше, чем при трехфазном симметричном режиме. В случае, если под напряжением окажется крайняя фаза (например, С), то только на расстоянии 25 м напряженность поля станет равной 5 кВ/м, то есть превысит зону влияния, рассчитанную для симметричного трехфазного режима.

Пример 1.9. Определить напряженность электрического поля и электрический потенциал на высоте $h = 1.8$ м для трехфазной ВЛ напряжением 1150 кВ для неполнофазного режима (под напряжением находится только провод фазы В). Характеристики линии примем такими же, как и в примере 1.8.

Вначале по формуле (1.21) находим емкость $C = 14.41 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Затем по формулам (1.22), (1.23) и (1.19) определяем напряженность электрического поля. Результаты расчета представлены на рис. 1.13.

а составляющие напряженности электрического поля можно определить следующим образом:

$$\Phi_P = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{r_{B2}}{r_{B1}}, \quad (1.21)$$

$$C = \frac{1 - \left(\frac{r_0}{H} \right)^2}{\ln \frac{r_0}{H}}.$$

Потенциал в произвольной точке Р будет при этом равен:

$$r_{A1} = \sqrt{(x+D)^2 + (H-h)^2}; \quad r_{C1} = \sqrt{(x-D)^2 + (H-h)^2}; \\ r_{A2} = \sqrt{(x+D)^2 + (H+h)^2}; \quad r_{C2} = \sqrt{(x-D)^2 + (H+h)^2}; \\ r_{B1} = \sqrt{x^2 + (H-h)^2}; \quad r_{B2} = \sqrt{x^2 + (H+h)^2}.$$

Поскольку

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2},$$

то выражение для потенциала можно переписать в следующем виде:

$$\Phi_P = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[\ln \left(\frac{r_{A2}}{r_{A1}} \sqrt{\frac{r_{B1} r_{C1}}{r_{B2} r_{C2}}} \right) - j\frac{\sqrt{3}}{2} \ln \left(\frac{r_{B2} r_{C1}}{r_{B1} r_{C2}} \right) \right].$$

Для модуля потенциала точки Р окончательно получим:

$$|\Phi_P| = \frac{CU_\Phi}{4\pi \varepsilon_0} \sqrt{\left[\ln \left(\frac{r_{A2}}{r_{A1}} \sqrt{\frac{r_{B1} r_{C1}}{r_{B2} r_{C2}}} \right) \right]^2 + \left[3 \ln \left(\frac{r_{B2} r_{C1}}{r_{B1} r_{C2}} \right) \right]^2}.$$

Используя выражение для комплексного потенциала, найдем комплекссы горизонтальной и вертикальной составляющих напряженности электрического поля в точке Р:

$$E_x = -\frac{\partial \Phi_P}{\partial x} = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[k_1 + a^2 k_3 + a k_5 \right] \\ E_y = -\frac{\partial \Phi_P}{\partial y} = \frac{CU_\Phi}{2\pi \varepsilon_0} \left[k_2 + a^2 k_4 + a k_6 \right]$$

где

$$k_1 = -\left[\frac{D+x}{r_{A2}^2} - \frac{D+x}{r_{A1}^2} \right]; \quad k_2 = -\left[\frac{H+h}{r_{A2}^2} - \frac{H-h}{r_{A1}^2} \right]; \\ k_3 = -\left[\frac{x}{r_{B2}^2} - \frac{x}{r_{B1}^2} \right]; \quad k_4 = -\left[\frac{H-h}{r_{B1}^2} + \frac{H+h}{r_{B2}^2} \right]; \\ k_5 = -\left[\frac{x-D}{r_{C2}^2} - \frac{x-D}{r_{C1}^2} \right]; \quad k_6 = -\left[\frac{H+h}{r_{C2}^2} + \frac{H-h}{r_{C1}^2} \right].$$

Подставляя значение фазового множителя в формулы для комплекссов напряженности электрического поля, получим:

Как видно из рисунка, максимального значения ($E_{\max} = 36.2 \text{ кВ/м}$) напряженность поля достигает на расстоянии, равном 10.5 м, то есть практически под проводом (под проводом $E = 36 \text{ кВ/м}$). При этом следует отметить, что основной вклад в значение модуля напряженности поля вносит вертикальная составляющая напряженности, а горизонтальная составляющая не оказывает существенного влияния. В целом, зона влияния электрического поля (пространство, в котором напряженность электрического поля превышает 5 кВ/м) данной линии составляет полосу шириной 64 м.

Распределение потенциала, который определен по формуле (1.16), вдоль оси x показано на рис. 1.10. Как видно из рисунка, потенциал также распределен неравномерно и своего максимального значения ($\Phi = 63.3 \text{ кВ}$) он достигает при $x = 10.75 \text{ м}$, то есть немного правее провода (под проводом $\Phi = 62.8 \text{ кВ}$).

Рассмотрим теперь расчет электрического поля для трехфазной воздушной линии электропередачи с горизонтальным расположением проводов с заданным линейным напряжением. Для упрощения будем также считать, что линия не имеет грозозащитных тросов (при данных условиях расчетные значения напряженности поля будут несколько завышенными по сравнению с фактическими). Кроме этого, будем считать, что провода бесконечно длинные (поле носит плоскопараллельный характер), а емкость

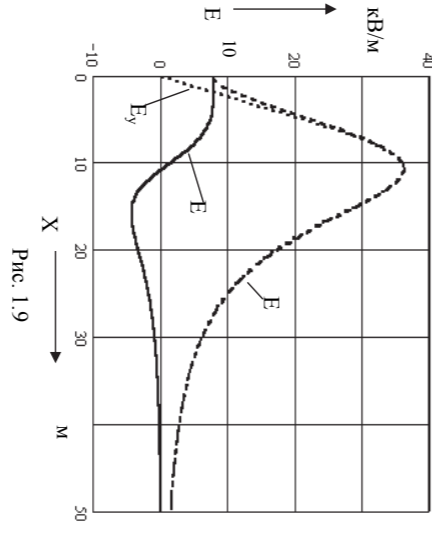


Рис. 1.9

выражениям (1.17) – (1.19) находим отдельные составляющие и модуль напряженности электрического поля. Результаты расчета представлены на рис. 1.9 в виде зависимости данных величин в функции от расстояния x до середины линии.

каждой фазы относительно земли одинакова и определяется с помощью выражения (1.10).

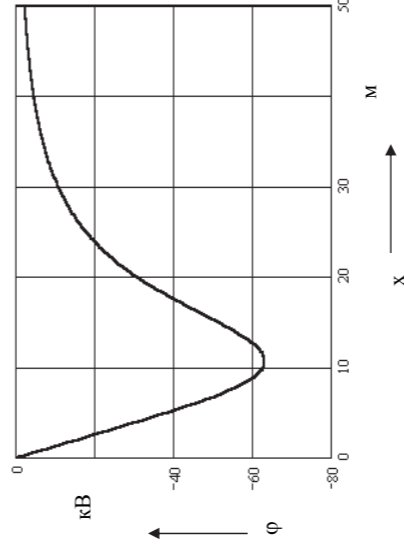


Рис. 1.10

Обозначим расстояние между осями соседних фаз через D , а высоту подвеса проводов – через H (рис. 1.11).

Вначале проведем расчет потенциала электрического поля для произвольной точки P , отстоящей от поверхности земли на расстоянии h . Расчет, так же как и для ЛЭП постоянного тока, будем проводить так же, как и для ЛЭП постоянного тока, методом зеркальных отображений. Однако, в данном случае, кроме увеличения количества проводов, есть и более существенное отличие по сравнению с расчетом поля ЛЭП постоянного тока. Это отличие заключается в том, что фазные напряжения, а следовательно, и заряды проводов являются синусоидальными функциями времени. Кроме этого, эти напряжения и заряды сдвинуты относительно друг друга по фазе (в симметричном режиме этот угол сдвига равен $2\pi/3$). Поэтому расчет удобнее проводить с помощью комплексных изображений. Для временные функции заменяются их комплексными изображениями. Для удобства записи комплексных функций применяют комплексный вектор a , который носит название фазного множителя и который равен:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

где j – мнимая единица.

Что касается электрического потенциала, то максимального значения, равного 60 кВ, он достигает также при $x = 23 \text{ м}$, а под серединой линии его значение равно 55.9 кВ.

Электрические системы и все их элементы, как правило, работают в трехфазном симметричном режиме. Однако в последнее время в энергетических системах стали широко внедряться и несимметричные режимы или, как их иначе называют, неполнофазные режимы.

Несимметричные длительные неполнофазные режимы могут возникать при ремонтах линий передачи или другого оборудования, при послеаварийных режимах, когда при аварии на одной из фаз передачи отключается только поврежденная фаза. Осуществление несимметричных режимов имеет большое значение, так как позволяет повысить надежность снабжения потребителей. Поэтому для оценки влияния электрооборудования, в том числе и линий электропередачи, на окружающую среду необходимо проводить расчеты напряженности электрического поля и при этих режимах.

Рассмотрим расчет электрического поля ВЛ вначале при однофазном режиме работы (пусть под напряжением находится только фаза В (см. рис. 1.11)). В этом случае емкость провода данной фазы можно определить по формуле

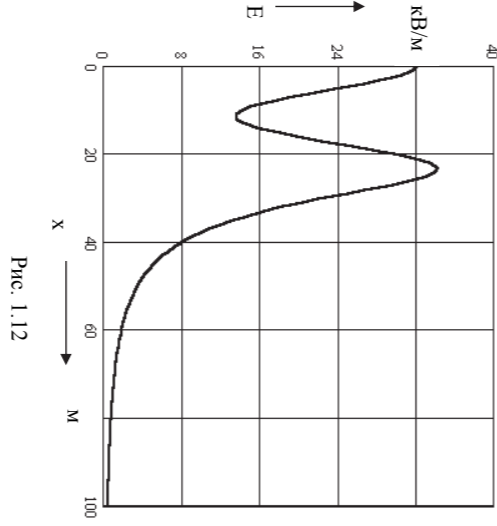


Рис. 1.12

Таким образом, модули данных соотносящихся будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{E}_x &= E_x = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{CU_{\Phi}}{4\pi\epsilon_0} [2k_2 - k_4 - k - \epsilon_3 - k_6] \\ \dot{E}_y &= E_y = \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{CU_{\Phi}}{4\pi\epsilon_0} [2k_1 - k_3 - k_5 + 3(k_5 - k_3)^2]; \\ \dot{E}_z &= E_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{CU_{\Phi}}{4\pi\epsilon_0} [2k_1 - k_3 - k_5 + 3(k_5 - k_3)^2]; \end{aligned} \quad (1.20)$$

Искомая напряженность электрического поля получается из выражения (1.19).

Пример 1.8. Определить напряженность электрического поля и электрический потенциал на высоте $h = 1.8 \text{ м}$ для трехфазной ВЛ напряжением 1150 кВ. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними $D = 23 \text{ м}$; фазы расщепленные, состоящие из восьми проводов АС300/48 радиусом $r_0 = 0.01205 \text{ м}$, с радиусом расщепления $r_p = 0.52 \text{ м}$; габарит линии $H = 10 \text{ м}$. Грозозащитные тросы изолированы от опор.

Вначале по формуле (1.12) определяем эквивалентный радиус расщепленного провода $r_5 = 0.421 \text{ м}$. Затем с помощью выражения (1.10) находим емкость фазы (на 1 м ее длины):

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \left(\frac{2HD}{r_5^3 \sqrt{4H^2 + D^2} \sqrt{H^2 + D^2}} \right)} = 15.26 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}.$$

После этого по формулам (1.20), (1.19) находим отдельные составляющие и модуль напряженности электрического поля. Результаты расчета представлены на рис. 1.12 в виде зависимости модуля напряженности электрического поля в функции от расстояния x до среднего провода.

Как видно из рисунка, максимального значения ($E_{\max} = 34.44 \text{ кВ/м}$) напряженность поля достигает на расстоянии, равном 23.5 м, то есть практически под проводом фазы С (под проводом $E = 34.17 \text{ кВ/м}$). При этом следует отметить, что в данном случае, так же как и для линии постоянного тока, основной вклад в значение модуля напряженности поля вносит вертикальная составляющая напряженности, а горизонтальная составляющая не оказывает существенного влияния. В целом, зона влияния электрического поля данной трехфазной линии составляет полосу шириной 90 м.

Концентрация аэроионов, превышающая 10^3 см^{-3} , уже оказывает негативное воздействие на человека [25].

Ток короны заряжает изолированные объекты вблизи ВЛ линий и повышает их потенциал. Величина потенциала у тел, имеющих размеры порядка 1 м, может достигать 100 кВ.

Кроме того, объемный заряд короны увеличивает напряженность электрического поля вблизи земли до 1.3 раза в хорошую погоду и до 1.5 – 2 раз при осадках.

Кроме того, объемный заряд короны увеличивает напряженность

электрического поля вблизи земли до 1.3 раза в хорошую погоду и до 1.5 – 2 раз при осадках.

Расчеты показывают [28], что под ЛЭП постоянного тока $\pm 750 \text{ кВ}$

концентрация аэроионов может в сотни раз превышать естественную концентрацию в атмосфере ($n_+ = 1.97 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$; $n_- = 1.37 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$), а при плохой погоде будет еще выше ($n_+ = 3.6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$; $n_- = 3.15 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$).

жизни значений.

жизни значений.

Аэроионы. Естественная концентрация аэроионов в атмосфере имеет порядок $n = 10^5 \text{ см}^{-3}$. При эксплуатации линий постоянного тока, начиная с $E = 50 \text{ кВ/м}$, наблюдается избыточный поток аэроионов, источником которых является корона на проводах.

Процесс сопровождается прохождением тока через тело человека.

Разряды могут вызывать раздражение, испуг, непроизвольные движения, потерю равновесия, выскальзывание предметов из рук и т.п., и как следствие, при неблагоприятном стечении обстоятельств – **травму**.

В случае **прикосновения** к изолированному от земли металлическому предмету **большой протяженности** (трубопровод, проволочная ограда на деревянных стойках) или **большого размера** (металлическая крыша деревянного здания, автобус, комбайн и другие механизмы на резиновом ходу) **ток**, проходящий через тело человека, **может достигать опасных для жизни значений**.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал. Если человек не заземлен, то может произойти разряд. Этот процесс сопровождается прохождением тока через тело человека.

Разряды могут вызывать раздражение, испуг, непроизвольные движения, потерю равновесия, выскальзывание предметов из рук и т.п., и как следствие, при неблагоприятном стечении обстоятельств – **травму**.

Разряды. На любых предметах и телах, расположенных в электростатическом поле Земли и изолированных от Земли, накапливаются поверхностные заряды (особенно сильно электризуются синтетические ткани).

При соприкосновении с заземленными предметами происходит разряд. Пробивная электрическая прочность для воздуха составляет 30 кВ/см. Для пробоя такого диэлектрика требуются довольно значительные величины статических зарядов.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал. Если человек не заземлен, то может произойти разряд. Этот процесс сопровождается прохождением тока через тело человека.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал.

Как следует из представленных в табл. 1.7 данных, при 30 кВ/м первые зоологические сдвиги еще не выявлены, а при 60 кВ/м появляются первые обратимые реакции. По данным других источников [31], длительное воздействие статических полей с напряженностью, превышающей всего лишь **1 кВ/м**, уже вызывает у человека головную боль, нарушение обмена веществ, утомленность, раздражительность.

Разряды. На любых предметах и телах, расположенных в электростатическом поле Земли и изолированных от Земли, накапливаются поверхностные заряды (особенно сильно электризуются синтетические ткани). При соприкосновении с заземленными предметами происходит разряд. Пробивная электрическая прочность для воздуха составляет 30 кВ/см. Для пробоя такого диэлектрика требуются довольно значительные величины статических зарядов.

Человек в электростатическом поле также приобретает определенный потенциал. Если человек не заземлен, то может произойти разряд. Этот процесс сопровождается прохождением тока через тело человека.

Таблица 1.9

| Нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений [91] | | | |
|---|--|------------------------|-------------------|
| Уровень ионизации воздуха | Число ионов в 1 см^3 воздуха | Показатель polarity, П | |
| Минимально необходимый | 400 | n_+ | n_- |
| Оптимальный | 1500 – 3000 | 3000 – 5000 | От –0.5 до 0 |
| Максимально допустимый | 50000 | 50000 | От –0.05 до +0.05 |

Проведение контроля аэроионного состава воздуха регламентируется МУК 4.3.1675-03 «Общие требования к проведению контроля аэроионного состава воздуха» [42].

Коллективные и индивидуальные средства защиты работающих от опасного и вредного воздействия статического электричества представлены в ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества». В качестве группового ионизатора, обеспечивающего оптимальный состав аэроионов, может быть рекомендована Люстра Чижевского.

Для сравнения представляет интерес рассмотреть нормы на электростатическое поле для персонала, принятые в Германии. Для 8-часового дня они составляют $E = 40 \text{ кВ/м}$ (у нас, как Вы помните, $E = 20 \text{ кВ/м}$).

Из табл. 1.9 n_+ и n_- – отрицательные и положительны ионы, а показатель polarity П рассчитывается по выражению:

$$P = (n_+ - n_-) / (n_+ + n_-).$$

Как видно из представленных данных, количество отрицательных аэроионов должно превышать количество положительных аэроионов.

1.3.3. Биологическое действие электрического поля промышленной частоты

Под воздействием переменного электрического поля в теле человека, как и проводящем материале, наводятся **вихревые токи**. Кроме этого, через человека начинают протекать **токи смещения**, т.к. человек обладает определенным емкостным сопротивлением по отношению к земле. Совокупность этих двух явлений и обуславливает биологическое действие электрического поля промышленной частоты: нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой системы, а так-

Экранирующие костюмы запрещается применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

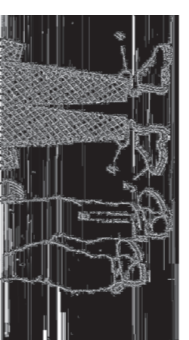


Рис. 1.19

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

Экранирующие костюмы не следует применять в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям электрооборудования, которые находятся или могут оказаться под напряжением.

1.4.4. Экранирующие устройства

Основным техническим средством защиты работающих от воздействия электромагнитных полей является экранирование. Экранирующие устройства (экраны) в зависимости от их конструкции и размеров, а также от места и условий размещения могут служить индивидуальными или коллективными средствами защиты. В конструктивном отношении экраны представляют собой козырьки, навесы, перегородки, изготовленные из металллической сетки с ячейками не более $50 \times 50 \text{ мм}$, укрепляемые на стальной раме и надежно соединенные с контуром заземления.

Защитные свойства экранирующих устройств основаны на эффекте электростатической индукции. Суть этого эффекта заключается в том, что если внести заряженное или незаряженное проводящее тело во внешнее электрическое поле, то поле внутри проводящего тела исчезает. В пространстве вне тела внешнее поле изменяется. На поверхности тела навоятся (индуцируются) электрические заряды.

Если внесенное тело не было заряжено, то сумма наведенных на нем зарядов оказывается равной нулю. Эти заряды распределяются так, чтобы их поле внутри проводящего тела в точности компенсировало внешнее поле. Ничто не изменится, если проводящее тело будет полым – во всей полости тела поле также будет отсутствовать. Если экран заземлит, то такой экран способен в равной мере защищать внешнее пространство от поля зарядов, помещенных внутри экрана и от стороннего поля в какой-то части внешнего пространства. Ослабление стороннего электрического поля в некоторой части внешнего пространства (между заземленным экраном и землей) происходит вследствие того, что разность потенциалов между заземленным экраном и землей равна нулю. Таким образом, напряженность электрического поля в этой части пространства либо будет также равна нулю, либо резко уменьшится, что хорошо иллюстрируется рис. 1.15. При соответствующих размерах, форме и размещении экрана защитное про-

следует пользоваться формулой [19, 80]:

$$T_{\text{доп}} = (60 / E_{\text{факт}})^2.$$

В диапазоне изменения напряженности от 20 до 60 кВ/м для определения допустимого времени пребывания без специальных мер защиты, в зависимости от фактической напряженности поля на рабочих местах $E_{\text{факт}}$, следует пользоваться формулой [19, 80]:

$$E_{\text{прет.}} = 60 \text{ кВ/м.}$$

Предельное значение напряженности поля, при котором допускается работать без специальных мер защиты в течение ≤ 1 ч за смену, равно

$$E_{\text{прет.}} = 60 \text{ кВ/м.}$$

ПДУ постоянных электрических полей для персонала предприятий установлен ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [19], а также санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электроматнитные поля в производственных условиях» [80]. В соответствии с требованиями этих документов разрешается работать в течение рабочей смены (8 ч) без специальных мер защиты при напряженности $E_{\text{доп}} \leq 20 \text{ кВ/м}$.

ПДУ постоянных электрических полей для персонала предприятий установлен ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [19], а также санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электроматнитные поля в производственных условиях» [80]. В соответствии с требованиями этих документов разрешается работать в течение рабочей смены (8 ч) без специальных мер защиты при напряженности $E_{\text{доп}} \leq 20 \text{ кВ/м}$.

1.3.2. Нормирование постоянного электрического поля

Нормирование может рассматриваться как одна из мер защиты от ЭМП. Нормирование – это установление и утверждение на законодательном уровне безопасного порога действия поля.

Безопасный уровень воздействия поля принято называть ПДУ.

ПДУ устанавливаются для разных групп людей (население, персонал предприятий), для разной длительности действия (без ограничения времени действия, с ограничением времени действия), для разных территорий и зон (рабочая зона, жилые здания, территория жилой застройки и т.д.), для разных видов источников (ДЭС, ПЭВМ и т.п.), для разных частотных диапазонов полей.

ПДУ постоянных электрических полей для персонала предприятий установлен ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [19], а также санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электроматнитные поля в производственных условиях» [80]. В соответствии с требованиями этих документов разрешается работать в течение рабочей смены (8 ч) без специальных мер защиты при напряженности $E_{\text{доп}} \leq 20 \text{ кВ/м}$.

При воздействии электростатического поля (ЭСП) менее 8 в за смену предельно допустимый уровень напряженности электрического поля должен быть переопределен по формуле [19, 80]:

$$E_{\text{ПДУ}} = 60 / \sqrt{t},$$

где t – время воздействия, ч.

При напряженности ЭСП, превышающей 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается.

Для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения установлены наряду с допустимыми уровнями напряженности электростатического поля и плотности ионного потока в СН 6032-91 [95].

«Электроустановки постоянного тока ультравысокого напряжения созданы в рабочей зоне электростатические поля и аэроины, возникающие вследствие коронирования токоведущих частей. Движение аэроионов в ЭСП создает ионный ток» [95]. Здесь имеет место комбинированное действие поля и ионного тока, поэтому нормируются оба эти параметра. Рекомендации этого документа представлены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Допустимые уровни напряженности ЭСП и плотности ионного потока для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения [90]

| Е, кВ/м | Плотность ионного тока, нА/м ² | Время пребывания, ч | Запрещено без средств защиты |
|---------|---|---------------------|------------------------------|
| < 15 | 20 | 8 | |
| 15 – 20 | < 25 | 5 | |
| ≥ 20 | – | – | Рассчитывается по [83] |
| 60 | – | ≤ 1 | |
| > 60 | – | – | Запрещено без средств защиты |

При напряженности ЭСП 20 кВ/м и выше расчет допустимого времени пребывания персонала производится по графику [90] или по формуле

$$t_{\text{доп}} = \frac{(E_{\text{пр}})^2 \cdot t_1}{(E_{\text{ф}} + \beta I_{\text{ф}})^2},$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время, ч; $E_{\text{пр}}$ – предельно допустимое значение напряженности ЭСП, равное 60 кВ/м; t_1 – время, равное 1 ч, в течение которого допустима $E_{\text{пр}}$ (по ГОСТ 12.1.045-84); $E_{\text{ф}}$ и $I_{\text{ф}}$ – фактические значения напряженности ЭСП (кВ/м) и плотности ионного тока (нА/м²); β – эмпирический коэффициент, равный 0,25 кВ·м/нА.

Средством индивидуальной защиты является специальная экранирующая одежда – проводящий костюм, который предназначен для защиты человека от воздействия электрического поля в действующих электроустановках напряжением свыше 330 кВ.

1.4.5. Экранирующая одежда

При этом стационарные экраны не должны препятствовать проезду машин и механизмов нормальных габаритов.

Установка экранов как временных, так и постоянных должна выполняться с соблюдением допустимых изоляционных расстояний до токоведущих частей (для установок 330 кВ – 3,5 м; 500 кВ – 4,5 м; 750 кВ – 6,4 м).

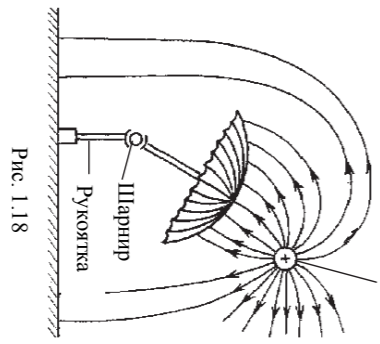


Рис. 1.18

Источник ЭП

В качестве примера переносного экранирующего устройства приведем экран в виде экранирующей зонта [24] (рис. 1.18). Экранирующий зонт изготавливается из металлизированной ткани и снабжается заземляющим проводником. Кроме того, в рукоятке зонта встроены шарнир, который обеспечивает возможность ориентировать зонт в пространстве в соответствии с напряженностью электрического поля, а сама рукоятка может выполняться в виде телескопической стойки.

Установка экранов как временных, так и постоянных должна выполняться с соблюдением допустимых изоляционных расстояний до токоведущих частей (для установок 330 кВ – 3,5 м; 500 кВ – 4,5 м; 750 кВ – 6,4 м).

Временные (переносные, передвижные) экранирующие устройства применяются для защиты от воздействия электрического поля персонала, выполняющего в течение определенного времени эксплуатационные, ремонтные или монтажные работы на участках действующей электроустановки, не защищенных стационарными экранами. Их изготавливают в виде переносных или передвижных (съемных) козырьков, навесов, перетородок, щитов, палаток и подобных им устройств из тех же материалов, что и стационарные экраны. Палатки и навесы можно изготавливать и из специальной металлизированной или обычной ткани (брезента), покрытой алюминиевой краской.

Экраны делятся на стационарные и передвижные. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее.

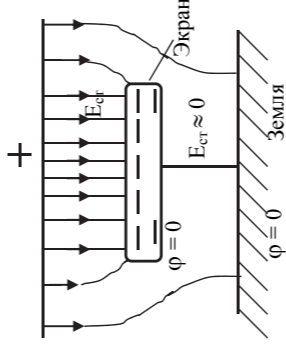


Рис. 1.15

Экраны делятся на стационарные и передвижные. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при выполнении работ в зонах с напряженностью электрического поля до 5 кВ/м и менее.

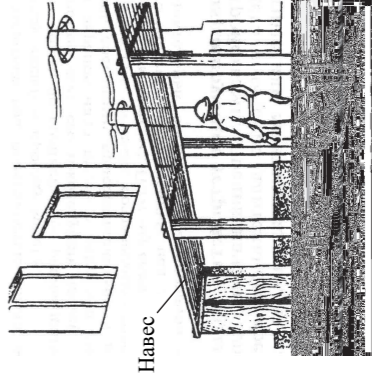


Рис. 1.17

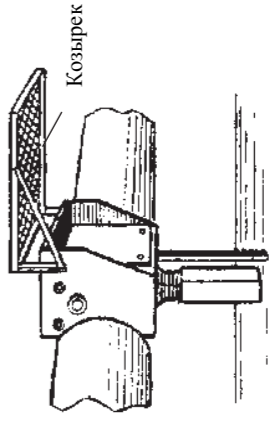


Рис. 1.16

Навесы – экраны над пешеходными дорожками (рис. 1.17 [22]) изготавливают из стальных прутков, а также из отрезков стального каната, которые располагаются параллельно на расстоянии 10 – 20 см один от друго-

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{85}{1.05 \cdot 10^3} = 0.081 \text{ м}^3.$$

Определим, прежде всего, объем тела человека:

Пример 1.10. Найти ток, стекающий в землю с человека, который находится в электрическом поле промышленной частоты с напряженностью $E = 10 \text{ кВ/м}$. Человек имеет рост $a = 1.8 \text{ м}$ и вес $G = 85 \text{ кг}$.

$$I_h = E\epsilon_0 \frac{\pi a^2 \omega}{\ln \sqrt{\frac{8\pi a^3}{3V}} - 1}$$

где E — напряженность электрического поля на высоте тела человека, $V/\text{м}$; a — рост человека, м ; $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$ — угловая частота; V — объем тела человека, м^3 .

Определим, прежде всего, объем тела человека:

Ток смещения (ток, который стекает в землю через емкость связь между телом человека и землей) может быть определен с помощью следующей формулы [22]:

В ОРУ 750 кВ максимальный ток может достигать 350 мкА. При подьеме на опору ЛЭП 500 кВ ток через тело человека нарастает от единиц микроампер у земли до 500 – 600 мкА под проводом.

| | |
|--|--|
| Ток смещения I_h , мкА | 207 |
| Местонахождение человека | При расположении человека под линией 500 кВ в середине пролета |
| Под шиной, соединяющей опорный изолятор с разъединителем и расположенной на высоте 6.95 м над землей | 100 |
| Под шиной между трансформатором тока и воздушным выключателем | 40 |
| На уровне коробки зажимов трансформатора тока | 160 |
| У шкафа управления фазой воздушного выключателя | 84 |
| У агрегатного шкафа воздушного выключателя | 145 |
| У шкафа трансформатора тока | 225 |
| У агрегатного шкафа воздушного выключателя | 183 |
| При расположении человека под линией 500 кВ в середине пролета | 100 |

Ток смещения, проходящий через тело человека, находящегося на территории ОРУ 500 кВ [22]

Таблица 1.10

В табл. 1.10 показаны измеренные величины токов смещения, проходящего через тело человека, находящегося на территории ОРУ 500 кВ [22].

В табл. 1.10 показаны измеренные величины токов смещения, проходящего через тело человека, находящегося на территории ОРУ 500 кВ [22].

же периферического кровоснабжения. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение более в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т.п.

Затем по (1.25) вычисляем приведенное время

$$T_{пр} = 8 (3.5/6.3 + 0.5/3.0 + 0.2/0.8) = 7.84 \text{ ч.}$$

Следовательно, за фактическое время пребывания человека в трех указанных зонах (4.2 ч) биологическое воздействие ЭП эквивалентно воздействию на человека ЭП напряженностью 5 кВ/м в течение 7.84 ч.

В случае, если требуется большая продолжительность работы в ЭП, чем это обусловлено (1.24) или если напряженность поля на рабочем месте превышает 25 кВ/м, работы должны производиться с применением средств защиты от вредного воздействия поля – экранирующих костюмов или экранирующих устройств.

Пространство, в котором напряженность ЭП превышает 5 кВ/м, называется зоной влияния электрического поля или просто зоной влияния.

Влияние электрических полей промышленной частоты в условиях населенных мест ограничивается «Санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» 2971-84 [88]. ПДУ представляются в табл. 1.11.

Таблица 1.11

| | | |
|--|--|------------|
| ПДУ электрических полей промышленной частоты в условиях населенных мест по СНиП 2971-84 [88] | Территория, зона | E , кВ/м |
| | Внутри жилых зданий | 0.5 |
| | На территории жилой застройки | 1 |
| | В населенной местности вне зоны жилой застройки (земли городов в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, в пределах поселковой черты этих пунктов), территории отродов и садов | 5 |
| | На участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I – IV категории | 10 |
| | В населенной местности (незастроенные местности, хотя бы частично посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) | 15 |
| | В труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для изоляции доступа населения | 20 |

Для сравнения представляет интерес рассмотреть нормативы на электрическое поле промышленной частоты для персонала, принятые в Германии. Для 8-часового дня они составляют $E = 20 \text{ кВ/м}$ (у нас, как Вы помните, $E = 5 \text{ кВ/м}$). В табл. 1.12 приведены также международные нормативы.

Ограничение напряженности поля под высоковольтными линиями может быть достигнуто и при использовании растительного массива под линиями. Хотя этот способ и не связан с изменением конструкции самих пунктов.

Снизить значение напряженности поля можно и путем увеличения высоты подвеса всех проводов линии, поскольку наибольшие напряженности поля (под крайними фазами) уменьшаются обратно пропорционально высоте подвеса провода в степени 1.5 – 1.6. Этот способ экономически даже более целесообразен, чем применение заземленных тросов [1], однако он также связан со значительным удорожением линий электропередачи, поэтому его можно использовать лишь в отдельных частных случаях.

Ограничение напряженности поля под высоковольтными линиями может быть достигнуто и при использовании растительного массива под линиями. Хотя этот способ и не связан с изменением конструкции самих пунктов.

Снизить значение напряженности поля можно и путем увеличения высоты подвеса всех проводов линии, поскольку наибольшие напряженности поля (под крайними фазами) уменьшаются обратно пропорционально высоте подвеса провода в степени 1.5 – 1.6. Этот способ экономически даже более целесообразен, чем применение заземленных тросов [1], однако он также связан со значительным удорожением линий электропередачи, поэтому его можно использовать лишь в отдельных частных случаях.

Ограничение напряженности поля под высоковольтными линиями может быть достигнуто и при использовании растительного массива под линиями. Хотя этот способ и не связан с изменением конструкции самих пунктов.

Уменьшения воздействия электрических полей можно добиться на стадии проектирования и оптимальным выбором геометрических параметров ВЛ и ОРУ. Так, при треугольном расположении проводов трехфазной высоковольтной линии передачи значительно сокращается ширина зоны, где напряженность достигает больших значений. Такое сокращение обусловлено, прежде всего, сильной компенсацией полей от всех фаз под проводом средней фазы. Однако улучшение полевых характеристик достигается увеличением высоты подвеса среднего опор и соответственно удорожанием линии. Это решение может быть целесообразным только для населенных пунктов.

Снизить значение напряженности поля можно и путем увеличения высоты подвеса всех проводов линии, поскольку наибольшие напряженности поля (под крайними фазами) уменьшаются обратно пропорционально высоте подвеса провода в степени 1.5 – 1.6. Этот способ экономически даже более целесообразен, чем применение заземленных тросов [1], однако он также связан со значительным удорожением линий электропередачи, поэтому его можно использовать лишь в отдельных частных случаях.

Ограничение напряженности поля под высоковольтными линиями может быть достигнуто и при использовании растительного массива под линиями. Хотя этот способ и не связан с изменением конструкции самих пунктов.

Уменьшения воздействия электрических полей можно добиться на стадии проектирования и оптимальным выбором геометрических параметров ВЛ и ОРУ. Так, при треугольном расположении проводов трехфазной высоковольтной линии передачи значительно сокращается ширина зоны, где напряженность достигает больших значений. Такое сокращение обусловлено, прежде всего, сильной компенсацией полей от всех фаз под проводом средней фазы. Однако улучшение полевых характеристик достигается увеличением высоты подвеса среднего опор и соответственно удорожанием линии. Это решение может быть целесообразным только для населенных пунктов.

Снизить значение напряженности поля можно и путем увеличения высоты подвеса всех проводов линии, поскольку наибольшие напряженности поля (под крайними фазами) уменьшаются обратно пропорционально высоте подвеса провода в степени 1.5 – 1.6. Этот способ экономически даже более целесообразен, чем применение заземленных тросов [1], однако он также связан со значительным удорожением линий электропередачи, поэтому его можно использовать лишь в отдельных частных случаях.

Ограничение напряженности поля под высоковольтными линиями может быть достигнуто и при использовании растительного массива под линиями. Хотя этот способ и не связан с изменением конструкции самих пунктов.

1.4.3. Конструктивные способы ограждения напряженности поля

Таблица 1.12

Рекомендации Межгосударственного комитета по неионизирующим излучениям от 1999 г. о ПДУ магнитного поля промышленной частоты

| | |
|-------------------------------|------------|
| Время пребывания в поле | E , кВ/м |
| Профессионалы | |
| В течение рабочего дня | 10 |
| Короткое время (< 2 ч в день) | 30 |
| Для частей тела | - |
| Население | |
| Вплоть до 24 ч в день | 5 |
| Несколько часов в день | 10 |

При напряженности ЭП выше 1 кВ/м должны быть приняты меры, исключающие воздействие на человека ошутимых электрических разрядов и токов стекания.

Предельно допустимые значения напряженности нормируются для электрического поля, не исключенного присутствием человека. Напряженность ЭП определяется на высоте 1.8 м от уровня земли, а для помещений – от уровня пола.

Контроль за соблюдением ПДУ напряженности ЭП следует производить:

– при приемке в эксплуатацию новых зданий, сооружений и зон организованного пребывания людей вблизи ВЛ;

– после проведения мероприятий по снижению уровней напряженности электрического поля ВЛ.

В целях защиты населения от вредного воздействия электрического поля воздушных линий для них устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ). СЗЗ ВЛ является территорией вдоль трассы ВЛ, в которой напряженность ЭП превышает 1 кВ/м.

Для вновь проектируемых ВЛ, а также для зданий и сооружений допускается принимать границы СЗЗ вдоль трассы ВЛ с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности ЭП по обе стороны от нее на следующих расстояниях (табл. 1.13) от проекции на землю крайних фазных проводов в направлении перпендикулярном ВЛ.

Сельскохозяйственные угодья, находящиеся в санитарно-защитных зонах ВЛ, рекомендуется использовать для выращивания сельскохозяйственных культур, не требующих ручной обработки.

На территории санитарно-защитных зон ВЛ 750 кВ и выше запрещается проведение сельскохозяйственных и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

где $T = 0,5 - 8$ ч – заданная продолжительность пребывания в электрическом поле.

Пример 1.11. Определить приведенное время пребывания бригады монтеров в ЭП 50 Гц, если работа предстоит в трех зонах с напряженностью $E_1 = 6$ кВ/м, $E_2 = 10$ кВ/м, $E_3 = 18$ кВ/м в течение времени соответственно $t_1 = 3,5$ ч, $t_2 = 0,5$ ч, $t_3 = 0,2$ ч.

Решение. Вначале по (1.24) находим допустимые длительности пребывания в каждой зоне при существующих в них напряженностях:

$$T_1 = 50/6 - 2 = 6,3 \text{ ч};$$

$$T_2 = 50/10 - 2 = 3 \text{ ч};$$

$$T_3 = 50/18 - 2 = 0,8 \text{ ч}.$$

Различие в уровне напряженности контролируемых зон устанавливается в 1 кВ/м.

При заданной продолжительности пребывания в ЭП наибольший допустимый уровень напряженности его определяется из выражения, кВ/м:

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

где $T = 0,5 - 8$ ч – заданная продолжительность пребывания в электрическом поле.

Пример 1.12. Определить приведенное время пребывания бригады монтеров в электрическом поле промышленной частоты, если работа предстоит в трех зонах с напряженностью $E_1 = 6$ кВ/м, $E_2 = 20$ кВ/м, $E_3 = 18$ кВ/м в течение времени соответственно $t_1 = 3,5$ ч, $t_2 = 0,1$ ч, $t_3 = 0,2$ ч.

Решение. Вначале по (1.24) находим допустимые длительности пребывания в каждой зоне при существующих в них напряженностях:

При несоответствии требования норм в зависимости от условий работы персонала, класса напряжения и местонахождения источников электрических полей (ВЛ, открытых распределительных устройств, электрических станций и др.) применяют следующие способы и средства защиты или их комбинации: защита временем; защита расстоянием; уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике излучения; защита с помощью экранирующих устройств и экранирующей одежды.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

1.4.1. Защита временем

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне, если величина напряженности электрического поля превышает 5 кВ/м для электрических полей промышленной частоты и 20 кВ/м для ЭСП, и применяется, когда нет возможности снизить напряженность до допустимых значений другими способами.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

1.4.1. Защита временем

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне, если величина напряженности электрического поля превышает 5 кВ/м для электрических полей промышленной частоты и 20 кВ/м для ЭСП, и применяется, когда нет возможности снизить напряженность до допустимых значений другими способами.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

1.3.4. Нормирование электрического поля промышленной частоты

Степень отрицательного воздействия электрического поля промышленной частоты на организм человека можно оценить по количеству поглощаемой телом человека энергии электрического поля, по току, проходящему через человека в землю, и наконец, по напряженности поля в месте, где находится человек. Все эти величины связаны между собой простыми математическими зависимостями, поэтому безразлично, какую из них принять для указанной цели и нормировать по условиям безопасности для человека. С точки зрения привычных представлений о физической сущности явлений, возникающих в теле человека как в проводнике, находимся в электрическом поле, целесообразно при исследовании воздействия электрического поля на организм, а также при соответствующих расчетах использовать электрический ток, проходящий через человека. Однако в качестве критерия безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, необходимо использовать напряженность поля в месте нахождения человека. Дело в том, что значення тока, протекающего через человека, а следовательно, и энергии, поглощаемой его телом, зависят от положения тела относительно источника поля. При изменении положения тела (человек повернулся боком, наклонился и т.п.) значение тока может измениться в 1,5 – 2 раза, а энергии – в 2 – 4 раза при практически сохранившейся интенсивности биологического воздействия поля на человека. Кроме того, в производственных условиях напряженность поля значительно проще измерить, чем ток, проходящий через человека, и энергию, поглощаемую телом.

Безопасным переменным током (50 Гц), который может длительно протекать через тело человека, не нанося ему вреда и не вызывая, как правило, никаких ощущений, можно принять, ток, равный 50 – 75 мкА.

Такое значение имеет ток, стекающий с человека, стоящего на земле в электрическом поле напряженностью порядка 5 кВ/м на высоте роста человека.

Установлено также, что если при касании человеком, изолированным от земли, заземленного металлического предмета, находящегося в электрическом поле, ток не превышает 50 – 75 мкА, то человек не испытывает, как правило, болевых ощущений и в момент прикосновения. Эти обстоятельства могут служить основанием для установления нормы напряженности электрического поля в 5 кВ/м, при которой человек может безопасно работать без средств защиты в течение всего рабочего дня.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

1.4.2. Защита расстоянием

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

1.4.4. Защита от воздействия электрического поля

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

Защита временем достаточно подробно рассмотрена при нормировании полей, поэтому здесь ограничимся только одним примером.

интарно-гигиенического обследования территорий.

в них электрооборудования силового, хозяйственного, коммутационного и промышленной частоты (50 Гц) в жилых и рабочих помещениях при наличии среднего значения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты (50 Гц) в жилых и рабочих помещениях при наличии информации назначения, а также при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования территории.

Измеритель параметров электромагнитного поля промышленной частоты ЭМПЧ-метр предназначен для измерения среднеквадратиче-

ских значений напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты (50 Гц) в жилых и рабочих помещениях при наличии информации назначения, а также при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования территории.

Маломобильный счетчик аэронозов МАС-01. Портативный счетчик аэронозов предназначен для экспресс-измерений концентрации легких положительных и отрицательных аэронозов с целью контроля уровней ионизации воздуха на рабочих местах, в жилых и общественных зданиях.

Прибор имеет диапазон измерения концентрации положительных и отрицательных ионов от 10^2 до 10^6 см⁻³.
Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-7. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-6. Данный прибор предназначен для измерения электромагнитного потенциала на заряженных поверхностях. Измеритель позволяет контролировать величину электромагнитного потенциала на оконечных устройствах средств телекоммуникации (при отсутствии защитных средств) напряженности электромагнитного поля от 1 до 100 кВ/м. Эквивалентный электромагнитный потенциал на поверхности экрана монитора имеет диапазон измерения напряженности поля от 0,1 до ± 10 кВ.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-5. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-4. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-3. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-2. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ИЭСП-1. Измеритель предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в просторстве и имеет пределы измерения от ± 2 до $\pm 199,9$ кВ/м.

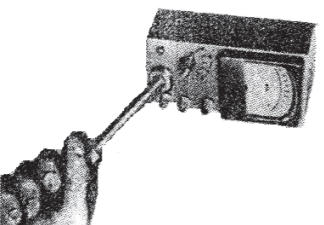


Рис. 1.20
 микроамперметра отградуирована в киловольтгах, деленных на метр.

ГОСТ 12.1.002-84 [8] предписывает применять приборы, обеспечивающие погрешность измерения не более ± 20 %.

Приведем технические характеристики и области применения некоторых приборов, отвечающих данному требованию.

Измеритель напряженности электромагнитного поля ЭСПИ-301.

Данный прибор предназначен для измерения напряженности электромагнитного поля в свободном пространстве, а также между экраном дисплея персонального компьютера и заземленной металлической пластиной. Измеритель применяется для контроля ПДУ электромагнитного поля согласно ГОСТ 12.1.045-84 [19]. Прибор имеет диапазон измерения напряженности электромагнитного поля в свободном пространстве от 0,3 до 180 кВ/м и между экраном дисплея персонального компьютера и заземленной металлической пластиной – от 1,5 до 200 кВ/м.

рых паро- и газовоздушных смесей [68].

В табл. 2.5 приводится минимальная энергия зажигания для некоторых паро- и газовоздушных смесей [68].

Минимальная энергия зажигания горючих смесей зависит от многих факторов и может быть определена лишь экспериментально. Минимальную энергию зажигания указывают в стандартах и технических условиях на вещества и минералы, а также в системах стандартных справочных данных.

В табл. 2.5 приводится минимальная энергия зажигания для некоторых паро- и газовоздушных смесей [68].

$$W_p \leq K W_{min}$$

где W_p – максимальная энергия разрядов, которые могут возникнуть внутри объекта или на его поверхности, Дж; K – коэффициент безопасности, выбираемый из условий допустимой (безопасной) по ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010 [20, 28] вероятности зажигания ($K \leq 1,0$) или принимаемый равным 0,4; W_{min} – минимальная энергия зажигания веществ и материалов, Дж.

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Взрыва и воспламенения не произойдет, если будет выполнено следующее условие безопасности (ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования):

Таблица 2.5
 Минимальная энергия зажигания некоторых паро- и газовоздушных смесей

| Вещество | W_{min} , мДж | Вещество | W_{min} , мДж |
|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Акрилонитрил | 0,16 | Метиловый спирт | 0,14 |
| Аммиак | 0,68 | Пентан | 0,22 |
| Ацетилен | 0,011 | Петролейный эфир | 0,18 |
| Алелон (при 25 °С) | 0,406 | Пропан | 0,26 |
| Бензин В-70 | 0,15 | Пропилен | 0,17 |
| Бензол | 0,21 | Пропиленоксид | 0,14 |
| Бутилен | 0,125 | Тетрагидропропан | 0,22 |
| Бутан | 0,26 | Циклогексан | 0,223 |
| Водород | 0,013 | Циклопропан | 0,23 |
| Гексан | 0,23 | Этан | 0,24 |
| Диэтиловый эфир | 0,19 | Этилacetат | 0,48 |
| Изоктан | 0,28 | Этилен | 0,095 |
| Изопентан | 0,21 | Этиленоксид | 0,06 |
| Метан | 0,29 | Этиловый спирт | 0,14 |

В качестве примера проведем расчет энергии, которая будет выделена при пробое воздушного промежутка между двумя квадратными, плоскими заряженными поверхностями (плоский конденсатор). Расстояние между поверхностями d пусть равно 1 мм, площадь S каждой поверхности – 1 м². Поскольку пробивная напряженность электрического поля составляет 30 кВ/см, то разность потенциалов между поверхностями должна определяться по формуле

$$\varphi = E_{пр} \cdot d = 3000000 \cdot 0,001 = 30000 \text{ В.}$$

Поскольку емкость данного плоского конденсатора равна

$$C = \epsilon_0 S / d = 8,85 \cdot 10^{-12} / 0,001 = 8,85 \cdot 10^{-9} \text{ Ф,}$$

то энергия, которая будет выделена при его разряде, может быть рассчитана на следующий образом:

$$W_p = \frac{1}{2} C \cdot \varphi^2 = 4,425 \cdot 10^{-9} \cdot 30000^2 = 3,9825 \text{ Дж.}$$

Сравнивая значения минимальной энергии зажигания, приведенные в табл. 2.5, со значением энергии, которая выделится при разряде плоского конденсатора, можно сделать вывод, что этой энергии было бы достаточно для воспламенения любой из этих смесей. Здесь, однако, следует сделать замечание о том, что пробивная напряженность для указанных смесей может оказаться меньше, чем у воздуха, поэтому и разность потенциалов, а

так, как буддуют действительные заряды, а не фиктивные заряды. Их называют «дырками» и «электронами». Для того чтобы свободный электрон, находящийся на самом низком энергетическом уровне мог выйти за пределы металла и переместиться в вакуум, необходима энергия, чтобы была совершена определенная работа W_0 . Если электрон находится на уровне Ферми, то необходимая работа (называемая работой выхода) определяется выражением

$$W_{\text{вых}} = W_0 - W_F.$$

Здесь W_F – уровень Ферми.

У металлов работа выхода равна примерно эВ.

У диэлектриков валентная зона, как и у проводников, заполнена полностью, а зона проводимости, в отличие от металлов, свободна. При температуре, превышающей 0 К, электроны могут переходить из насыщенной валентной зоны в свободную зону проводимости. При определенной температуре хороший диэлектрик может стать проводником. При этом зона проводимости будет обладать электронной проводимостью, а валентная зона – дырочной. И то и другое обуславливает протекание тока одного знака. У изоляторов расстояние между этими двумя зонами (называется шириной запрещенной энергетической зоны) примерно равно длиннам электрон волы и эффектом проводимости можно пренебречь.

Если интервал, отделяющий валентную зону от зоны проводимости, меньше 1 эВ, то даже при нормальной температуре значительная часть электронов переходит в зону проводимости и вещество становится проводником. Такое полупроводниковое вещество с внутренней проводимостью отличается от диэлектриков только шириной запрещенной зоны. Наряду с такими полупроводниками, существуют и так называемые полупроводники с примесной электропроводностью. Проводимость таких веществ обеспечивается наличием примеси в их кристаллах. Например, если взять 4-валентный Ge, у которого в валентной зоне четыре электрона в каждом атоме и добавить при его кристаллизации небольшое количество 5-валентного элемента (фосфор, мышьяк, сурьма, висмут), то получится упорядоченная система, в которой один атом примеси замещает один атом Ge. В результате в кристалле получают избыточные электроны (один электрон на каждый атом примеси). С энергетической точки зрения эти электроны смещены в запрещенной зоне германия в дополнительные уровни. Расстояние между этими уровнями и зоной проводимости очень мало (около 0.01 эВ). Следовательно, эти дополнительные электроны очень легко переходят в зону проводимости и, таким образом, делают вещество проводником. В таком случае говорят, что ввели донорные центры и получили полупроводник типа n.

Ge ($\gamma = 2.1 \cdot 10^{-4}$ См/м), InSb ($\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ См/м), CuO ($\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ См/м), FeO ($\gamma = 1 \cdot 10^{-2}$ См/м), графит ($\gamma = 4 \cdot 10^{-1}$ См/м) и др.

Твердые тела металлического типа состоят из большого количества атомных ядер, размещенных в просторанстве в соответствии с кристаллической структурой и жестко связанных между собой. Эта структура заполнена электронами двух видов. К первому виду относятся электроны, являющиеся «собственностью» каждого ядра и образующие электронные оболочки. Все эти оболочки заполнены. Ко второму виду относятся электроны, являющиеся коллективной «собственностью» ядер, образующих твердое тело. Эти электроны принадлежат периферийным энергетическим уровням изолированного атома, содержащим валентные электроны.

Движение электронов в твердом теле объясняется с помощью теории квантовой механики. Согласно этой теории следует, что существуют разрешенные и запрещенные энергетические зоны. По состоянию заполнения зон можно говорить о циником заполненной, частично заполненной или свободной зоне. При температуре, равной абсолютному нулю, электроны распределяются на разрешенных уровнях, начиная с самого нижнего. В соответствии с числом электронов в атоме они полностью заполняют какое-то число зон или образуют одну частично заполненную зону. Разрешенные зоны играют роль энергетических уровней в изолированном атоме. Электроны, находящиеся на нижних зонах, как бы «привязаны» к одному атому, а те электроны, которые находятся в валентной зоне, могут перемещаться от одного атома к другому, образуя «электронный газ». Эти электроны и обеспечивают электропроводность металлов.

В нормальном состоянии в твердом теле вокруг каждого атомного ядра находятся электроны в количестве, необходимом и достаточном для точного уравновешивания заряда ядра. Это равновесие может быть нарушено за счет какого-либо внешнего воздействия, например электрического поля.

Электрическое поле, которое воздействует на совокупность электронов заполненной зоны, не приводит к появлению электрического тока. Заполненная зона, таким образом, не участвует в проводимости. Следовательно, тело, у которого все зоны заполнены, является диэлектриком.

Если существует незаполненная зона, то материал будет являться проводником. В случае, когда эта зона содержит небольшое число электронов, они будут смещены на нижние энергетические уровни. В этом случае будут иметь место электронная проводимость. Если зона почти заполнена и в ней имеются только несколько свободных мест на высоких уровнях, то эти свободные места заполняются электронами, но только с тем условием, что одновременно к ним прибавляются противоположные заряды +е. Насыщенная зона не дает тока. Ток будет следствием только фиктивных зарядов +е, которые введены вместо отсутствующих электронов. Все происходит

| | Второе тело | |
|-------------------|-------------|------|
| | Стекло | Сера |
| Вода | + | |
| Глицерин | + | |
| Ацетон | + | + |
| Уксусная кислота | + | + |
| Этиловый эфир | - | - |
| Скипидерное масло | - | - |
| Бензол | - | - |

Таблица 2.3
Полярность зарядов при контакте жидкости с твердым диэлектриком

| | Второе тело | |
|--------------|-------------|--------|
| | Шелк | Шерсть |
| Стекло | + | + |
| Слюда | + | + |
| Алмаз | + | + |
| Сера | - | - |
| Дерево сухое | - | - |
| Янтарь | - | - |
| Эбонит | - | - |
| Кварц | + | + |

Полярность зарядов при контакте двух диэлектриков

Таблица 2.2

| | Второе тело | |
|--------------|-------------|--------|
| | Шелк | Шерсть |
| Стекло | + | + |
| Слюда | + | + |
| Алмаз | + | + |
| Сера | - | - |
| Дерево сухое | - | - |
| Янтарь | - | - |
| Эбонит | - | - |
| Кварц | + | + |

Полярность зарядов при контакте двух диэлектриков

Таблица 2.1

| | Второе тело | |
|--------------|-------------|--------|
| | Шелк | Шерсть |
| Стекло | + | + |
| Слюда | + | + |
| Алмаз | + | + |
| Сера | - | - |
| Дерево сухое | - | - |
| Янтарь | - | - |
| Эбонит | - | - |
| Кварц | + | + |

Таблица 2.4

Полярность зарядов при контакте с диэлектриком

| | Второе тело | |
|----------|-------------|------|
| | Стекло | Эфир |
| Платина | + | |
| Серебро | + | |
| Ртуть | + | |
| Мель | + | + |
| Латушь | + | + |
| Свиноец | - | - |
| Железо | + | + |
| Цинк | + | + |
| Алюминий | + | + |

Отметим, что существует и ряд других гипотез, объясняющих появление зарядов при контакте различных материалов.

Как видно из табл. 2.3 – 2.4, электрические заряды появляются не только при контакте твердых тел, но и при движении жидкостей и газов. При течении жидкостей не только тех, которые приведены в табл. 2.3, но и многих других, особенно таких, удельное сопротивление которых превышает 10^9 Ом·м, наблюдается появление электрических зарядов. Объяснить это явление также можно на основе теории двойного слоя Гельмгольца.

Ф. Купер даже вывел выражение зависимости электрического тока от параметров жидкости [98]:

$$I = \frac{1}{4} \text{Re} C_x \epsilon_0 \zeta v,$$

где Re – число Рейнольдса; C_x – коэффициент сопротивления Рейнольдса; v – средняя скорость течения жидкости; $\zeta = 4\sigma x$, где σ – поверхностная плотность электрических зарядов; x – толщина двойного слоя.

При образовании льда во время замерзания водных растворов также возникают разности потенциалов, которые могут достигать нескольких сотен вольт. Обычно лед при этом заряжается положительными зарядами, а жидкость – отрицательными.

2.2. Источники статического электричества

Источники статического электричества могут быть как естественными, так и искусственными. К естественным источникам, о которых уже упоминалось в предыдущем разделе, можно отнести многие процессы, которые происходят в атмосфере. Это и движение воздушных масс и обла-

Магнитным полем называют одну из двух сторон электромагнитного поля, обусловленную движущимися заряженными частицами и изменением электрического поля, оказывающую силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы и вытекающую по силовому действию, направленному нормально к направлению движения этих частиц и пропорциональному их скорости.

Основной физической величиной, характеризующей магнитное поле, является *магнитная индукция* \vec{B} .

Магнитная индукция величина векторная. *Единицей измерения магнитной индукции является тесла (Тл).*

3.1. Основные теоретические положения

Магнитным полем называют одну из двух сторон электромагнитного поля, обусловленную движущимися заряженными частицами и изменением электрического поля, оказывающую силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы и вытекающую по силовому действию, направленному нормально к направлению движения этих частиц и пропорциональному их скорости.

Основной физической величиной, характеризующей магнитное поле, является *магнитная индукция* \vec{B} .

3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Прибор ИЭСП-9 позволяет измерять напряженность электрического поля до $2.6 \cdot 10^8$ В/м.

Радиоактивные нейтронизаторы в конструктивном исполнении достаточно просты и обычно имеют форму длинной пластины или диска с нанесенным на одной стороне радиоактивным препаратом. Чаще всего используют растворы радия (Ra) и полония (Po). Радий излучает частицы α и β с периодом полураспада $T_{1/2} = 1590$ лет, а полоний – частицы α с периодом полураспада $T_{1/2} = 138$ дней. Излучение α состоит из частиц гелия с зарядом $2e^+$ и глубиной проникновения в воздухе 30 – 75 мм. Излучение β состоит из электронов и имеет для радия глубину проникновения 1 м. Гама-излучение по сравнению с α - и β -частичами обладает меньшей проникающей способностью.

Радиоактивные нейтронизаторы располагают на таком расстоянии от нейтронизируемого тела, при котором достигается максимальная эффективность. Здесь следует отметить, что регулировать количество генерируемых зарядов (ионов) в данном типе нейтронизаторов достаточно сложно и, как правило, такая регулировка отсутствует.

2.5. Контроль параметров статического электричества

К параметрам статического электричества относятся потенциалы наэлектризованной поверхности относительно земли и величина напряженности электрического поля. Потенциал является энергетической, а напряженность силовой характеристикой электростатического поля, источником которого служат заряды статического электричества. Зная эти основные характеристики, можно оценить опасность статического электричества и выбрать те или иные меры по предотвращению этой опасности.

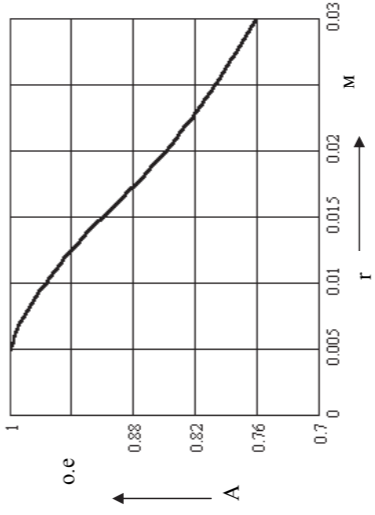


Рис. 3.5

Пример 3.2. Рассчитать напряженность магнитного поля двухпроводной линии с током $I = 2700$ А, провода которой выполнены из алюминия и имеют радиус $R = 28$ мм. Расстояние между проводами $2d = 20$ м (рис. 3.6).

Решение. Решение данной задачи можно получить либо с помощью закона полного тока, либо с использованием функции векторного магнитного потенциала. Выражение векторного потенциала внутри цилиндрического провода с током и вне его уже получено в предыдущем примере. Так, внутри провода ($0 \leq r \leq R$) оно имеет вид:

$$A_1 = -\frac{\mu_0 \delta}{4} r^2 + C_1 = -\frac{\mu_0 I r^2}{4\pi R^2} + C_1,$$

а вне провода ($R \leq r \leq \infty$) –

$$A_2 = C_2 \ln r + C_3.$$

Постоянные интегрирования определяются из условий равенства на поверхности провода векторного потенциала ($A_1 = A_2$ при $r = R$) и его нормальных производных ($dA_1/dr = dA_2/dr$ при $r = R$):

$$C_2 = -\frac{\mu_0 I}{2\pi}; \quad C_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (1 - \ln R^2 + C_3)$$

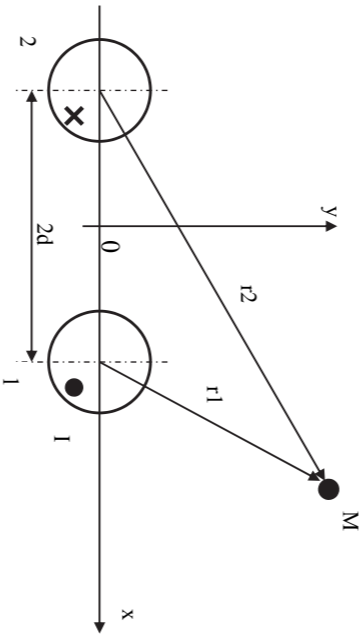


Рис. 3.6

Нас интересует поле только вне провода, поэтому выражение для потенциала в этой области с точностью до постоянной будет иметь вид:

$$A_2 = -\frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln r + C_3.$$

Используя данную формулу, запишем выражение для определения векторного потенциала в произвольной точке M (рис. 3.6) от двух проводов

$$A = A_2' + A_2'' = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{r_2^2}{r_1^2} + C.$$

Примем значение постоянной C , равной нулю (это означает, что за точку нулевого потенциала мы приняли начало координат), и перепишем последнее выражение в прямоугольной системе координат

$$A = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{(x+d)^2 + y^2}{(x-d)^2 + y^2}.$$

С помощью выражения (3.5) найдем составляющие напряженности магнитного поля

$$\begin{aligned} H_x &= -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A}{\partial y} = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{y}{(x+d)^2 + y^2} - \frac{y}{(x-d)^2 + y^2} \right]; \\ H_y &= -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{x-d}{(x-d)^2 + y^2} - \frac{x+d}{(x+d)^2 + y^2} \right]. \end{aligned}$$

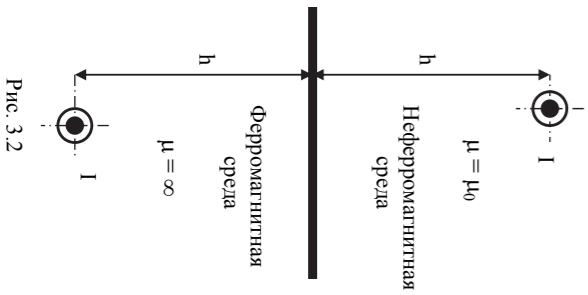


Рис. 3.2

Устраним мысленно ферромагнитную среду и заменим ее проводом, являющимся зеркальным изображением реального провода в поверхности раздела и имеющим ток такого же направления и такой же величины, как и ток реального провода (см. рис. 3.2). Действительный провод и его зеркальное изображение составляют двухпроводную линию. **Поле от такой системы проводников с токами в области над проводящей средой остается таким же, как и в действительных условиях.** В этом и заключается метод зеркальных изображений.

Условия (3.10) и (3.11) можно представить и в таком виде

$$\vec{H}_1 \sin \theta_1 = \vec{H}_2 \sin \theta_2$$

$$\vec{B}_1 \cos \theta_1 = \vec{B}_2 \cos \theta_2.$$

Из данных граничных условий можно получить еще одно условие — условие преломления линий поля при переходе их из одной среды в другую:

$$\frac{\operatorname{tg} \theta_1}{\operatorname{tg} \theta_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2},$$

где θ_1 и θ_2 — углы между вектором магнитной индукции (или напряженности) и нормалью к границе раздела сред.

При этом, если вектор напряженности перпендикулярен к границе раздела, то магнитная индукция не меняется при переходе из одной среды в другую, а напряженность поля меняется скачком.

Для расчета магнитных полей в ферромагнитных средах, ограниченных какой-либо ферромагнитной поверхностью правильной формы или в которых есть геометрически правильной формы граница между двумя средами с различными магнитными проницаемостями, широко применяют метод зеркальных изображений.

Это искусственный прием расчета, в котором кроме заданных проводников с токами вводят еще дополнительные проводники, которые помещают там, где находятся зеркальные (в геометрическом смысле) отображения заданных проводников.

Рассмотрим поле прямолинейного провода с током I , расположенным на расстоянии h от плоской ферромагнитной поверхности (рис. 3.2).

Устраним мысленно ферромагнитную среду и заменим ее проводом, являющимся зеркальным изображением реального провода в поверхности раздела и имеющим ток такого же направления и такой же величины, как и ток реального провода (см. рис. 3.2). Действительный провод и его зеркальное изображение составляют двухпроводную линию. **Поле от такой системы проводников с токами в области над проводящей средой остается таким же, как и в действительных условиях.** В этом и заключается метод зеркальных изображений.

что вытекает из уравнений (3.1) и (3.4).

$$\nabla^2 U_M = 0,$$

где U_M — скалярный потенциал магнитного поля.

В областях, не занятых током (только для этих областей имеет смысл функция U_M), при постоянном значении магнитной проницаемости ($\mu = \text{const}$) скалярный потенциал магнитного поля подчиняется уравнению Лапласа:

$$\vec{H} = -\operatorname{grad} U_M, \quad (3.4)$$

где U_M — скалярный потенциал магнитного поля. В областях, не занятых током (только для этих областей имеет смысл функция U_M), при постоянном значении магнитной проницаемости ($\mu = \text{const}$) скалярный потенциал магнитного поля подчиняется уравнению Лапласа:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta}. \quad (3.3)$$

В той части пространства, где плотность тока δ равна нулю (правая часть уравнения (3.3) равна нулю), магнитное поле можно рассматривать как **потенциальное** и напряженность магнитного поля можно представить в виде

Под полным током понимают алгебраическую сумму токов проводимости, переноса и смещения.

В дифференциальной форме закон полного тока можно записать следующим образом:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = i. \quad (3.2)$$

При анализе магнитных полей важное значение имеет закон полного тока, который в интегральной форме имеет вид:

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0. \quad (3.1)$$

В дифференциальной форме принцип непрерывности магнитного потока имеет следующий вид:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{s} = 0.$$

Магнитный поток измеряется в **веберах** (Вб). **Магнитный поток сквозь любую замкнутую поверхность с равен нулю** (принцип непрерывности магнитного потока):

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{s}.$$

Слагаемое $C_1 \ln r$ должно отсутствовать, так как A не может принимать бесконечно больших значений при $r = 0$. Отсюда следует, что постоянная интегрирования $C_1 = 0$. Векторный потенциал определяется с точностью до постоянной. Примем эту постоянную, равной нулю: $C_8 = 0$. Для опреде-

$$A_3 = -\frac{\mu_0 \delta_2 r^2}{4} + C_5 \ln r + C_6; \quad A_4 = C_7 \ln r + C_8.$$

$$A_2 = -\frac{\mu_0 \delta_1 r^2}{4} + C_3 \ln r + C_4;$$

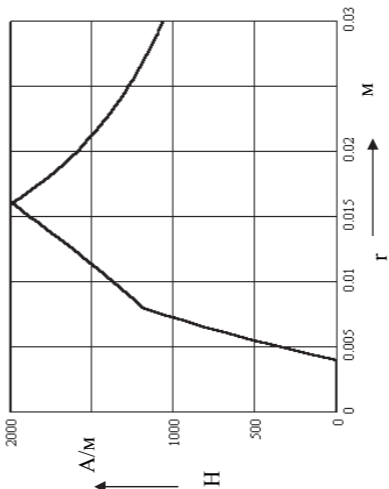
Интегрируя дважды по r , получаем выражения для потенциала для каждой подобласти:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq r \leq r_0; \\ -\mu_0 \delta_1 \int \frac{1}{r} dr & \text{при } r_0 \leq r \leq r_1; \\ -\mu_0 \delta_2 \int \frac{1}{r} dr & \text{при } r_1 \leq r \leq r_2; \\ 0 & \text{при } r_2 \leq r \leq \infty. \end{cases}$$

дем иметь:

Для нахождения векторного потенциала необходимо для каждой из подобластей записать уравнение Пуассона (3.6) или Лапласа (3.7) и провести их совместное решение. Эти уравнения удобнее записывать в цилиндрической системе координат. При этом необходимо учитывать, что в данной задаче векторный потенциал имеет только одну составляющую, направленную по оси провода (по оси z), и эта составляющая зависит только от радиуса r . Раскрывая лапласиан в указанной системе координат, будем иметь:

Рис. 3.4



Этот метод применим и при любом числе проводов, протянутых параллельно друг другу и параллельно плоской поверхности, ограничивающей ферромагнитную среду. Каждый провод должен быть зеркально отображен в поверхности ферромагнитной среды (направление тока остается неизменным), после чего ферромагнитная среда может быть мысленно удалена и рассмотрено поле совокупности действительных проводов и их зеркальных изображений.

При анализе электрических и магнитных полей вводят понятие о потокоцеплении Ψ . В простейшем случае одного контура с током I магнитный поток, сцепляющийся с этим контуром, определяется этим током. Такой поток называют потоком **самондукции**. Потокоцепление самоиндукции данного контура обозначают Ψ_L :

$$\Psi_L = LI. \quad (3.12)$$

Коэффициент пропорциональности L называют **собственной индуктивностью** контура. Единицей измерения индуктивности является **генри** (Гн).

Собственная индуктивность всегда положительна.

Если магнитный поток, сцепляющийся с рассматриваемым контуром (например, первым), создается током I_2 во втором контуре, то для линейной среды потокоцепление будет пропорционально току I_2 . При этом потокоцепление называют **потокоцеплением взаимной индукции** и обозначают Ψ_{12} или Ψ_{21} :

$$\Psi_{12} = M_{12} I_2.$$

Величину M_{12} называют **взаимной индуктивностью** контуров.

Магнитные потоки, создаваемые постоянными токами, определяют **статические** индуктивности, которые зависят от геометрических размеров контуров, их взаимного расположения, магнитной проницаемости контуров и среды.

Потокоцепление катушки, содержащей N витков (при условии, что магнитный поток сцепляется со всеми витками), можно определить и так:

$$\Psi_L = LI = N\Phi.$$

Если магнитное поле создается токами, протекающими в p контурах, которые расположены в среде с $\mu = \text{const}$, то потокоцепление Ψ_k с k -м контуром рассчитывается как сумма потокоцеплений самоиндукции, определяемого током I_k в этом же контуре, и потокоцеплений взаимной индукции, определяемых токами в остальных контурах:

$$\Psi_k = L_k I_k + \sum_{p=1}^{p-1} M_{kp} I_p \quad (p \neq k)$$

Интегрирование достаточно распространить по всему объему, где плотность тока $\vec{\delta} \neq 0$. Величина r – это расстояние от центра элемента объ-

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\vec{\delta}}{r} dv. \quad (3.8)$$

Общее решение уравнения (3.6) может быть представлено в следующем виде:

$$\nabla^2 \vec{A} = 0. \quad (3.7)$$

и, в частности (при $\delta = 0$), уравнение Лапласа

$$\nabla^2 \vec{A} = -\mu \vec{\delta} \quad (3.6)$$

во уравнение Пуассона

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}. \quad (3.5)$$

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}.$$

Разность магнитных потенциалов между двумя точками называют *падением магнитного напряжения* между этими точками.

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

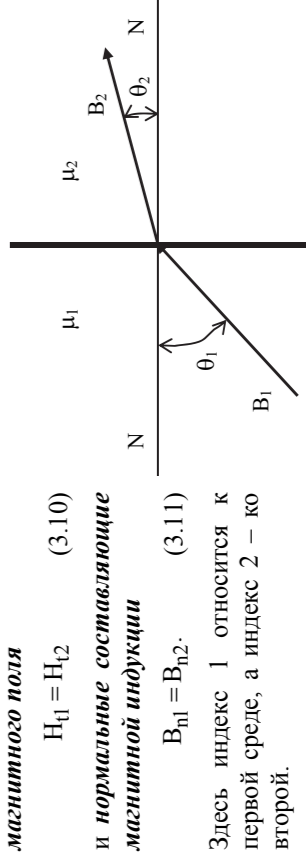
Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).



Здесь индекс 1 относится к первой среде, а индекс 2 – ко второй.

и нормальные составляющие магнитной индукции

$$H_{n1} = H_{n2} \quad (3.10)$$

$$B_{n1} = B_{n2}. \quad (3.11)$$

На поверхности раздела двух сред с различными магнитными проницаемостями (рис. 3.1) **равны между собой касательные составляющие магнитного поля**

Таким образом, **магнитный поток сквозь поверхность с равен линейному интегралу векторного потенциала по замкнутому контуру, ограничивающему эту поверхность.**

$$\Phi = \int \vec{A} d\vec{l}. \quad (3.9)$$

Согласно теореме Стокса, последнее выражение можно переписать в виде:

$$\Phi = \int_S \text{rot} \vec{A} d\vec{s}.$$

где l – длина контура, i – ток в контуре.

Установив связь между магнитным потоком Φ сквозь некоторую поверхность s и векторным потенциалом \vec{A} магнитного поля. Имеем:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{d\vec{l}}{r},$$

формулу (3.8) можно преобразовать к следующему виду:

Выражение (3.8) может быть упрощено, если токи протекают по контурам из линейных проводников, поперечные размеры сечений которых весьма малы по сравнению с длиной контуров и по сравнению с расстоянием от проводников до точек, в которых определяется \vec{A} . В этом случае

Данное выражение, служащее для определения вектора \vec{A} по заданному распределению тока в пространстве, справедливо всюду, в частности, и там, где $\vec{\delta} \neq 0$.

Однако если выбрать такой путь интегрирования, который охватывает контур с током, правая часть уравнения (3.2) не будет равна нулю. Поэтому (как в электростатическом поле), если условно принять равным нулю потенциал в некоторой точке P ($U_{\text{вп}} = 0$), то разность потенциалов в точках A и P будет равна потенциалу точки A :

$$U_{MA} = \int_A^P \vec{H} d\vec{l}.$$

Интеграл от напряженности магнитного поля по замкнутому контуру l , не охватывающему контура с током, равен нулю (закон полного тока). Поэтому (как в электростатическом поле), если условно принять равным нулю потенциал в некоторой точке P ($U_{\text{вп}} = 0$), то разность потенциалов в точках A и P будет равна потенциалу точки A :

$$U_{MA} = \int_A^P \vec{H} d\vec{l}.$$

Однако если выбрать такой путь интегрирования, который охватывает контур с током, правая часть уравнения (3.2) не будет равна нулю. Поэтому (как в электростатическом поле), если условно принять равным нулю потенциал в некоторой точке P ($U_{\text{вп}} = 0$), то разность потенциалов в точках A и P будет равна потенциалу точки A :

$$U_{MA} = \int_A^P \vec{H} d\vec{l}.$$

Разность магнитных потенциалов между двумя точками называют *падением магнитного напряжения* между этими точками.

В той части пространства, где плотность тока δ не равна нулю (правая часть уравнения (3.3) не равна нулю), магнитное поле можно рассмотреть как *вихревое*. В этом случае вектор магнитной индукции можно представить в виде вихря некоторого вспомогательного вектора \vec{A} :

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}. \quad (3.5)$$

Вектор \vec{A} носит название *векторного потенциала магнитного поля*.

Единицей измерения для векторного потенциала является Вб/м.

Основанием для представления индукции в виде (3.5) служит то, что при этом всегда соблюдается закон непрерывности магнитного потока (3.1).

В однородной среде ($\mu = \text{const}$) для векторного потенциала справедливо уравнение Пуассона

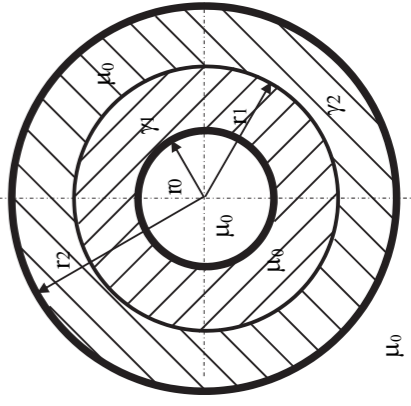
$$\nabla^2 \vec{A} = -\mu \vec{\delta} \quad (3.6)$$

$$\nabla^2 \vec{A} = 0. \quad (3.7)$$

Общее решение уравнения (3.6) может быть представлено в следующем виде:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\vec{\delta}}{r} dv. \quad (3.8)$$

Интегрирование достаточно распространить по всему объему, где плотность тока $\vec{\delta} \neq 0$. Величина r – это расстояние от центра элемента объ-



векторного потенциала и магнитной индукции внутри и вне провода. По-

Определить закон изменения

наружный – из алюминия ($\gamma_2 = 58$ мкСм/м),

полнен из меди ($\gamma_1 = 58$ мкСм/м),

$r_2 = 16$ мм. Внутренний провод вы-

соответственно $r_0 = 4$ мм, $r_1 = 8$ мм и

реннего и наружного провода равны

(рис. 3.3). Радиусы отверстия, внут-

кает постоянный ток $I = 200$ А

расположенному в воздухе, проте-

лому биметаллическому проводу,

Пример 3.1. По длинному по-

ров по расчету магнитного поля.

Рассмотрим несколько приме-

$$W_M = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} \pm M_{12} I_1 I_2.$$

Энергия системы двух контуров, связанных друг с другом посред-

ством магнитного поля, равна:

$$W_M = \frac{L I^2}{2}.$$

Так, энергия магнитного поля одного контура или катушки с током определяется (с учетом выражения (3.1.2)) следующим образом:

$$W_M = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n I_k \Psi_k.$$

Энергия магнитного поля системы n контуров с токами равна полу-

сумме произведений токов в контурах на потокоцепление контуров:

$$W_M = \frac{1}{2} \int \vec{B} \cdot d\vec{v}.$$

равна:

$$W_M = \frac{1}{2} \int \vec{B} \cdot \vec{H} d\vec{v}. \quad (3.13)$$

магнитного поля

Энергия магнитного поля в некотором объеме характеризуется плотностью энергии этого поля. Энергия магнитного поля в некотором объеме характеризуется плотностью энергии этого поля. Энергия магнитного поля в некотором объеме характеризуется плотностью энергии этого поля.

Энергия магнитного поля в некотором объеме характеризуется плотностью энергии этого поля. Энергия магнитного поля в некотором объеме характеризуется плотностью энергии этого поля.

Решение. Поскольку поле в данном случае обладает цилиндрической симметрией, то данную задачу можно решить с помощью закона полного тока, представленного в интегральной форме (3.2). Для этого разобьем область исследования на четыре подобласти. В первой подобласти ($0 \leq r \leq r_0$) напряженность магнитного поля равна нулю. Для определения напряженности поля во второй подобласти ($r_0 \leq r \leq r_1$) проводим окружность произвольным радиусом r с центром на оси провода и для контура, образованного данной окружностью, применяем закон полного тока. С учетом того, что вектор напряженности направлен по касательной к окружности и по величине остается неизменным, выражение (3.2) можно представить в следующем виде:

$$2\pi r = \delta_1 \pi (r^2 - r_0^2) \Rightarrow H = \frac{\delta_1 (r^2 - r_0^2)}{2r}.$$

Аналогично определяется напряженность поля в третьей подобласти ($r_1 \leq r \leq r_2$):

$$H = \frac{\delta_1 (r^2 - r_0^2)}{2r} + \frac{\delta_2 (r^2 - r_1^2)}{2r}.$$

Таким образом, для определения напряженности поля в соответствующих подобластях необходимо рассчитать плотность тока δ_1 и δ_2 :

$$\delta_1 = \frac{I r_1}{\gamma_1 \pi (r_1^2 - r_0^2) + \gamma_2 \pi (r_2^2 - r_1^2)}, \quad \delta_2 = \frac{I r_2}{\gamma_1 \pi (r_1^2 - r_0^2) + \gamma_2 \pi (r_2^2 - r_1^2)}.$$

После подстановки в последние выражения соответствующих величин, получаем $\delta_1 = 396.5$ кА/м², $\delta_2 = 232.4$ кА/м².

Напряженность поля в четвертой подобласти ($r_2 \leq r \leq \infty$) определяется с помощью следующего выражения:

$$H = \frac{I}{2\pi r}.$$

Изменение напряженности вдоль радиуса показано на рис. 3.4.

Отметим, что поскольку магнитная проницаемость во всей области одна и та же, то распределение магнитной индукции вдоль радиуса полностью повторяет распределение напряженности поля.

Таким образом, если известно распределение нормального поля на поверхности Земли, то можно определить аномальную часть магнитного поля.

Обычно интенсивность нормального поля во много раз больше, чем интенсивность региональных и локальных аномалий. Есть, правда крайне редко, участки земной поверхности, на которых эти аномалии по интен-

$$\vec{H}_T = \vec{H}_n + \vec{H}_a.$$

поле вариаций, является суммой нормального (или главного) и аномального.

Часто сумму полей однородного намагничивания, поля мировых аномалий и внешнего поля

$$\vec{H}_n = \vec{H}_0 + \vec{H}_m + \vec{H}_e$$

называют нормальным полем. Так как \vec{H}_e очень мало и практически им можно пренебречь, то нормальное поле практически совпадает с главным полем. С этой точки зрения, наблюдаемое поле, если исключить из него

$$\vec{H}_T = \vec{H}_n + \vec{H}_a.$$

местного характера, распространяющееся на большие площади, и поле регионального характера, ограниченное небольшими площадями. В первом случае оно называется региональной аномалией, а во втором – локальной аномалией.

Сумма полей дипольного и недипольного

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_m$$

образует, как отмечалось выше, главное магнитное поле Земли. Поле \vec{H}_a представляет собой аномальное поле, которое подразделяется на поле регионального характера, распространяющееся на большие площади, и поле местного характера, ограниченное небольшими площадями. В первом случае оно называется региональной аномалией, а во втором – локальной аномалией.

Часто сумму полей однородного намагничивания, поля мировых аномалий и внешнего поля

$$\vec{H}_T = \vec{H}_0 + \vec{H}_m + \vec{H}_a + \vec{H}_e + \delta\vec{H}.$$

с источниками, расположенными вне земного шара, т.е.

– поля, вызываемого внешними причинами, – \vec{H}_e ;

– поля, обусловленного намагниченностью верхних частей земной коры, – \vec{H}_a ;

– поля, вызываемого внутренними причинами, связанными с неоднородностью глубоких слоев земного шара, получившего название недипольного \vec{H}_m (его называют также полем мировых аномалий);

– поля, создаваемого однородной намагниченностью земного шара, называемого дипольным \vec{H}_0 (моделируется приведенным выше магнитом-диполем), – \vec{H}_0 ;

– поля, вызываемого внутренними причинами, связанными с неоднородностью глубоких слоев земного шара, получившего название недипольного \vec{H}_m (его называют также полем мировых аномалий);

– поля, обусловленного намагниченностью верхних частей земной коры, – \vec{H}_a ;

2) аномальное поле, обусловленное совокупностью источников в тонком верхнем слое, называемом магнитоактивной оболочкой Земли;

3) внешнее поле, связанное с внешними источниками – токовыми системами в околоземном пространстве.

Главное и аномальное поле называют постоянным геомагнитным полем. Поле внешнего происхождения называется переменным электромагнитным полем, поскольку оно является не только магнитным, но и электрическим.

Вклад главного поля составляет в среднем более 95 %, аномальное поле вносит 4 % и доля внешнего поля – менее 1 % [103].

Теоретическая модель в форме магнита-диполя, помещенная в центр Земли, создает на ее поверхности магнитное поле, которое сравнительно хорошо совпадает с реальным геомагнитным полем.

Однако более точно это поле воспроизводится, если такой «магнит-диполь» повернуть на угол 11.5° относительно оси вращения планеты, и еще более точно – при смещении его на 450 км в сторону Тихого океана.

Точки пересечения поверхности земного шара с осью смещенного магнита-диполя называются геомагнитными полюсами.

Координаты геомагнитных полюсов не совпадают, таким образом, с координатами географических полюсов земного шара, и соответственно геомагнитный экватор (линия на поверхности Земли, для всех точек которой наклонение дипольного поля равно нулю) – не совпадает с географическим экватором. Положение магнитных полюсов не является постоянным, а непрерывно меняется.

Вблизи магнитных полюсов вертикальная составляющая принимает максимальное значение, равное примерно **49.75 А/м**, а горизонтальная составляющая в этой области равна нулю.

На магнитном экваторе величина вертикальной составляющей делается равной нулю, а **горизонтальная составляющая** принимает наибольшее значение (**максимальное значение** она принимает вблизи Зондских островов, равное примерно **31.83 А/м**).

Для того чтобы ясно представить себе картину распределения элементов земного магнетизма по поверхности земного шара, пользуются графическим методом изображения – методом построения карт изолиний, т.е. кривых, соединяющих на карте точки с одинаковыми значениями изучаемого параметра магнитного поля.

Магнитные карты строятся как для данной области, так и для целой страны и, наконец, для всего земного шара. В последнем случае они носят название **мировых карт**.

Рассмотрение мировых карт изолиний и карт изолиний отдельных районов приводит к заключению, что магнитное поле \vec{H}_T на поверхности

$$\vec{A} = \frac{iD}{8\pi} \sum_{n=0}^{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha \, d\alpha}{\sqrt{(z-h-n \cdot h_z)^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha}} \right\};$$

каждой фазы векторный потенциал будет определяться при помощи следующих формул:

$$\vec{H}_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \vec{A}}{\partial z}; \quad \vec{H}_z = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial r} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial \varphi} \right). \quad (3.16)$$

Для того чтобы получить общее магнитное поле от трехфазной группы реакторов, необходимо учитывать не только сдвиг по фазе токов, протекающих по обмоткам, но и взаимное расположение этих обмоток. Например, при горизонтальном расположении фаз реактора так, как показано на рис. 3.17, магнитное поле будет иметь разное значение в точках, лежащих в торцевой области (линия CD), и в точках, лежащих на оси симметрии группы (линия AB).

Рассмотрим вначале расчет поля для линии AB (при $z = h_n$). Здесь для

$$\vec{A} = \frac{iD}{8\pi} \sum_{n=0}^{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha \, d\alpha}{\sqrt{(z-h-n \cdot h_z)^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha}} \right\};$$

расположенных в разных рядах, получаем общее значение векторного потенциала для одной фазы (например, фазы A) в произвольной точке A (z, ρ):

$$\vec{A} = \frac{iD}{8\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha \, d\alpha}{\sqrt{(z-h-n \cdot h_z)^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha}}.$$

Здесь комплексное значение тока в витке.

Суммируя затем значения векторных потенциалов от токов в витках, расположенных в разных рядах, получаем общее значение векторного потенциала для одной фазы (например, фазы A) в произвольной точке A (z, ρ):

$$\vec{A}_B = \frac{iD}{8\pi} \sum_{n=0}^{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha \, d\alpha}{\sqrt{(z-h-n \cdot h_z)^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha}} \right\};$$

$$\vec{A}_C = a \vec{A}_A,$$

где $\rho_A = \sqrt{\rho^2 + S^2}$ – расстояние от оси фазы A и C до точки, в которой определяется потенциал; a – фазосдвигающий множитель; $R = D/2$.

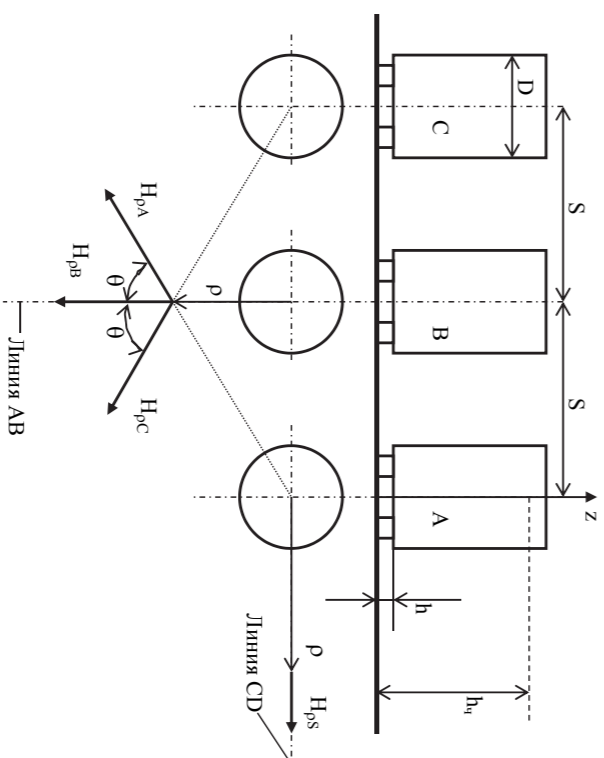


Рис. 3.17

После расчета векторных потенциалов с помощью выражения (3.16) определяются комплексные составляющие напряженности поля для каждой фазы отдельно, а затем находят их геометрическая сумма:

$$\vec{H}_{rS} = \vec{H}_{rB} + (\vec{H}_{rA} + \vec{H}_{rA}) \cdot \cos \theta; \quad \vec{H}_{zS} = \vec{H}_{zA} + \vec{H}_{zB} + \vec{H}_{zC}.$$

Здесь $\theta = \arctg(S/\rho)$.

Общая составляющая напряженности магнитного поля определяется следующим образом:

$$H_S = \sqrt{|H_{rS}|^2 + |H_{zS}|^2}.$$

где $b = 2d \sin \mu \delta$.
Учитывая, что векторный потенциал имеет одну составляющую, направленно вдоль оси Oz , получим выражения для составляющих напряженности магнитного поля:

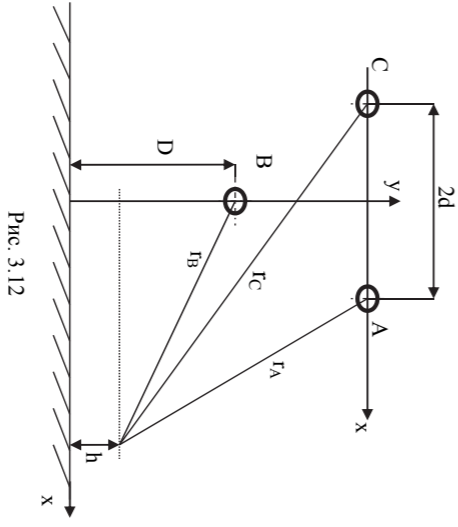


Рис. 3.12

Суммарное значение векторного потенциала от токов во всех трех фазах в этой точке, таким образом, будет равно:

$$\dot{A} = -\frac{\mu_0 I_A}{2\pi} (\ln r_A + a^2 \ln r_B + a \ln r_C),$$

где $a = e^{-\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ – фазосдвигающий множитель.

Перепишем выражение для векторного потенциала в прямоугольной системе координат:

$$\dot{A} = -\frac{\mu_0 I_A}{4\pi} (\ln((x-d)^2 + (D+b-y)^2) + a^2 \ln((x)^2 + (D-y)^2) + a \ln((x+d)^2 + (D+b-y)^2)),$$

Из графика видно, что максимального значения, равного 270 А/м, модуль напряженности магнитного поля достигает под средней фазой токопровода. Здесь же принимают максимальное значение и модули горизонтальной и вертикальной составляющих напряженности магнитного поля. Причем в этом случае их значения сопоставимы не только с величиной напряженности магнитного поля Земли, но и с допустимыми значениями.

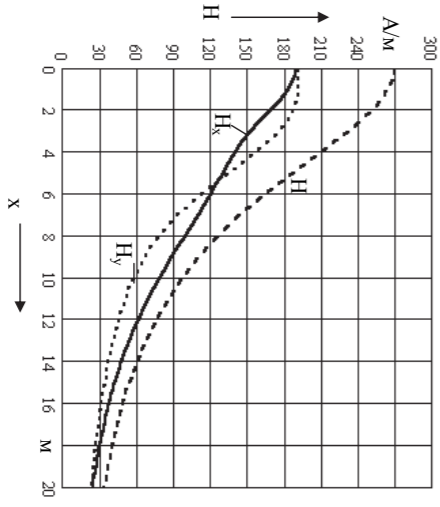


Рис. 3.13

Графики изменения модулей составляющих напряженности поля и самой напряженности магнитного поля на высоте $y = h = 1.8$ м вдоль оси Ox представлены на рис. 3.13.

Модуль напряженности магнитного поля, таким образом, определяется при помощи следующего выражения:

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}.$$

$$H_x = \frac{\partial \dot{A}}{\partial y} = -\frac{I_A}{2\pi} \left[\frac{D+b-y}{(x-d)^2 + (D+b-y)^2} + \frac{D+b-y}{x^2 + (D-y)^2} + a \frac{D+b-y}{(x+d)^2 + (D+b-y)^2} \right];$$

$$H_y = -\frac{\partial \dot{A}}{\partial x} = -\frac{I_A}{2\pi} \left[\frac{x-d}{(x-d)^2 + (D+b-y)^2} + \frac{x}{x^2 + (D-y)^2} + a \frac{x+d}{(x+d)^2 + (D+b-y)^2} \right].$$

Векторный потенциал имеет единственное выражения: $A_{\text{век}} = \int \frac{\mu_0 I dl \cos \alpha}{4\pi r}$, которая определяется при помощи следующего выражения:

$$A = \int \frac{\mu_0 I \cos \alpha}{4\pi r} dl.$$

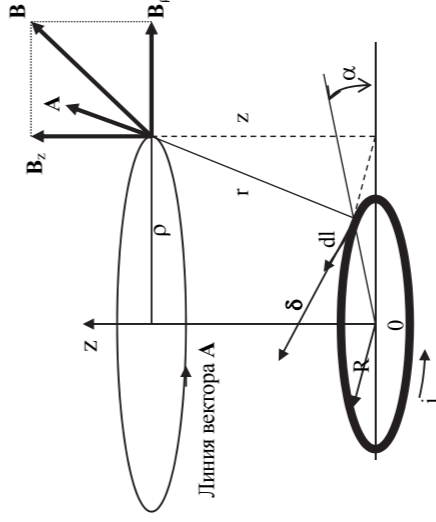


Рис. 3.16

Так как расстояние r от элемента контура с током $dl = R d\alpha$ определяется при помощи формулы:

$$r = \sqrt{z^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha},$$

то выражение для векторного потенциала можно переписать в следующем виде:

$$A = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha d\alpha}{\sqrt{z^2 + R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \alpha}} \quad (3.14)$$

Интеграл в данном выражении можно привести к эллиптическим интегралам. Для этого положим $\alpha = \pi - 2\beta$; $d\alpha = -2d\beta$; $4R\rho/(z^2 + (R + \rho)^2) = k^2$.

Число k в нашем случае лежит в пределах $0 \leq k < 1$ (векторный потенциал определяем на достаточном расстоянии от оси проводника с током). Таким образом, имеем $\cos(\alpha) = -\cos(2\beta) = 2\sin^2(\beta) - 1$:

$$r = \sqrt{z^2 + R^2 + \rho^2 - 4R\rho \sin^2 \beta + 2R\rho} = \frac{2\sqrt{R\rho}}{k} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \beta}.$$

Следовательно,

и неправильные флуктуации. К числу периодических относятся возмущенные солнечно-суточные вариации с периодом солнечных суток и короткопериодические колебания, у которых период колеблется от долей секунд до десятков минут. Из непериодических известна вариация под названием аперриодическая возмущенная, которая проявляется во время магнитных бурь главным образом в изменении горизонтальной составляющей. Неправильные флуктуации элементов земного магнетизма представляют основную часть магнитных возмущений.

Помимо этого существуют вариации, которые нельзя отнести ни к одному из этих трех типов. Эти вариации получили название буртообразных. Магнитные возмущения могут иметь локальный характер и наблюдаться только в ограниченном секторе долгот и широт или же, достигая большой интенсивности, охватывать одновременно всю Землю. В последнем случае их называют магнитными бурями или мировыми бурями.

Принято выделять магнитные бури с внезапным началом и бури с постепенным началом. В первом случае на фоне спокойного хода всех элементов внезапно происходит скачок, отмечаемый в пределах одной-двух минут на всех станциях земного шара. Особенно резко такой скачок проявляется в величине горизонтальной составляющей, которая увеличивается на десятки гамм (внесистемная единица напряженности магнитного поля, равная одной стотысячной эрстеда; $1\gamma = 10^{-5} \text{ Э} = 0.795775 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}$). Во втором случае возмущения возникают в виде постепенного увеличения амплитуды всех элементов.

Бури по интенсивности (по величине амплитуды) принято делить на слабые, умеренные и большие. При большой буре амплитуды, например, у горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля могут достигать 3000γ (2.39 А/м) и более [103].

Под частотой магнитных бурь понимают их количество, приходящееся на тот или иной период времени (год, сезон, сутки). Частота магнитных бурь зависит от многих факторов и, прежде всего, от солнечной активности. В годы максимальной солнечной активности частота бурь наибольшая: от 23 (в 1894 г.) до 41 (в 1938 г.) [103] бури в год, а в годы минимальной солнечной активности она опускается до нескольких бурь в год. Кроме этого частота бурь зависит от времени года. Бури чаще возникают в периоды равноденствий.

Следует отметить также одну из основных закономерностей в появлении магнитных бурь, а именно их 27-дневную повторяемость.

В последние годы была также установлена связь магнитных бурь с параметрами солнечного ветра.

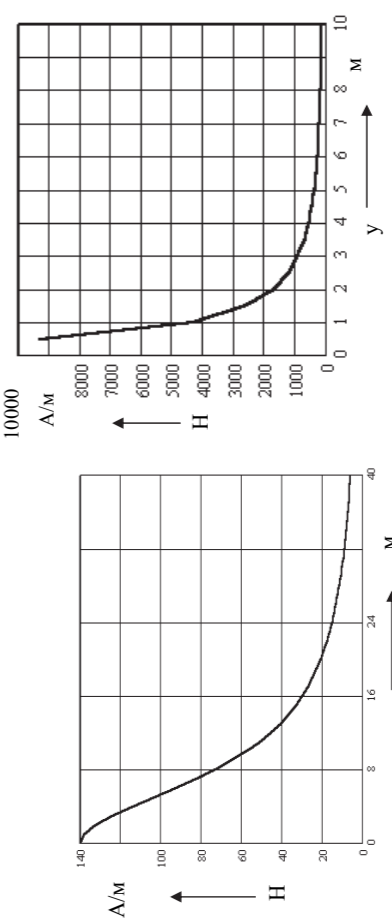


Рис. 3.11

Рассмотрим теперь магнитное поле под токопроводом трехфазного переменного тока промышленной частоты. Пусть расстояние между осями фаз токопровода равно 3 м, а фазы расположены по вершинам правильного треугольника рис. 3.12. Токпровод выполнен без экранирующих устройств и несет токовую нагрузку, равную 30 кА. Расстояние от нижней фазы до поверхности земли равно 8 м.

В данном случае также удобно использовать формулу, записанную в терминах векторного потенциала, но в комплексной форме. Для каждой фазы комплексное значение векторного потенциала в произвольной точке вне провода определяется с точностью до постоянной следующим выражением:

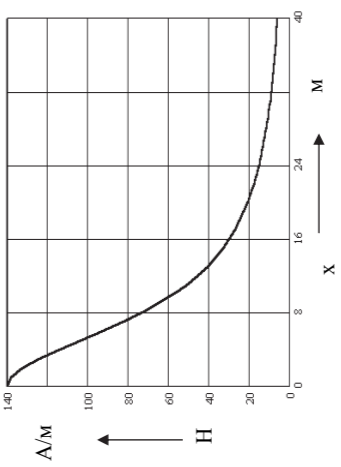


Рис. 3.10

оси провода достигает 5 кА/м, а в непосредственной близости от провода — 8–9 кА/м.

дится в непосредственной близости от шин токопровода, напряженность магнитного поля в зоне производства работ может достигать существенных значений. Для иллюстрации этого на рис. 3.11 представлено распределение модуля напряженности поля вдоль оси y под одним из проводов ($x = d$). Как видно из рисунка, напряженность поля на расстоянии 1 м от оси провода достигает 5 кА/м, а в непосредственной близости от провода — 8–9 кА/м.

3.2.2. Искусственные источники магнитного поля

Искусственных источников достаточно, как было указано выше, много. Здесь мы остановимся на рассмотрении только некоторых из этих источников, таких как: токопроводы постоянного и переменного тока и токоограничивающие реакторы.

Токпроводом называется устройство, состоящее из проводников различного профиля и сечения, со всеми относящимися к ним изоляторами, защитными оболочками, ответвительными устройствами, поддерживающими и опорными конструкциями. В зависимости от вида проводников токопроводы подразделяются на гибкие (при использовании проводов) и жесткие (при использовании жестких шин различного профиля и сечения). Токпроводы с фазами, расположенными по вершинам равнобедренного треугольника, называются симметричными. Токпроводы применяют для соединения между собой электрических машин и аппаратов распределительных устройств, электрических станций и других предприятий.

Для соединения мощных генераторов с повышающими трансформаторами на блочных станциях широко применяют пофазно-экранированные токопроводы, каждая фаза которых состоит из трубчатой шины, прикрепленной изоляторами к алюминиевому экрану (кожуху). Эти токопроводы изготавливают на заводах и комплектно поставляют на место установки. Токпроводы, выходящие за пределы одной электроустановки, называются протяженными или магистральными.

Токпроводы могут прокладываться либо в закрытых галереях, либо подвешиваться на железобетонных и стальных опорах.

Длительно допустимые токи в токопроводах могут достигать довольно больших значений. Так, токопровод генераторного напряжения ($I_{\text{н}} = 24 \text{ кВ}$) типа ППЭ – 24/24000 имеет номинальный ток $I_{\text{н}} = 24 \text{ кА}$, а токопровод аппаратно-генераторного комплекса Саяно-Шушенской ГЭС имеет ток $I_{\text{н}} = 30 \text{ кА}$. Отсюда видно, что напряжение токопроводов существенно

меньше, чем в высоковольтных линиях, однако токи гораздо больше, поэтому они создают более значительное магнитное поле.

Так, если взять токопровод постоянного тока с номинальным током 30 кА, расстоянием между шинами $2d = 2 \text{ м}$ и высотой подвеса проводов $h = 8 \text{ м}$ (рис. 3.9), то используя выражения, приведенные в примере 3.2 подраздела 3.1, можно получить распределение напряженности поля

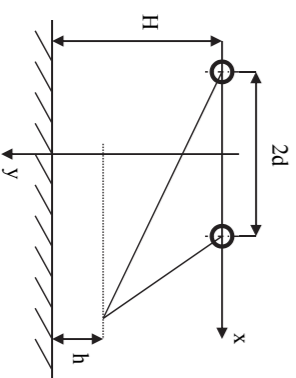


Рис. 3.9

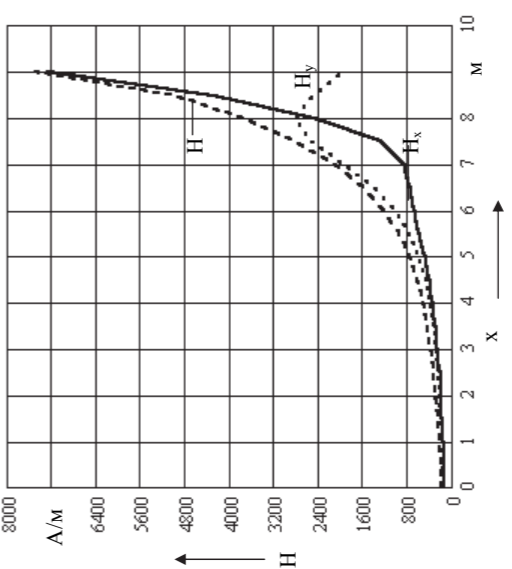


Рис. 3.14

Рассмотрим еще один источник магнитного поля – токоограничивающий реактор. Реакторы служат для ограничения ударного тока короткого замыкания в мощных сетях. Их устанавливают на отходящих фидерах и между секциями сборных шин. Кроме ограничения тока короткого замыкания реакторы одновременно обеспечивают во время короткого замыкания поддержания напряжения на питающих шинах на некотором определенном уровне.

Реактор представляет собой индуктивную катушку без стального сердечника с относительно небольшим активным сопротивлением.

На напряжение до 35 кВ и для внутренней установки (в настоящее время, благодаря высокому качеству изоляции, и для наружной установки) исключительное распространение получили бетонные реакторы. Бетонный реактор выполняется в виде концентрически расположенных витков из специального круглого изолированного многожильного провода, залитого в радиально расположенные бетонные колонки.

Обмотки реактора на большие токи выполняются из нескольких параллельных проводов с трансформацией этих параллелей, обеспечивающих равномерное распределение токов. Фазы реактора могут быть расположены горизонтально, вертикально или ступенчато. Все металлические детали реактора выполняются из немагнитных материалов. При больших токах применяется искусственное охлаждение.

Около реакторов создается значительное магнитное поле, которое может оказывать негативное воздействие на обслуживающий персонал и окружающую среду.

Для примера рассмотрим расчет внешнего поля реактора типа РВА-6-2000-12. Это бетонный реактор с алюминиевыми обмотками на напряжении 6 кВ и номинальный ток 2000 А. Реактор имеет горизонтальное расположение. Обмотка такого реактора выполняется в виде многоослойной цилиндрической катушки. Пусть в горизонтальном ряду расположено восемь витков (рис. 3.15), а всего рядов 18.

Пусть также обмотка имеет четыре параллельных провода. Расстояние между витками в одном ряду – 0,035 м, а расстояние между рядами – 0,045 м. Средний диаметр обмотки $D = 1,195 \text{ м}$. Реактор расположен над поверхностью земли на высоте (расстояние до нижнего витка) $h = 0,685 \text{ м}$. Расстояние между осями фаз реактора $S = 1,74 \text{ м}$.

Для расчета магнитного поля такого реактора вначале рассмотрим расчет поля одного витка, по которому протекает ток i (рис. 3.16). Расчет удобнее проводить при записи уравнения поля в терминах векторного потенциала, поскольку в этом случае можно воспользоваться преобразованной формулой (3.8):

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{id\vec{l}}{r}$$

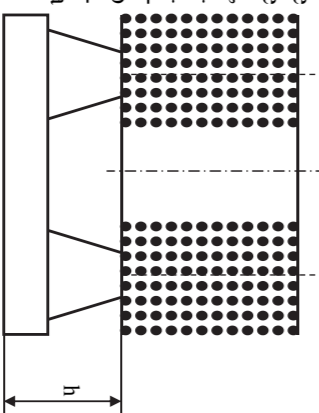


Рис. 3.15

Напомним, что данную формулу можно использовать для расчета поля в точках, отстоящих от проводника на расстоянии, значительно превышающих поперечное сечение самого проводника.

Интегрирование по данной формуле производится вдоль всего контура с током. Вследствие симметрии относительно оси OZ линии векторного потенциала являются окружностями, лежащими в плоскостях, параллельных плоскости контура тока, и имеющими центры на оси OZ. Таким обра-

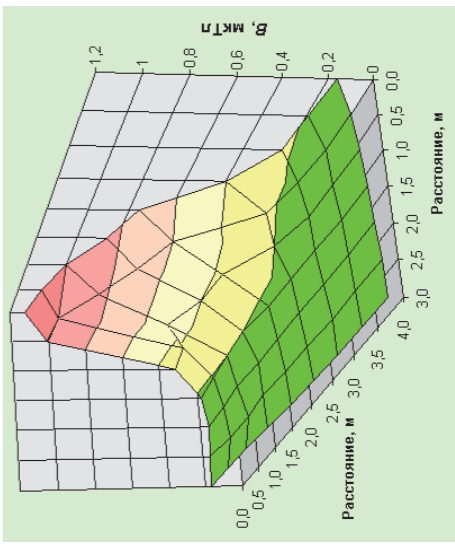


Рис. 3.20

В помещениях, расположенных рядом с этими источниками, уровень магнитного поля промышленной частоты, как правило, повышен.

Так, на рис. 3.20 представлено [110] распределение магнитного поля промышленной частоты в жилом помещении, которое является смежным с нежилым помещением, содержащим распределительный пункт электроли-

| Источник | Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл |
|---|---|
| Холодильник, оснащенный системой «No Frost» (во время работы компрессора) | 1.2 м от дверцы; 1.4 м от задней стенки |
| Холодильник обычный (во время работы компрессора) | 0.1 м от мотора |
| Утюг (режим нагрева) | 0.25 м от ручки |
| Телевизор 14" | 1.1 м от экрана; 1.2 м от боковой стенки |
| Электрорадиатор | 0.3 м |
| Торшер с двумя лампами по 75 Вт | 0.03 м (от провода) |
| Электродуховка | 0.4 м от передней стенки |
| Аэрогриль | 1.4 м от боковой стенки |

Распространение магнитного поля приборов электрических бытовой (выше уровня 0,2 мкТл)

Таблица 3.2

3.2.3. Бытовые источники магнитного поля

Все бытовые приборы, которые работают с использованием электроэнергии, являются источниками электромагнитных полей самого широкого частотного диапазона, в том числе и промышленной частоты.

Наиболее мощными из них можно считать следующие приборы: СВЧ-печи; аэрогрили; холодильники с системой «без инея»; кухонные вытяжки; электроплиты; телевизоры.

При этом величина напряженности электрического поля промышленной частоты практически всех электробытовых приборов не превышает нескольких десятков В/м на расстоянии 0,5 м, что значительно меньше ПДУ 500 В/м.

Что касается значений магнитной индукции (напряженности магнитного поля), то они также невелики. Однако, согласно современным представлениям, магнитное поле промышленной частоты может быть **опасным для здоровья человека**, если происходит продолжительное облучение **(регулярно, не менее 8 ч в сутки, в течение нескольких лет)** с уровнем **выше 0,2 мкТл** [110]. Бытовые же приборы могут создавать магнитное поле промышленной частоты, интенсивность которого выше указанной величины (табл. 3.1 [110]).

Таблица 3.1

Величина магнитного поля, создаваемого бытовыми приборами

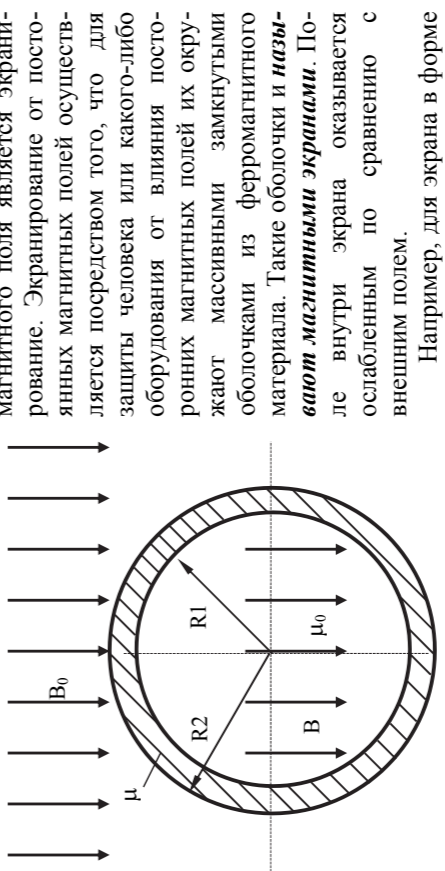
| Прибор | Индукция магнитного поля В, Тл |
|----------------------|--------------------------------|
| 1 Микроволновая печь | 4 – 12 |
| 2 Дреель | 2,2 – 5,2 |
| 3 Электрическая пила | 0,4 – 4,4 |
| 4 Миксер | 0,4 – 2,2 |
| 5 Пылесос | 0,2 – 2,2 |
| 6 Утюг | 0 – 0,4 |
| 7 Стиральная машина | 0 – 0,3 |
| 8 Телевизор | 0 – 0,2 |
| 9 Кофеварка | 0 – 0,2 |

В табл. 3.2 представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл при работе ряда бытовых приборов [110].

Кроме самих бытовых приборов, мощным источником магнитного поля промышленной частоты является электротехническое оборудование здания (кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания, а также распределительные щиты и трансформаторы).

$$B = B_0 \frac{1}{1 + \frac{2}{9} \left(1 - \frac{R_1^3}{R_2^3} \right) \left(\frac{\mu_0}{\mu} + \frac{\mu}{\mu_0} - 2 \right)}$$

Рис. 3.22



Заметим, что кроме защиты временем, расстоянием и указанных выше мероприятий, наиболее действенной технологической мерой для защиты от магнитного поля является экранирование. Экранирование от постоянных магнитных полей осуществляется посредством того, что для защиты человека или какого-либо оборудования от влияния постоянных магнитных полей их окружают массивными замкнутыми облолками из ферромагнитного материала. Такие облолки являются и **ищк оболочка**. Такие облолки являются и **ищк оболочка**. Такие облолки являются и **ищк оболочка**.

Технологические установки и оборудование следует размещать на таком расстоянии от персонала, занятого работой, чтобы работа не проводилась в зоне действия ПМП (рис. 3.22).

Здесь d – толщина стенки экрана ($d = R_2 - R_1$). Экранирующее действие экранов из ферромагнитного вещества определяется тем, что линии магнитной индукции внешнего поля, стремясь пройти по пути с наименьшим магнитным сопротивлением, смещаются внутрь стенок экрана, почти не проникая в его полость. Точно также можно защитить внешнее пространство от воздействия магнитного поля, если источник поля окружить массивной замкнутой оболочкой из ферромагнитного материала. Нередко применяют многослойные экраны в виде нескольких полых ферромагнитных тел, расположенных одно внутри другого.

Принцип действия экранов, которые применяются для защиты от воздействия магнитных полей промышленной частоты, будет рассмотрен ниже. Здесь только отметим, что физически экранирующее действие таких экранов объясняется не только тем, что магнитное сопротивление стенок экрана много меньше магнитного сопротивление воздуха, но и возникает внемм вихревых токов в стенках экрана, которые создают свое магнитное поле, направленное навстречу внешнему полю, и тем самым ослабляют его. Поэтому в данном случае важна не только величина магнитной проницаемости материала, из которого изготовлен экран, но и его удельная проводимость.

Отметим, что экранирующие устройства, предназначенные для защиты от магнитных полей, являются также хорошими защитными средствами (при их заземлении) и от электрических полей. Однако те экранирующие устройства, которые предназначены для защиты от электрических полей и толщина стенок которых определяется в основном из соображений механической прочности, могут оказывать малоэффективными при защите от магнитных полей, особенно, если эти поля являются постоянными.

3.8. Контроль напряженности магнитного поля

Определение уровня напряженности магнитного поля расчетным путем производится, как правило, только на стадии проектирования установок, являющихся источниками магнитного поля. Во всех остальных случаях, таких как: ввод в эксплуатацию новых установок, изменение их конструкции, организация новых рабочих мест и т.д., необходимо проводить экспериментальную проверку.

Контроль уровня постоянного магнитного поля должен производиться путем измерения значений магнитной индукции или напряженно-

| Магнитная индукция В, мкТл | Напряженность магнитного поля Н, А/м | Увеличение частоты заболеваемости лейкоемией по сравнению с контрольной группой, раз |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| 0.2 | 0.16 | 2.7 |
| 0.3 | 0.24 | 3.8 |

Таблица 3.3
Риск онкологических патологий в зоне действия ЛЭП

По данным проф. А.В. Сосунова, магнитное поле 48 кА/м стимулировало рост раковых клеток в тканевых культурах, а при 160 кА/м большинство раковых клеток погибло [68].

По данным Института гигиены труда им. Ф.Ф. Эрисмана, обработка питьевой воды магнитным полем 400 кА/м приводит к патологическим изменениям нервной и кровеносной системы и самой крови у подопытных крыс. При уровне воздействия 160 кА/м изменений в состоянии здоровья крыс не отмечено. Все эти исследования говорят о неоднозначно-

Ученый из США Мак-Лин выдвинул гипотезу о связи увеличения раковых заболеваний у людей со снижением магнитного поля нашей земли на 66 % за последние 2.5 тыс. лет.

В зарубежных источниках [68] появились публикации о возможном влиянии неинтенсивных магнитных полей на возникновение злокачественных образований. Ученые Швеции обнаружили у детей до 15 лет, проживающих в зоне воздействия магнитного поля ЛЭП, более высокий уровень заболеваемости лейкоемией, чем в контрольной группе (табл. 3.3).

Ученый из США Мак-Лин выдвинул гипотезу о связи увеличения раковых заболеваний у людей со снижением магнитного поля нашей земли на 66 % за последние 2.5 тыс. лет.

В связи с развитием космонавтики была проведена серия исследований влияния ослабленных естественных магнитных полей на живые организмы. В опытах над мышами выявлено существенное отсроченное во времени влияние ослабленного геомагнитного поля земли на изменения процессов жизнедеятельности во втором поколении мышей (появление опухолей в различных органах, нарушение деятельности половых желез, печени, почек).

уменьшается сопротивляемость эритроцитов к внешним действиям;

увеличивается число нервно-психических расстройств;

увеличивается число дорожно-транспортных происшествий.

увеличивается свертывающий потенциал крови, из-за чего возрастает число тромботических осложнений, которые являются основной причиной сердечно-сосудистых заболеваний;

70 % всех смертей приходится на интервалы времени, соответствующие магнитным бурям и только 30 % в периоды «спокойного магнитного поля Земли»;

увеличивается свертывающий потенциал крови, из-за чего возрастает число тромботических осложнений, которые являются основной причиной сердечно-сосудистых заболеваний;

3.5. Биологическое Действие Магнитного поля Промышленной частоты

Согласно [22], при нахождении человека в электромагнитном поле ЛЭП любого класса или различных высоковольтных установок промышленной частоты, поглощенная телом человека энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрической составляющей поля. Измеренные значения магнитного поля в рабочих зонах ОРУ и ВЛ 330кВ не превышают 50-60 А/м, что существенно ниже безопасных значений. Все это, по мнению П.А. Долина [22], позволяет исключить магнитное поле как фактор, представляющий опасность при рассмотрении подобных электроустановок промышленной частоты.

Однако в настоящее время появилось мощное энергетическое оборудование с большими токами до 100 кА и выше, создающее вокруг себя сильное магнитное поле промышленной частоты.

В работах Ю.А. Холодова [100] показано, что переменные магнитные поля с частотой 50 Гц вызывают «более значительные изменения в биологических объектах», чем постоянные магнитные поля, т.е. с увеличением частоты возрастает и опасность действия магнитного поля.

Магнитные поля оказывают влияние:

на центральную нервную систему, вызывая процессы торможения в головном мозгу;

на сердечно-сосудистую систему, реагирующую даже на незначительные уровни полей, вызывая снижение частоты сердечных сокращений, снижение систолического давления, увеличение скорости кровотока и расширение артерий;

вызывают изменения в печени, почках, поджелудочной железе.

Наиболее выраженные изменения происходят в мужских половых железах. Имеет место расстройство гемодинамики в большинстве внутренних органов, свидетельствующее о тибелии элементов крови.

Наблюдается заметное сосудисто-вегетативное нарушение кистей рук, которые при длительном пребывании в поле становятся отечными, а кожа приобретает синеватый цвет.

Большинство изменений носит функциональный, т.е. обратимый характер, за исключением стойких патологических поражений кистей рук [100].

Среди биологических реакций следует отметить изменение зрения в магнитном поле. Это явление «магнитофосфена» (появление опущения света, которое в быту выражается словами: «искры из глаз посыпались») и снижение устойчивости ясного видения. Последнее потенциально опасно при выполнении функций оператора в системе «человек-машина».

| Интенсивность МП м/А | Тип воздействия, территория | |
|----------------------|-----------------------------|---|
| | 4 мкТл | 5 мкТл |
| 80 | 100 | м/А/м ~ 0.8 А/м Примечание. 1 А/м ~ 1,25 мкТл, 1 мкТл ~ 0.8 А/м |
| 16 | 20 | 1. В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохождения воздушных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок |
| 8 | 10 | 2. В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на территории территории, в том числе на территории садовых участков |
| 4 | 5 | 3. В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждений, общественных помещений, расположенных в зонах электропередачи напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохождения воздушных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок |

Таблица 3.6
Гигиенические нормативы (ПДУ) магнитных полей [7]

3.6. Нормирование магнитного поля промышленной частоты

Оценка воздействия магнитного поля на человека производится на основании двух параметров – интенсивности и времени (продолжительности) воздействия.

Интенсивность воздействия определяется величиной напряженности магнитного поля или магнитной индукции (их эффективными значениями).

ПДУ магнитного поля промышленной частоты регламентируются в России СанПин 2.2.4.1191-03 [80] и представлены в табл. 3.6. Допустимая напряженность магнитного поля внутри временных интервалов определяется интерполяцией.

Таблица 3.6

| ПДУ воздействия магнитного поля промышленной частоты [80] | |
|---|--|
| Время пребывания, ч | Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии обшем |
| ≤ 1 | 1600/2000 6400/8000 |
| 2 | 800/1000 3200/4000 |
| 4 | 400/500 1600/2000 |
| 8 | 80/100 800/1000 |

В случаях, когда работник находится в течение смены в зонах с различными значениями напряженности (индукции) магнитного поля, общее время выполнения операций в этих зонах не должно превышать предельно допустимое значение для зоны с максимальной напряженностью.

Допустимое время пребывания может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня.

В случаях, когда работник находится в течение смены в зонах с различными значениями напряженности (индукции) магнитного поля, общее время выполнения операций в этих зонах не должно превышать предельно допустимое значение для зоны с максимальной напряженностью.

Для условий импульсного воздействия магнитных полей промышленной частоты, допустимые уровни амплитудного значения напряженности магнитного поля дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену (Т) и характеристики импульсного режима генерации. При этом различают три режима генерации, отличающиеся длительностью импульса $t_{им}$ и длительностью паузы $t_{п}$ (табл. 3.7) [80].

ПДУ воздействия импульсных магнитных полей промышленной частоты в зависимости от режима генерации приведены в табл. 3.8.

в них электрооборудования силового, хозяйственного, коммутационного и промышленного (50 Гц) в жилых и рабочих помещениях при наличии среднего значения напряженности электрического и магнитного полей промышленности (СанПиН 2.2.542-96 [76]).

Измеритель параметров электромагнитного поля промышленности частоты ЭМПЧ-метр предназначен для измерения среднеквадратического значения напряженности электрического и магнитного полей вблизи различных технических средств, в том числе компьютеров, при их сертификации, при контроле норм в области охраны природы, а также при аттестации рабочих мест по условиям труда в соответствии с санитарными нормами (СанПиН 2.2.542-96 [76]).

Приборы ИМП-04 и ИМП-05 предназначены для измерения средних-квадратических значений магнитной индукции низкочастотных магнитных полей вблизи различных технических средств,

в том числе компьютеров, при их сертификации, при контроле норм в области охраны природы, а также при аттестации рабочих мест по условиям труда в соответствии с санитарными нормами (СанПиН 2.2.542-96 [76]).

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.5 состоит из двух блоков ИМП-0.5/1 и ИМП-0.5/2. Первый блок имеет диапазон частот от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Второй блок имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.4 имеет две по-

лосы частотного диапазона. В полосе 1 частота сигнала может изменяться от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Полоса 2 имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Миллисламетр портативный модульный трехкомпонентный МПМ-2 предназначен для измерения модуля и трех взаимно-

перпендикулярных составляющих V_x, V_y, V_z вектора магнитной индукции постоянных и переменных магнитных полей в диапазоне от 0.01 до 199.9 мТл. Удобен при контроле магнитных полей на рабочих местах, в помещениях и в полевых условиях. При измерении магнитной индукции переменного поля частота поля может изменяться от 40 до 200 Гц.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.4 имеет две по-

лосы частотного диапазона. В полосе 1 частота сигнала может изменяться от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Полоса 2 имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.5 состоит из двух блоков ИМП-0.5/1 и ИМП-0.5/2. Первый блок имеет диапазон частот от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Второй блок имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.4 имеет две по-

лосы частотного диапазона. В полосе 1 частота сигнала может изменяться от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Полоса 2 имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.5 состоит из двух блоков ИМП-0.5/1 и ИМП-0.5/2. Первый блок имеет диапазон частот от 5 до 2000 Гц, а уровень измеряемой индукции от 200 до 5000 нТл. Второй блок имеет частотный диапазон от 2 до 400 кГц и уровень измеряемой индукции от 10 до 1000 нТл.

Измеритель переменного магнитного поля ИМП-0.4 имеет две по-

4. ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

4.1. Основные теоретические положения

Электромагнитное поле есть особый вид материи, отличающийся непрерывным распределением в пространстве (электромагнитные волны, поле заряженных частиц) и **обнаряживающий дискретность структуры** (фотоны), характеризующийся в свободном состоянии способностью распространения в пустоте (при отсутствии сильных гравитационных полей) со скоростью близкой к $3 \cdot 10^8$ м/с и **оказывающий на заряженные частицы силовое воздействие**, зависящее от их скорости.

При исследовании процессов в переменном электромагнитном поле пользуются полной системой уравнений Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j}; & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; & \vec{\delta} &= \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}_{\text{пер}}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; & \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned}$$

Здесь $\vec{j}_{\text{пер}}$ – плотность тока переноса:

$$\vec{j}_{\text{пер}} = \rho_+ \vec{V}_+ + \rho_- \vec{V}_-,$$

где ρ_+ и ρ_- – объемная плотность положительно и отрицательно заряженных частиц, перемещающихся в пространстве со скоростью \vec{V}_+ и \vec{V}_- соответственно.

Для плоской, поляризованной электромагнитной волны, изучаемой источниками, не содержащими постоянных токов и зарядов (антенна), и распространяющейся в идеальном диэлектрике ($\gamma = 0$), уравнения электромагнитного поля можно преобразовать к следующему виду:

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}; \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}. \quad (4.2)$$

Отметим, что электромагнитная волна называется плоской, когда векторы \vec{E} и \vec{H} зависят только от одной координаты, например z .

Поляризованной называется такая волна, в которой вектор напряженности электрического поля все время остается параллельным некоторому направлению (например, как в нашем случае, оси ox), а вектор напряженности магнитного поля – другому (оси oy).

Такие условия обеспечиваются при излучении электромагнитных волн неподвижной антенной на достаточно большом расстоянии от нее.

Кoeffициент при $I^2/2$ в выражении (4.19) имеет размерность сопротивления, его называют сопротивлением излучения:

$$R = \frac{I^2}{4\pi \varepsilon} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \left(\frac{\lambda}{r} \right)^2 \sin^3 \varphi \, d\varphi \, d\pi \int_0^\pi \sqrt{\frac{1}{1 - \cos^2 \varphi}} \, d\varphi \quad (4.19)$$

Интегрируя последнее выражение, находим излучаемую вибратором среднюю за период мощность:

$$dP = \Pi_{\text{ср}} ds = \Pi_{\text{ср}} r^2 \sin \varphi \, d\varphi \, d\pi.$$

Проходящая через элементарную площадку ds сферы средняя мощность

$$\Pi_{\text{ср}} = \frac{1}{4\pi r^2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \cos^2 \varphi \, d\varphi \, d\pi \int_0^\pi \sqrt{\frac{1}{1 - \cos^2 \varphi}} \, d\varphi \quad (4.20)$$

в любой момент времени направлен по радиусу в сторону от диполя.

Среднее за период T значение вектора Пойнтинга равно:

$$\vec{\Pi} = [\vec{E}\vec{H}] = E_\varphi H_\varphi \vec{r}$$

Вектор Пойнтинга

определяется путем интегрирования вектора Пойнтинга по поверхности (радиусу) сферы. Мощность излучаемая вибратором, определяется путем интегрирования вектора Пойнтинга по поверхности (радиусу) сферы. Мощность излучаемая вибратором, определяется путем интегрирования вектора Пойнтинга по поверхности (радиусу) сферы.

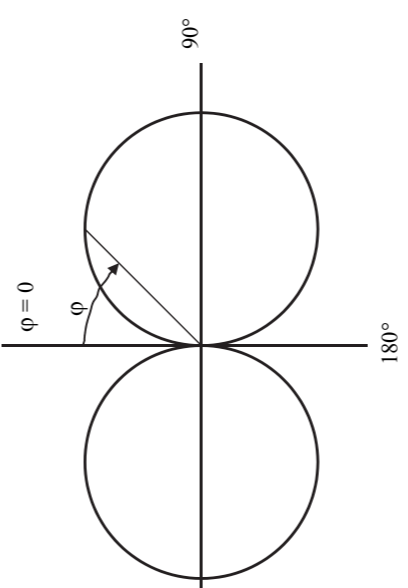


Рис. 4.3

$$H_\varphi = \frac{\omega I \sin \varphi}{4\pi r v} \left[\operatorname{Im} \cos \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) + \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \operatorname{Im} \sin \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) \right]; \quad (4.14)$$

$$E_r = \frac{\mu_0 I \cos \varphi}{2\pi r} \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \operatorname{Im} \sin \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) - \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 \operatorname{Im} \cos \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) \right]; \quad (4.15)$$

$$E_\varphi = \frac{\mu_0 I \sin \varphi}{4\pi r} \left[\operatorname{Im} \cos \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) + \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \operatorname{Im} \sin \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) - \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 \operatorname{Im} \cos \varphi \left(t - \frac{r}{v} \right) \right]. \quad (4.16)$$

Иногда удобнее использовать не мгновенные значения векторов электромагнитного поля, а их комплексные изображения, поэтому перепишем последние уравнения после некоторых преобразований в комплексной форме:

$$\dot{H}_\varphi = \frac{\Pi}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 + j \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \right] e^{-j\beta r} \sin \varphi.$$

$$\dot{E}_r = \frac{\Pi}{2\pi \cos \varphi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^3 \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \right] e^{-j\beta r} \cos \varphi.$$

$$\dot{E}_\varphi = \frac{\Pi}{4\pi \cos \varphi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^3 \left[j \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) + \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^3 \right] e^{-j\beta r} \sin \varphi.$$

Здесь j – мнимая единица: $\beta = 2\pi/\lambda$.

Формулы (4.14) – (4.16) (а также последние выражения) позволяют сделать вывод о том, что в любой точке пространства напряженность магнитного поля имеет две составляющие, одна из которых убывает обратно пропорционально квадрату радиуса r и изменяется во времени по закону синуса, а другая убывает обратно пропорционально первой степени радиуса r и изменяется во времени по закону косинуса. Составляющая напряженности электрического поля E_φ является суммой трех слагаемых, изменяющихся обратно пропорционально соответственно первой, второй и третьей степени расстояния r . Составляющая E_r состоит из двух слагаемых, изменяющихся обратно пропорционально r^2 и r .

При исследовании электромагнитного поля, изучаемого антенной, принято все пространство вокруг антенны подразделять на **ближнюю, среднюю** (или промежуточную) и **дальнюю зоны**.

Ближняя зона ограничивается радиусом, величина которого много меньше длины волны ($r \ll \lambda$). **Дальняя зона** расположена от антенны на

Отношение $E_{x1}/H_{y1} = \sqrt{\mu\epsilon} = Z_{в}$ имеет размерность электрического сопротивления и называется волновым сопротивлением среды. В частности, для пустоты $Z_{в} = 377 \text{ Ом}$ ($Z_{в} = 120\pi$). Таким образом, для любой среды:

$$\frac{\epsilon E^2}{2} = \frac{\mu H^2}{2} = \sqrt{\epsilon\mu} \frac{1}{v} \frac{EH}{2}$$

Если существует только прямая или только обратная волна, то энергии электрического и магнитного полей равны, так как при этом

$$H_y = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} [E_{x1}(z-vt) - E_{x2}(z+vt)] = [H_{y1}(z-vt) - H_{y2}(z+vt)]$$

Составляющие H_{x1} и H_{x2} также называют прямой и обратной волной. Таким образом, электромагнитная волна распространяется в пространстве со скоростью v (в прямом или в обратном направлении).

В частности, в пустоте ($\mu = \mu_0, \epsilon = \epsilon_0$) эта скорость равна скорости света ($v = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$).

Используя выражения (4.1), (4.2) и (4.4), получаем формулу для напряженности магнитного поля

$$E_x = E_{x1}(z-vt) + E_{x2}(z+vt) \tag{4.4}$$

При этом составляющая E_{x1} называется прямо бегущей или прямой волной (перемещается в положительную сторону оси oz со скоростью v), а составляющая E_{x2} – обратно бегущей или обратной волной (перемещается в отрицательную сторону оси oz со скоростью v).

Уравнения (4.1) и (4.2) можно преобразовать к следующему виду:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \tag{4.3}$$

где $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ имеет размерность скорости.

Уравнение (4.3) является уравнением колебаний или волновым уравнением и относится к гиперболическому типу.

Как известно, решение такого уравнения всегда можно представить в виде:

Уравнения (4.1) и (4.2) можно преобразовать к следующему виду:

Уравнения (4.1) и (4.2) можно преобразовать к следующему виду:

$$\nabla^2 \vec{A} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2}$$

В области, где нет свободных зарядов ($\rho = 0$) и нет токов проводимости и переноса, уравнения (4.7) и (4.8) приобретают вид волновых уравнений:

$$\nabla^2 U - \epsilon \mu \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0$$

Переменное электромагнитное поле создается токами и зарядами, зависящими не только от координат, но и от времени ($\rho = \rho(x,y,z,t), \delta = \delta(x,y,z,t)$), поэтому решение уравнений (4.7) и (4.8) в сферической системе координат может быть представлено в следующем виде:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi v} \int \frac{\delta(\vec{r}-\vec{r}/v)}{r} dV \tag{4.9}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon v} \int \frac{\rho(\vec{r}-\vec{r}/v)}{r} dV \tag{4.10}$$

Здесь $\delta(\vec{r}-\vec{r}/v)$ – значение вектора плотности тока в элементе объема dV в момент времени $(t - r/v)$, предшествующий моменту времени t , в который определяется векторный потенциал; $\rho(\vec{r}-\vec{r}/v)$ – значение объемной плотности заряда в момент времени $(t - r/v)$, предшествующий моменту времени t , в который определяется U .

В связи с этим скалярный U и векторный \vec{A} потенциалы, выраженные формулами (4.9) и (4.10), называются электродинамическими запаздывающими потенциалами.

Наиболее часто понятие запаздывающих потенциалов используются в радиотехнике при рассмотрении вопросов, связанных с изучением электромагнитной энергии.

4.2. Излучение электромагнитных волн

Всякая электрическая цепь, по которой протекает переменный ток, может излучать электромагнитные волны. Эти волны, распространяясь в диэлектрике, окружающем источник, переносят определенную энергию. Излучаемая энергия зависит от амплитуды и частоты тока, от конфигурации цепи и от свойств диэлектрика, окружающего источник.

Для промышленной частоты $f = 50 \text{ Гц}$ излучаемая мощность мала. Мощность излучения необходимо учитывать, начиная с частоты $f = 0.1 \text{ МГц}$ и выше (радиочастоты).

С учетом последних выражений перепишем формулы (4.11) – (4.13):

$$\frac{v^2}{r^2} q = - \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 \omega \text{Im} \cos \omega \left(t - \frac{r}{v} \right)$$

Получаем:

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \omega \text{Im} \cos \omega \left(t - \frac{r}{v} \right); \quad \frac{v}{r} i = \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \omega \text{Im} \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right);$$

$$\frac{\omega r}{v} = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

Замечая, что

Здесь ω – угловая частота колебаний ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$).

$$i = \text{Im} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right)$$

ток:

Рассмотрим случай, когда по проводнику протекает синусоидальный ток:

излучаемой диполем также как в плоской волне, напряженность электрического поля перпендикулярна вектору магнитной индукции.

Наконец, с учетом того, что α, A_0 и U не зависят от $\alpha, E_0 = 0$.

Таким образом, можно сделать вывод, что в электромагнитной волне,

$$E_\phi = \frac{\mu \sin \phi}{4\pi r} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \tag{4.13}$$

или

$$E_\phi = \frac{\partial A_\phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{4\pi r} \int \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \mu \sin \phi \, dV \right) = \frac{1}{4\pi r} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \mu \sin \phi \, dV \right)$$

$$E_r = \frac{1}{4\pi r^2} \cos \phi \left(2i - \frac{2q}{v} \right) = \frac{2\mu \cos \phi}{4\pi r^2} \left(\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial q}{\partial t} \right) \tag{4.12}$$

электрического поля можно переписать в следующем виде:

Так как $1/(r^2) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \right)$, то первое слагаемое и первый член в скобках о-о хзакбо, и выражение для радиальной составляющей напряженности

$$E_r = \frac{1}{4\pi r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \mu \sin \phi \right) + \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\partial q}{\partial t} \mu \sin \phi$$

и тогда

Рассмотрим электрическую цепь синусоидального тока, изображенную на рис. 4.1, а.

Пусть при действии ЭДС e в контуре 1, ток в контуре 2 равен i , а напряжение на емкости равно u . Тогда энергии магнитного и электрического полей будут определяться выражениями

$$W_m = Li^2/2; \quad W_0 = Cu_0^2/2.$$

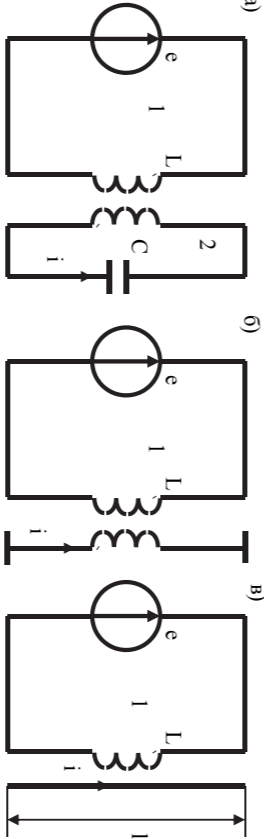


Рис. 4.1

Энергия пульсирует с частотой, равной удвоенной частоте тока. Часть этой энергии распространяется со скоростью $v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$ в окружающем пространстве (с параметрами ϵ и μ).

Контур 2 можно видоизменить так, как показано на рис. 4.1, б и рис. 4.1, в. Следовательно, прямолнейный провод длиной l , по которому протекает переменный ток, может излучать электромагнитные волны. Такой провод представляет собой простейшую антенну. Часто простейшую антенну, по которой протекает синусоидальный ток, называют элементарным вибратором.

Электромагнитное поле, излучаемое вибратором, полностью аналогично полю, создаваемому излучающим диполем. Под излучающим диполем понимаем отрезок линейного провода с сосредоточенными на концах его емкостями в виде шаров (рис. 4.2).

Рассмотрим поле такого излучающего диполя. При этом будем полагать, что длина диполя l много меньше длины волны λ . Предположим также, что вся емкость такого вибратора есть емкость между сферами и что соединительный проводник обладает только индуктивностью.

При возникновении колебаний в данной системе переменный ток в каждый момент времени имеет одно и то же значение вдоль всего проводника.

Такой вибратор на расстояниях r от него, намного превышающих l , можно рассматривать как диполь с переменным электрическим моментом.

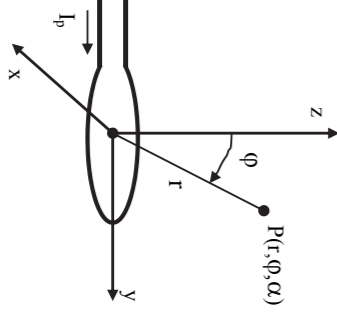


Рис. 4.4

магнитного поля в произвольной точке P, находящейся в дальней зоне, созданных рамкой с током (которая и называется вибратором):

$$\dot{E}_r = \dot{E}_\phi = \dot{H}_\alpha = \dot{H}_r = 0.$$

$$H_\phi = j \frac{I_M l}{2lZ_0} \sin \phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r}; \tag{4.23}$$

$$\dot{E}_\alpha = -j \frac{I_M l}{2r\lambda} \sin \phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r}; \tag{4.22}$$

$$H_\phi = -\frac{I_M j}{2\pi\omega r^3} e^{-j\beta r} \sin \phi.$$

$$\dot{E}_\alpha = -\frac{I_M l}{4\pi r^2} e^{-j\beta r} \sin \phi; \quad \dot{H}_r = -\frac{I_M j}{2\pi\omega r^3} e^{-j\beta r} \cos \phi;$$

В дальней зоне, где можно пренебречь составляющими, пропорциональными $1/r^2$ и $1/r^3$, напряженности полей элементарного магнитного вибратора равны:

В ближней зоне преобладают составляющие электрического поля, меняющаяся пропорционально $1/r^2$, и составляющие магнитного поля, пропорциональные $1/r^3$. В соответствии с этим, для ближней зоны можно оставить только последние члены в выражениях для E_α , H_ϕ и H_r :

$$H_r = 0; \quad E_\alpha = H_\alpha; \quad E_r = H_r; \quad E_\phi = H_\phi; \quad \dot{H}_r = -\frac{I_M j}{2\pi\omega r^3} e^{-j\beta r} \cos \phi;$$

$$E_r = \frac{\pi S_p I_p Z_0}{r\lambda^2} \sin \phi \sin \omega t \left[\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r \right]$$

Комплексные амплитуды напряженности электрического и магнитного полей можно представить следующим образом:

$$\dot{E}_\alpha = \frac{\pi S_p I_p Z_0}{r\lambda^2} \sin \phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r}; \tag{4.24}$$

$$\dot{H}_\phi = -\frac{\pi S_p I_p}{r\lambda^2} \sin \phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} r}. \tag{4.25}$$

Здесь S_p – площадь, ограниченная контуром рамки.

Рассмотрим теперь связь между реальным током I_p , который протекает в рамке и магнитным током I_M , которого на самом деле в природе не существует. Введение в рассмотрение этого фиктивного тока целесообразно только потому, что с его помощью сложные поля излучения можно характеризовать, как это показано выше, формулами, аналогичными выражениям, представляющим известные поля электрических диполей. Магнитный ток можно физически реализовать контуром тока с изменяющимся во времени магнитным моментом M_M , который определяется через ток при помощи следующего соотношения:

$$M_M(t) = \mu I_p(t) S_p.$$

Магнитный момент, также как момент электрического диполя можно считать через фиктивные электрические заряды Q_M , если ввести в рассмотрение магнитный диполь (рис. 4.5).

В этом случае магнитный момент будет равен:

$$M_M = Q_M l.$$

Если заряды изменяются во времени, то так же как в электрическом диполе будет протекать электрический ток, в магнитном диполе будет протекать магнитный ток, пропорциональный скорости изменения зарядов во времени:

$$I_M(t) = \partial Q_M(t) / \partial t = (\partial M_M(t) / \partial t) / l = \mu S_p [\partial I_p(t) / \partial t] / l.$$

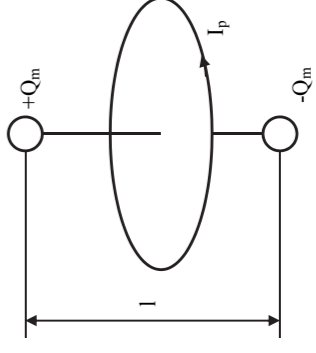


Рис. 4.5

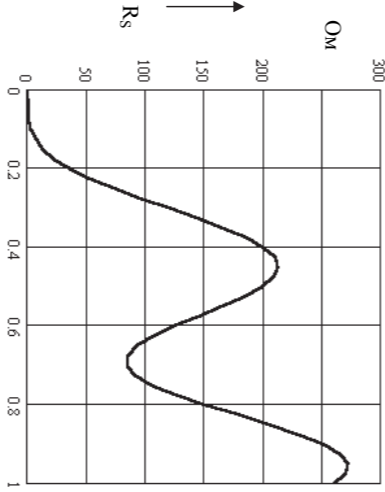


Рис. 4.16

Заметим, что для увеличения емкости, а следовательно, и проходящего по ней тока (мощности излучения) при том же напряжении генератора антенну часто дополняют горизонтальными участками. Однако, эти горизонтальные участки практически мало излучают энергию, так как токи в действующих горизонтальных проводах и в их зеркальных изображениях направлены в противоположные стороны.

Пример 4.1. Рассмотрим расчет напряженности электрического и магнитного поля в дальней зоне для антенны, имеющей мачту высотой 100 м, излучающей электромагнитное поле в гектометровом диапазоне при $\lambda = 400$ м мощностью 100 кВт.

Пусть ток вдоль антенны распределен синусоидально и определяется выражением (4.31). В этом случае сопротивление излучения определяется с помощью формулы (4.44) или с помощью графика (рис. 4.16) при $l/\lambda = 0.25$, а затем (для учета влияния земли) делится пополам. Таким образом, сопротивление $R_s = 36.565$ Ом. После этого, с помощью выражения (4.43), находим амплитудное значение тока $I_0 = 73.96$ А.

Поскольку антенна расположена в воздухе, то волновое сопротивление среды $Z_0 = 120\pi = 377$ Ом.

Примем расстояние, на котором будем определять напряженность, равным 5000 м, а угол $\psi = 0$ (рис. 4.11). В этом случае модуль напряженности электрического поля (определяется по формуле (4.37)) будет равен 0.888 В/м, а модуль напряженности магнитного поля $H = E / Z_0 = 0.00235$ А/м.

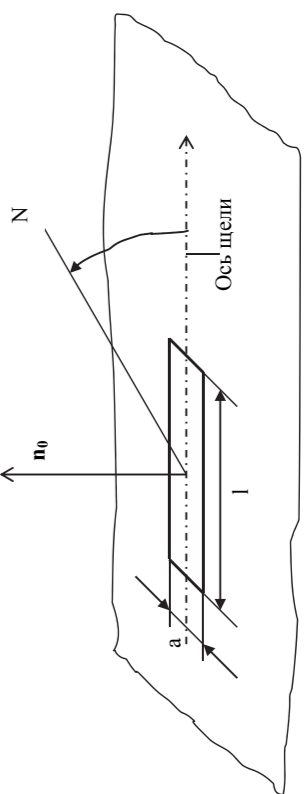


Рис. 4.8

где l – длина щели; φ – угол между лучом, проведенным в точку наблюдения N , и осью щели (рис. 4.8).

$$H_{\varphi} = j \frac{\dot{E}_0 a l}{r \lambda Z_B} \sin \varphi e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} r} \quad (4.27)$$

$$\dot{E}_{\alpha} = j \frac{\dot{E}_0 a l}{r \lambda} \sin \varphi e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} r} ; \quad (4.26)$$

$$I_M = -L \dot{E}_0,$$

где L – периметр, равный $2a$ (a – ширина щели), поэтому:

В частности, составляющие напряженности поля в дальней зоне выражаются формулами (4.22) и (4.23), в которых под I_M следует подразумевать по аналогии с элементарным магнитным вибратором величину:

того вибратора.

зависимых элементарным щелевым вибратором в каждой точке пространства, выражается соответствующими формулами для магнитного вибратора.

Щель характерна тем, что на ее поверхности имеется тангенциальное электрическое поле и отсутствует тангенциальное магнитное поле. Таким образом, на поверхности щели создаются условия, характерные для элементарного магнитного вибратора. Поэтому **напряженность полей, создаваемых элементарным щелевым вибратором в каждой точке пространства, выражается соответствующими формулами для магнитного вибратора.**

Предположим, что проводимость листа равна бесконечности и что вдоль длины щели напряженность электрического поля одинакова по величине и фазе и равна E_0 . Последнее может быть достигнуто практически путем выполнения щели аналогично диполу Герца (рис. 4.7), или же если щель представляет собой элемент щелевого вибратора конечных размеров.

| Диапазон частот, Гц | Длина волны, м | Название | Международный номер |
|---------------------|------------------|----------------------------|---------------------|
| $(30 - 300)10^3$ | $(100 - 10)10^3$ | Длинные волны (ЛВ) | 5 |
| $(0.3 - 3)10^6$ | 1000 - 100 | Средние волны (СВ) | 6 |
| $(3 - 30)10^6$ | 100 - 10 | Короткие волны (КВ) | 7 |
| $(30 - 300)10^6$ | 10 - 1 | Ультракороткие волны (УКВ) | 8 |
| $(0.3 - 300)10^9$ | 1 - 0.001 | Микроволны (СВЧ) | 9 - 11 |

Старая классификация радиочастот

Таблица 4.2

4.3.1. Принцип действия и расчет электромагнитного поля простейшей антенны

Самыми мощными и опасными источниками электромагнитных излучений, как для здоровья людей, так и для различного оборудования, являются антенны.

Поэтому при проектировании радио- и телестанций и их антенного оборудования необходимо проводить расчет уровней ЭМП как в здании станции (на рабочих местах), так и в окружающем пространстве, определять СЗЗ, а в процессе эксплуатации вести постоянный контроль над уровнем напряженности электрических и магнитных полей.

Антенна (от лат. слова *antenna* – мачта, рей) – устройство, предназначенное для непосредственного излучения электромагнитных волн.

Простейшая антенна представляет собой отрезок провода высотой h , расположенный вертикально по отношению к поверхности земли. Между антенной и землей включают генератор высокой частоты (рис. 4.9). Влияние земли на поле учитывают, вводя в расчет зеркальное изображение антенны (полагая, что земля является идеальным проводником). При этом длина антенны оказывается равной $2h$, в середине которой включен генератор высокой частоты (рис. 4.10) и которая расположена в однородной среде (земля отсутствует).

За счет наличия распределенных емкостей антенны и токов смещения, ток по высоте антенны изменяется. Однако всегда можно разделить антенну на элементарные отрезки, в пределах которых ток можно считать одинаковым в каждый данный момент времени. Эти отрезки с переменным во времени током $i(t)$ представляють собой не что иное, как элементарные вибраторы (диполи). При этом электромагнитное поле всей антенны определяется путем наложения полей всех диполов.

Здесь следует отметить, что все эти диаграммы действительны только в том случае, когда антенна расположена в пространстве вдали от других направлений, нормально оси антенны, отсутствует.

Рис. 4.14

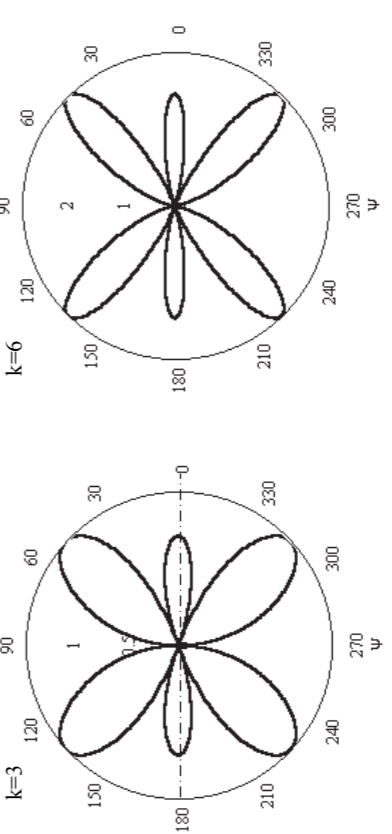


Рис. 4.15

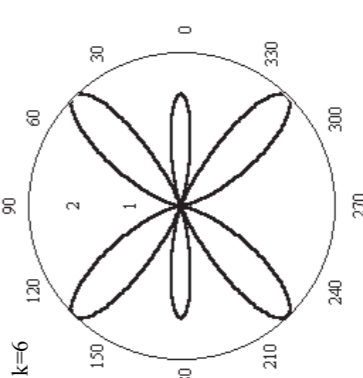


Рис. 4.13

Рис. 4.12

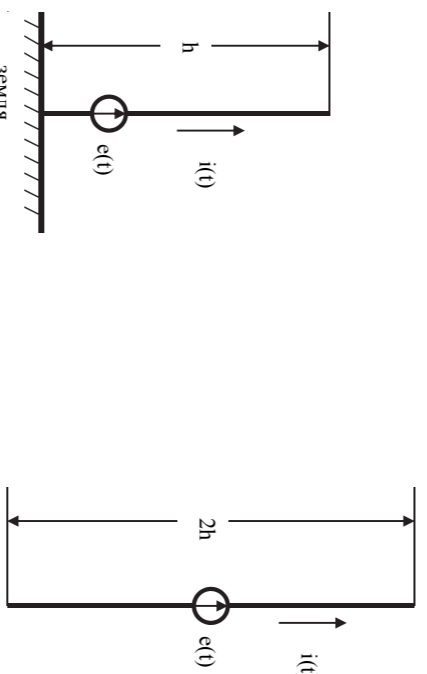
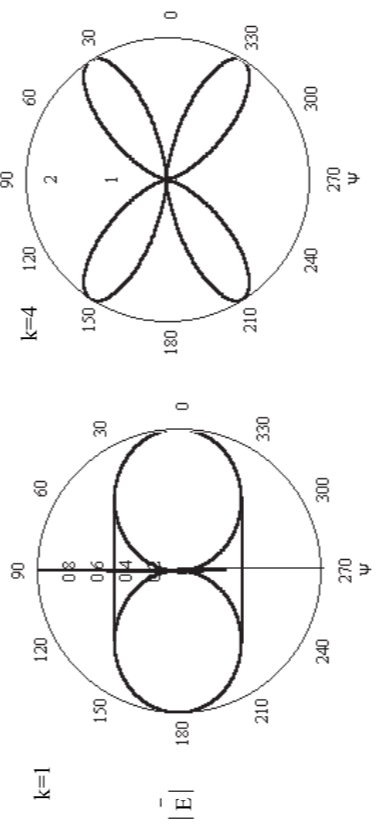


Рис. 4.9

Рис. 4.10

В качестве примера рассмотрим простейшую антенну, длина которой равна $2l$ ($l = h$), соизмерима с длиной волны и вдоль которой ток распределен синусоидально

$$i(z) = I_0 \sin[\beta(l - |z|)] \quad (4.31)$$

где I_0 – ток в пучности; l – длина плеча антенны (высота антенны, расположенной над поверхностью земли).

Совместим координатную ось Z с осью антенны, а начало координат оси Z – с серединой антенны (рис. 4.11).

Выделим на верхнем и нижнем плечах антенны симметрично расположенные элементы dz , находящиеся на равных расстояниях z от средней точки. Элементы провода dz представляют собой элементарные вибраторы.

Для электрического поля, создаваемого таким элементарным вибратором dz верхнего плеча антенны в произвольной точке P , расположенной на достаточно большом расстоянии (в дальней зоне), согласно (4.17) напряженность

$$d\dot{E}_{\varphi}^{(1)} = j \frac{i(z) dz Z_B}{2\lambda r} e^{-i\beta r} \cos \psi, \quad (4.32)$$

где $I(z)$ – ток в элементе dz ; r – расстояние от элемента dz до точки P ; $\psi = 0.5\pi - \varphi$ – угол между радиусом вектором $\vec{r} = r\vec{r}$, проведенным из начала координат в точку P , и плоскостью, перпендикулярной к оси вибратора.

$$E_{xr2lv} = \frac{-I_0}{2\lambda\epsilon_0 h} \int \left\{ \frac{\sin[\beta(1-|z|)] \cos\left(\beta\sqrt{(z-h)^2 + x^2}\right)}{[(z-h)^2 + x^2]} \sin\left(2\arctg \frac{x}{|z-h|}\right) dz \right\};$$

В промежуточной зоне, как было отмечено выше, нельзя пренебречь ни составляющими, пропорциональными $1/r$, ни составляющими, пропорциональными $1/r^2$ и $1/r^3$. Поэтому к значениям напряженности поля, определяемым выражениями (4.48) – (4.53), необходимо прибавить значения, рассчитываемые соответственно по следующим формулам:

Рис. 4.19

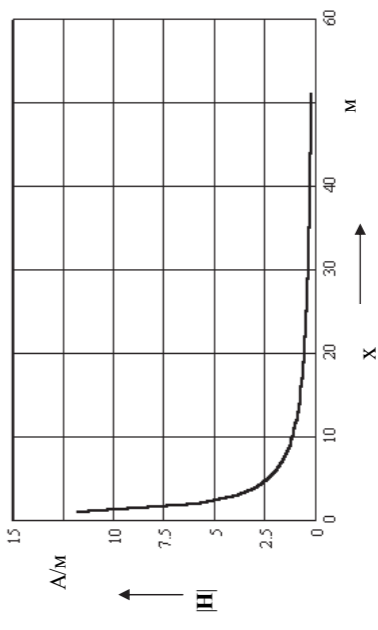
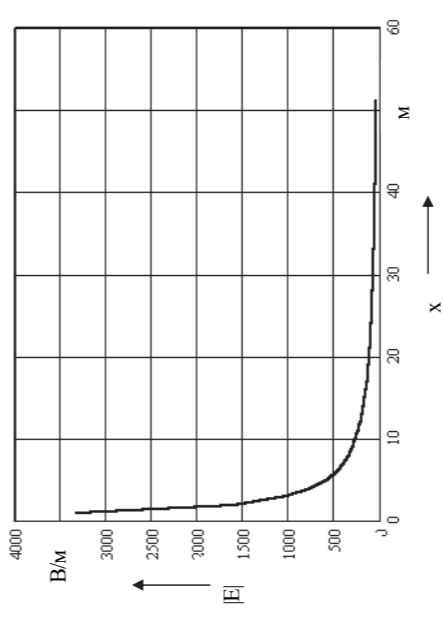


Рис. 4.18



4.3.2. Виды антенн

Антенны широко используются в таких отраслях, как телевидение, радиолокация, радиосвязь, радиоуправление, радиоастрономия, радионавигация, в различных ускорительных установках и т.п.

Антенна служит необходимым связующим звеном между электромагнитными волнами, распространяющимися в свободном пространстве, и ко-лебаниями, генерируемыми передатчиком или принимаемым приемником, указанных выше радиотехнических устройств. В большинстве случаев антенна служит одновременно и для приема и для передачи, но в специальных случаях для этого могут использоваться отдельные антенны.

В предыдущем подразделе был рассмотрен принцип действия простейшей антенны. На самом деле в зависимости от того, где они установлены, на какой частоте работают, для чего предназначены и т.д., антенны существенно отличаются друг от друга не только по мощности излучения, по размерам, по своему конструктивному исполнению, но и принципом действия.

Так, передающие антенны кило- и гектометрового диапазонов (ДВ, СВ) выполняются в виде антенн-мачт или антенн-башен. Основание антенны-башни крепится к земле с помощью изоляторов. Антенны-мачты поддерживаются в вертикальном положении небольшим числом оттяжек. Высота антенн-башен составляет обычно 60 – 200 м, а антенн-мачт – 60 – 350 м. Питание антенн-мачт (башен) с изолированным основанием осуществляется несимметричными концентрическими фидерными линиями, выполненными из проволочных цилиндров.

Рис. 4.27

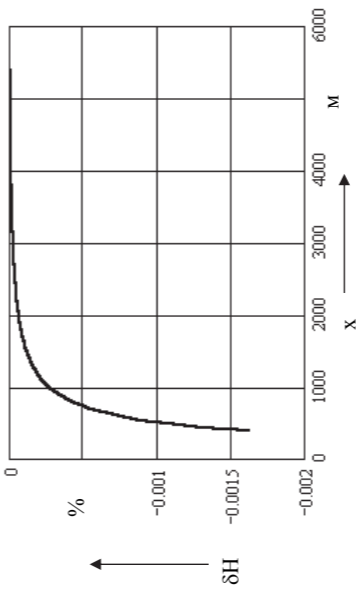


Рис. 4.20

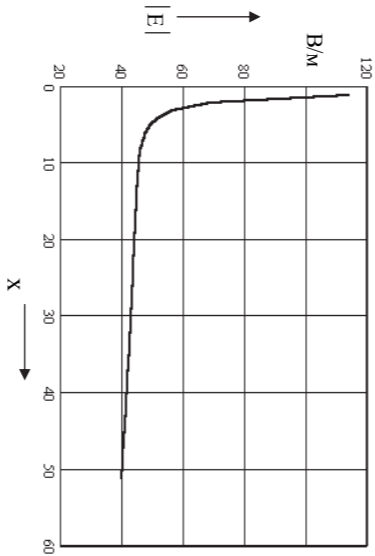


Рис. 4.21

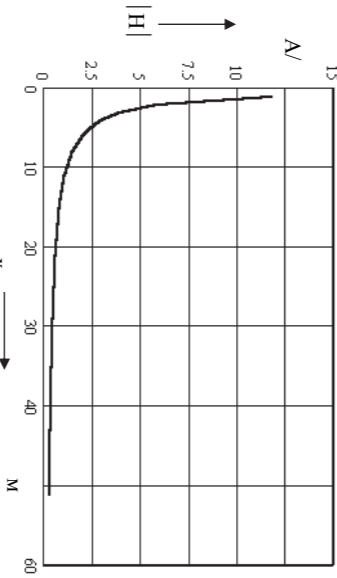
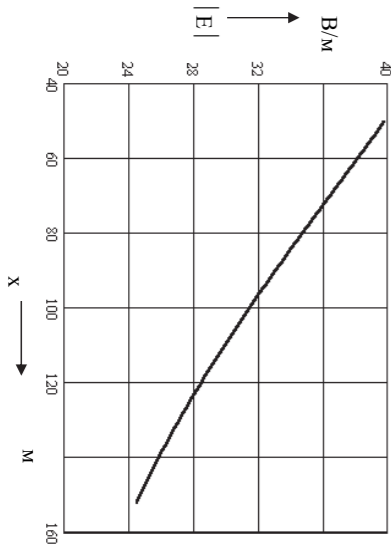


Рис. 4.22



$$E_{xy} = E_{xr1lv} + E_{xr2lv} + E_{xr21v} + E_{xr22v} + E_{xr1lv} + E_{xr2lv} + E_{xr21v} + E_{xr22v} + E_{xr31v} + E_{xr32v};$$

$$E_{xm} = E_{xr1m} + E_{xr2m} + E_{xr21m} + E_{xr22m} + E_{xr1m} + E_{xr2m} + E_{xr21m} + E_{xr22m} + E_{xr31m} + E_{xr32m};$$

$$E_{zv} = E_{zlv} + E_{zrv} + E_{zr2v} + E_{zr2v};$$

$$E_{zm} = E_{zlm} + E_{zrm} + E_{zr2m} + E_{zr3m}.$$

После расчета отдельных составляющих модуль напряженности электрического поля в промежуточной зоне определяется при помощи выражения (4.60).

Для расчета напряженности магнитного поля в промежуточной зоне необходимо к значениям, определяемым по формулам (4.61) – (4.62), прибавить значения, определяемые следующими выражениями:

$$H_{\alpha 2v} = \frac{I_0}{2\lambda_{-1}} \int \left\{ \frac{\sin[\beta(1-|z|)] \sin\beta\sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{[(z-h)^2 + x^2]^{0.5}} \sin\left[\arctg \frac{x}{|z-h|}\right] \right\} dz;$$

$$H_{\alpha 2m} = \frac{I_0}{2\lambda_{-1}} \int \left\{ \frac{\sin[\beta(1-|z|)] \cos\beta\sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{[(z-h)^2 + x^2]^{0.5}} \sin\left[\arctg \frac{x}{|z-h|}\right] \right\} dz;$$

Модуль напряженности магнитного поля определяется при помощи следующего выражения:

$$|H_{\alpha}| = \sqrt{(H_{\alpha v} + H_{\alpha 2v})^2 + (H_{\alpha m} + H_{\alpha 2m})^2}.$$

Пример 4.3. Проведем расчет напряженности электрического и магнитного поля для антенны, параметры которой заданы в примерах 4.1 и 4.2 по вышеприведенным выражениям и с учетом формул (4.48) – (4.62), то есть как для промежуточной зоны. Результаты расчета представим в виде графиков, показывающих, каким образом изменяется модуль напряженности электрического и магнитного полей вдоль оси X (рис. 4.20 – 4.25).

$$E_{z\phi 3m} = \frac{I_0 \pi}{\lambda^2 \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{z\phi 2m} = \frac{I_0}{\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{z\phi 3v} = -\frac{I_0 \pi}{\lambda^2 \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{z\phi 2v} = -\frac{I_0 \pi}{\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 32m} = \frac{I_0}{2\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 22m} = \frac{I_0}{2\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 32v} = -\frac{I_0}{2\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 22v} = -\frac{I_0}{2\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin^2 \left[\arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 31v} = -\frac{I_0 \pi}{2\lambda^2 \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 21v} = -\frac{I_0 \pi}{4\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 21m} = \frac{I_0}{2\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 31m} = \frac{I_0}{4\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

Таким образом, вещественная и мнимая составляющие, направленные вдоль осей x и z, соответственно равны:

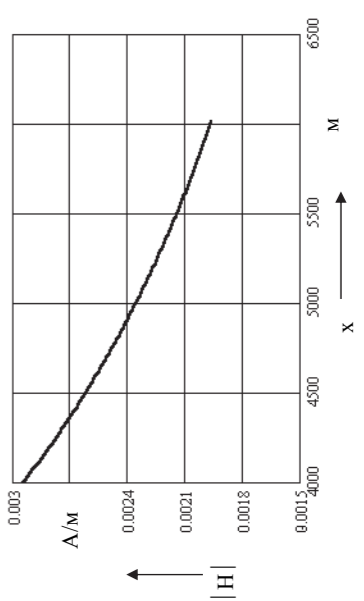


Рис. 4.25

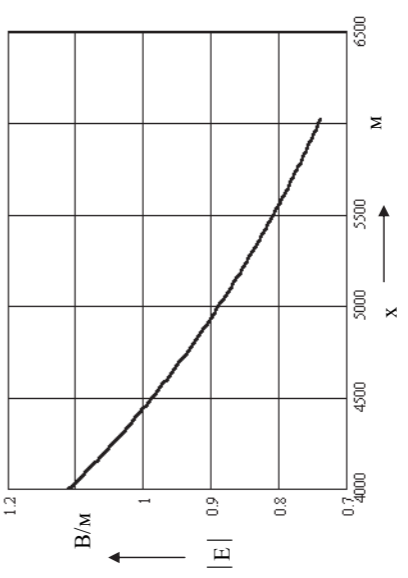


Рис. 4.24

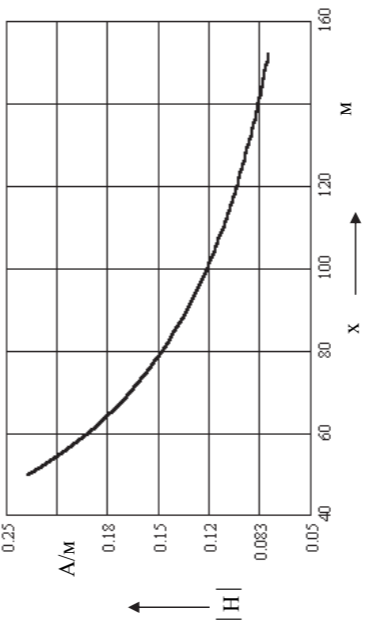


Рис. 4.23

Из сопоставления графиков, показанных на рис. 4.20 и 4.18, можно сделать вывод о том, что напряженность электрического поля, рассчитанная по полным формулам, существенно отличается от напряженности, определенной по выражениям, предназначенным для ближней зоны. Это связано с тем, что размеры антенны сопоставимы с длиной волны и поэтому даже вблизи антенны (при $x \ll \lambda$) вес всех слагаемых в формуле для расчета напряженности существенен.

Отметим, что на расстоянии 100 м (расстояние равно длине одного плеча антенны) модуль напряженности электрического поля равен 31.4 В/м, а напряженности магнитного поля – 0.118 А/м.

Сопоставляя результаты, представленные на последних двух рисунках при $x = 5000$ м с результатами, полученными в примере 3.1 (см. подраздел 3.1), можно сделать вывод о том, что как для электрического поля, так и для магнитного они полностью совпадают.

Для определения границы дальней зоны (там, где будет справедлива формула (4.37)) представим в виде графика (рис. 4.26) изменение вдоль оси x относительной ошибки, возникающей при определении модуля напряженности электрического поля по выражению (4.37) в сравнении с точной формулой.

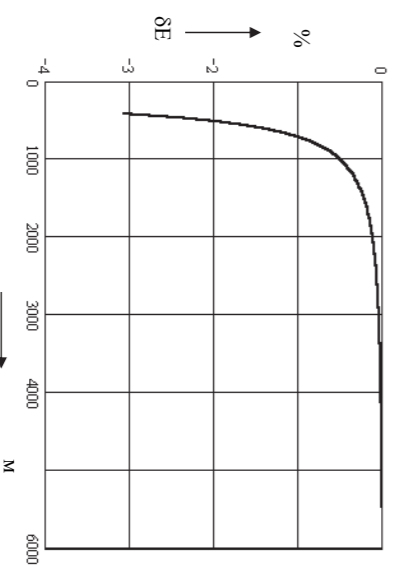


Рис. 4.26

Аналогично к значениям напряженности поля, определяемым выражениями (4.54) – (4.59), необходимо прибавить по два слагаемых, соответствующих соответственно по следующим формулам:

$$E_{x\phi 31v} = -\frac{I_0 \pi}{2\lambda^2 \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 21v} = -\frac{I_0 \pi}{4\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 21m} = \frac{I_0}{4\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \sin \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

$$E_{x\phi 31m} = \frac{I_0}{8\lambda \varepsilon \omega} \int_{-1}^{-1} \left\{ \frac{\sin[\beta(l-|z|)] \cos \beta \sqrt{(z-h)^2 + x^2}}{\sqrt{(z-h)^2 + x^2}} \sin \left[2 \arctg \frac{x}{|z-h|} \right] dz; \right.$$

реннии их характеристик более подробно.

Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора приволит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает на местности зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии (ППЭ). Наиболее неблагоприятные условия отмечаются в жилых районах городов, в черте которых размещаются аэропорты: Иркутск, Сочи, Сяктыгвар, Ростов-на-Дону и ряд других. Поскольку аэродромные радиолокаторы, как правило, находятся недалеко от санитарной зоны и являются достаточно мощными источниками излучения, то остановимся на рассмотрении их характеристик более подробно.

Радары метрологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ $\approx 100 \text{ Вт/м}^2$ за каждый пикс облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ $\approx 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшею, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м^2 . Сравнение уровней создаваемых радарами полей с другими источниками СВЧ-диапазона приведено на рис. 4.36 [12].

Радары метрологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ $\approx 100 \text{ Вт/м}^2$ за каждый пикс облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ $\approx 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшею, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м^2 . Сравнение уровней создаваемых радарами полей с другими источниками СВЧ-диапазона приведено на рис. 4.36 [12].

Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора приволит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает на местности зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии (ППЭ). Наиболее неблагоприятные условия отмечаются в жилых районах городов, в черте которых размещаются аэропорты: Иркутск, Сочи, Сяктыгвар, Ростов-на-Дону и ряд других. Поскольку аэродромные радиолокаторы, как правило, находятся недалеко от санитарной зоны и являются достаточно мощными источниками излучения, то остановимся на рассмотрении их характеристик более подробно.

Радары метрологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ $\approx 100 \text{ Вт/м}^2$ за каждый пикс облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ $\approx 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшею, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м^2 . Сравнение уровней создаваемых радарами полей с другими источниками СВЧ-диапазона приведено на рис. 4.36 [12].

4.3.4. Характеристики основных источников

Радары. Приведем краткие характеристики некоторых современных радиолокационных станций (РЛС), радиорелейных систем прямой видимости (РРСП ПВ), тропосферных радиорелейных систем передачи (ТРСРСП), спутниковых систем передачи (ССП) и др. [41, 51, 112].

Радиолокационные станции оснащены, как правило, антеннами зеркального типа и имеют узконаправленную диаграмму излучения в виде луча, направленного вдоль оптической оси.

Радиолокационные системы работают на частотах от 500 МГц до 15 ГГц, однако отдельные системы могут работать на частотах до 100 ГГц. Создаваемый ими ЭМ-сигнал принципиально отличается от излучения иных источников. Связано это с тем, что периодическое перемещение антенны в пространстве приводит к пространственной прерывистости облучения. Временная прерывистость облучения обусловлена циклическостью работы радиолокатора на излучение. Время наработки в различных режимах работы радиотехнических средств может исчисляться от нескольких часов до суток. Так, у метеорологических радиолокаторов с временной прерывистостью 30 мин излучение, 30 мин пауза, суммарная наработка не превышает 12 ч, в то время как радиолокационные станции аэропортов в большинстве случаев работают круглосуточно. Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости обычно составляет несколько градусов, а длительность облучения за период обзора составляет десятки миллисекунд.

Радары метрологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ $\approx 100 \text{ Вт/м}^2$ за каждый пикс облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ $\approx 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшею, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м^2 . Сравнение уровней создаваемых радарами полей с другими источниками СВЧ-диапазона приведено на рис. 4.36 [12].

Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора приволит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает на местности зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии (ППЭ). Наиболее неблагоприятные условия отмечаются в жилых районах городов, в черте которых размещаются аэропорты: Иркутск, Сочи, Сяктыгвар, Ростов-на-Дону и ряд других. Поскольку аэродромные радиолокаторы, как правило, находятся недалеко от санитарной зоны и являются достаточно мощными источниками излучения, то остановимся на рассмотрении их характеристик более подробно.

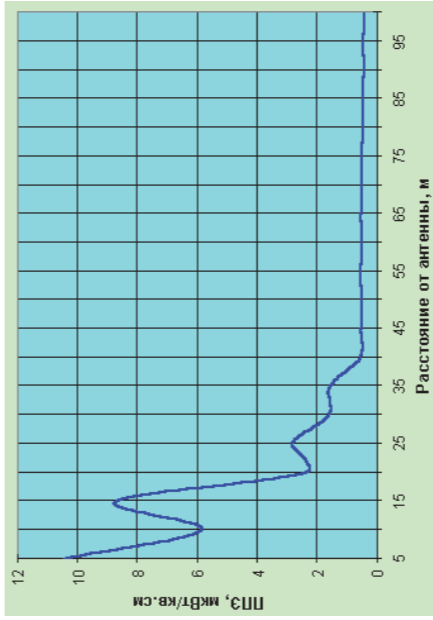


Рис. 4.39

Таблица 4.5

Характеристики антенны спутниковой связи

| | |
|---|-----|
| Высота расположения антенны над землей, м | 4,8 |
| Диаметр антенны, м | 5,5 |
| Мощность, излучаемая антенной, Вт | 134 |
| Угол наклона антенны относительно горизонта, градус | 10 |
| Высота линии расчета плотности потока энергии, м | 2 |
| Азимут линии расчета плотности потока энергии, градус | 0 |

Таблица 4.6

Характеристики радиорелейных систем прямой видимости

| Тип РРСП | Средняя длина волны, см | Мощность передатчика одного ствола, Вт | Тип антенны | КНД, дБ |
|------------|-------------------------|--|-------------|---------|
| 1 Курс-2М | 15,8 | 1,6 | АДЭ-5 | 37,9 |
| 2 Курс-4 | 8,2 | 0,5 | РПА | 39,5 |
| 3 Курс-6 | 5,07 | 7,5 | РПА | 39,5 |
| 4 Курс-8 | 3,7 | 0,4 | АДЭ-2,5 | 44 |
| 5 Радуга-4 | 8,2 | 4 | РПА | 43 |
| 6 Ракита-8 | 3,7 | 0,6 | АДЭ-2,5 | 44 |

Радары метрологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ $\approx 100 \text{ Вт/м}^2$ за каждый пикс облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ $\approx 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшею, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м^2 . Сравнение уровней создаваемых радарами полей с другими источниками СВЧ-диапазона приведено на рис. 4.36 [12].

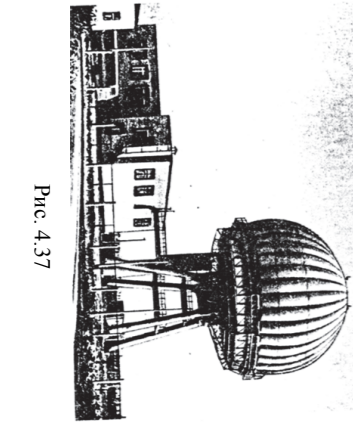


Рис. 4.37

В настоящее время в России в качестве трассовых обзорных радиолокаторов большой дальности (ОРД-Г, вариант А) используются радиолокационные комплексы «Скала-М», «Скала-МТР» и итальянские радиолокаторы АТСР-22 фирмы «Селения».

Радиолокационный комплекс «Скала-М» (рис. 4.37) предназначен для контроля и управления воздушным движением на трассах и в зонах подхода крупных аэроузлов.

Радиолокатор оборудован тремя приемопередатчиками, которые работают одновременно на трех различных фиксированных частотах. Первый приемопередатчик работает на частоте 1243 МГц, второй – 1299 МГц и третий – 1269 МГц.

Средняя мощность зондирующих импульсов каждого из передатчиков равна 3,6 кВт, длительность импульсов 3,3 мкс.

Радиолокационный комплекс «Скала-МТР» предназначен для работы на трассах со средней интенсивностью воздушного движения. Основные характеристики первичного канала комплекса приближительно соответ-

лослуживают в качестве источника энергии для питания различных устройств. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению использования возобновляемых источников энергии. В частности, солнечная энергия является одним из самых перспективных источников энергии.

или

С учетом этого решение можно записать в следующем виде:

Таким образом,

Постоянная интегрирования A_2 определяется исходя из физических соображений и равна нулю, поскольку поле должно затухать при увеличении координаты z до бесконечности.

Решая данное дифференциальное уравнение, получаем:

Здесь $\alpha = \dots$ и $\beta = \dots$ – комплексные амплитуды напряженности магнитного поля. Дифференцируя первое уравнение по z и используя второе, находим:

и

Очевидно, что при установлении ПДУ облучения документы должны отапливать критерий повреждающего действия, положенный в их основу и определяющий численное значение уровней нормируемых параметров.

В других государствах эти нормы могут быть отличными от приведенных выше. Так, в табл. 4.16 приведены предельно допустимые значения ПДУ для длительного и прерывистого облучения личного состава вооруженных сил США [73]. Здесь же приведены предельно допустимые значения и для других опасных факторов.

Таблица 4.16
Нормы допустимого излучения в США

| Воздействие излучения | Нормы допустимого излучения | Документ |
|--|--|--|
| Излучения СВЧ, опасные для личного состава | 100 Вт/м ² средняя мощность, длительность облучения 300 мДж/см ² за 30 с в среднем при прерывистом облучении | Техническая инструкция ВВС США, 31 Z-10-4 |
| Излучения СВЧ, опасные для личного состава | 10 мВт/см ² средняя мощность потока мощности излучения в течение интервалов времени длительностью от 0,1 ч и более. | Стандарт США «Безопасные уровни электромагнитного излучения по отношению к личному составу С95.1-1996» |
| Излучение СВЧ, опасные для РСМ | 5 Вт/см ² пиковая мощность | Техническая инструкция ВВС США, 31 Z-10-4 |
| Излучение СВЧ, опасные для боеприпасов | Расматривается только в каждом конкретном случае | |

Безопасным пределом энергии, поглощенной телом человека, по различным международным предписаниям (например, стандарт ФРГ VDE 0848, часть 2) принято считать величину 0,4 Вт/кг.

4.6. Электромагнитная совместимость

При проектировании новых источников электромагнитного поля, таких как радиолокационные станции, радиостанции, телевизионные станции и т.д., а также при модернизации находящихся в эксплуатации систем необходимо проводить тщательный анализ электромагнитной обстановки, который включает оценку возможного вредного влияния нежелательных сигналов на новые устройства или, наоборот, воздействие сигналов новых устройств на окружающие системы.

Большое значение имеет частота, энергия и мощность электромагнитного излучения. Низкоэнергетические электромагнитные поля могут быть также опасны, поскольку они оказывают постоянное воздействие на человека (в том числе и дома) и практически никак не нормированы. В настоящее время для того, чтобы особо подчеркнуть вредное воздействие от таких полей, введен в оборот такой термин, как «электросмог». При нахождении человека в области действия электросмоста, у него могут проявляться следующие симптомы [115]:

То же касается и отдельных частей тела (рис. 4.45). В целом специалисты выделяют следующие четыре системы, наиболее подверженные действию электромагнитного излучения: *нервную, иммунную, эндокринную и половую*. Отсюда диапазон заболеваний весьма широк – от **функциональных расстройств нервной системы до развития опухолей и лейкозов**. В обобщении Международной научной программы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по биологическому действию ЭМП, начатой в 1996 г. и продолжающейся до 2007 г., сформулировано следующее положение [115]: «Предполагается, что такие медицинские последствия, как заболевания раком, изменения в поведении, потеря памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, СПИД, синдром внезапной смерти внешне здорового ребенка и многие другие состояния, включая повышение уровня самоубийств, являются результатом воздействия электромагнитных полей».

Рис. 4.45

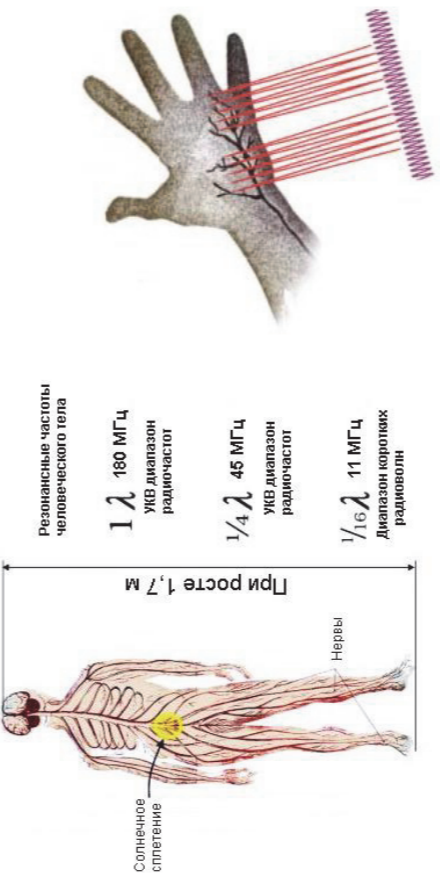


Рис. 4.44

4.4. Биологическое Действие Электромагнитного поля радиочастотного диапазона

Специфика воздействия электромагнитного излучения в основном объясняется различными значениями энергий квантов соответствующих частот. Энергия кванта $W_{кв}$ связана с частотой излучения f следующей зависимостью:

$$W_{кв} = h \cdot f,$$

где h – постоянная Планка, равная $6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Если энергию кванта измерять в электрон-вольтах, а длину волны излучения λ – в нанометрах, то последнее выражение можно представить в виде:

$$W_{кв} = 1240/\lambda.$$

Минимальная энергия кванта, способная вызвать ионизацию воды и атомов кислорода, водорода, азота и углерода, составляет 12...15 эВ [115].

Энергию кванта 12 эВ можно рассматривать как нижний предел ионизации для биологических систем. Этой энергии соответствует электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda = 100$ нм. В биологических системах поглощение квантов электромагнитного излучения неионизирующих уровней может приводить к диссоциации молекул при передаче энергии электронам связи, рассеянно энергии излучения в энергию колебательного, вращательного, поступательного движения молекул, т.е. в тепло.

Биологический эффект воздействия электромагнитного излучения на живые организмы зависит как от энергии квантов излучения, так и от длины проникающего электромагнитной волны в систему, способности участвующих в процессе взаимодействия молекул испытывать в результате поглощения энергии химические превращения, а также от других физических и биологических факторов.

Помимо всего прочего, человеческий организм состоит из токопроводящих тканей (например, нервная) и жидкостей (кровь, лимфа, межклеточная жидкость). Поэтому тело человека в целом, так же как и его отдельные органы, являются своеобразными резонаторами или антеннами. Резонансные эффекты возникают тогда, когда размер тела (или отдельных органов) равен длине волны λ или кратен $\lambda/4$, $\lambda/16$ и т.д. Таким образом, при росте человека 1.7 м все тело является резонатором для волн с частотами 180, 45 и 11 МГц (рис. 4.44 [115]).

Так, при проектировании радиотехнических сооружений и объектов для получения уровней излучения, не превышающих предельно допустимые, учитывают (организационные и технические мероприятия) их мощность и диапазон частот источников, конструктивные особенности, диа-

4.7. Защита от воздействия электромагнитных полей

При организации защиты окружающей среды от воздействия электромагнитных полей применяют те же способы и средства, что и при защите от воздействия электрических и магнитных полей – защита в помещениях; защита расстоянием; уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике излучения; защита с помощью экранирующих устройств и экранирующей одежды; использование организационных и технических мероприятий.

Так, при проектировании радиотехнических сооружений и объектов для получения уровней излучения, не превышающих предельно допустимые, учитывают (организационные и технические мероприятия) их мощность и диапазон частот источников, конструктивные особенности, диа-

Экранирование от переменного электромагнитного поля по своему принципу несколько отличается от аналогичного способа защиты от электромагнитного поля и постоянного магнитного поля. Поэтому рассмотрим этот способ несколько подробнее.

Для выяснения принципа действия экранов в переменном магнитном поле рассмотрим в начале плоскую электромагнитную волну в проводящей среде, в которой (при пренебрежении токами смещения) электромагнитное поле характеризуется следующей системой уравнений:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} = \gamma \vec{E}; \operatorname{rot} \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}.$$

Пусть плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в диэлектрике, подходит нормально к плоской поверхности, являющейся границей проводящей среды (рис. 4.46). Полагая, что напряженности электрического и магнитного полей не имеют составляющих, не зависящих от времени, а также учитывая то, что в плоской волне они являются функцией только одной координаты z (при данном расположении осей), последние уравнения можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_y}{\partial z} &= \gamma E_x; \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} &= -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}. \end{aligned} \quad (4.64)$$

Рассмотрим случай, когда напряженности электрического и магнитного полей изменяются во времени по закону:

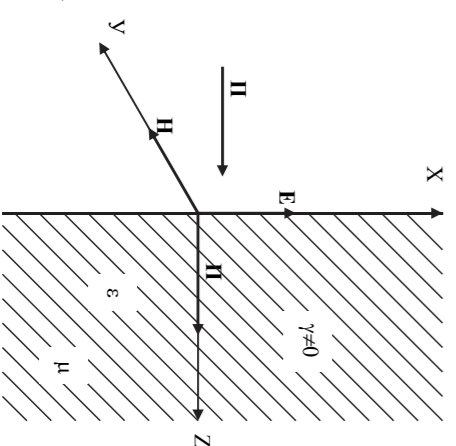


Рис. 4.46

При облучении глаз кролика энергия плотности от 0.12 до 0.9 Вт/см² образует катаракта при времени облучения соответственно от 270 до 5 мин [29]. При нагревании семенников всего на 1 °С возникает частичная или полная временная стерилизация, поэтому порог облучения для этого органа при длительном воздействии составляет 5 мВт/см².

Плохое перераспределение тепла между соседними тканями стало определяющим фактором в высокой чувствительности к СВЧ-излучению критических органов – тканей глаза и семенников.

При облучении глаз кролика энергия плотности от 0.12 до 0.9 Вт/см² образует катаракта при времени облучения соответственно от 270 до 5 мин [29]. При нагревании семенников всего на 1 °С возникает частичная или полная временная стерилизация, поэтому порог облучения для этого органа при длительном воздействии составляет 5 мВт/см².

Биологическое действие СВЧ-излучения на уровнях до 0.1...1 мВт/см² проявляется как в виде стимулирующего, так и вредного фактора, при воздействии полей выше 0.1 мВт/см² проявляются физиологические приспособительные реакции организма, при уровнях выше 10...100 мВт/см² – патологические.

Потери, возникающие при протекании токов проводимости и смещения в тканях, приводят к выделению тепла, обуславливая объемный нагрев вещества. Поэтому в этой области частот в качестве основного фактора принимается удельная мощность поглощения энергии.

Энергия одного кванта СВЧ-излучения равна $4 \cdot 10^{-6} \dots 1.2 \cdot 10^{-9}$ эВ. Такая энергия слишком мала и вне зависимости от общего числа поглощенных квантов не может привести к ионизации.

Область частот выше 30 МГц.

Область частот выше 30 МГц относится к СВЧ-диапазону.

Возрастает вероятность фибрилляции желудочка сердца, остановки сердечной деятельности, длительный спазм дыхательных мышц, серьезные ожоги клеток

| | | |
|---|---|-----------|
| Плотность наведенных токов J, мкА/см ² | Нет | 0.1 |
| Наблюдаемые эффекты | Мелькание световых кругов в глазах, аналогичное надавливанию на глазное яблоко | 0.1 |
| | Острые невралгические симптомы, подобные тем, что вызываются электрическим током проводимости, т.е. проявляются стимуляция сенсорных рецепторов и мышечных клеток | 0.5 – 10 |
| | Возрастает вероятность фибрилляции желудочка сердца, остановки сердечной деятельности, длительный спазм дыхательных мышц, серьезные ожоги | Более 100 |

Эффекты действия МПЭ в зависимости от плотности наведенных токов

Таблица 6.9

и имеет единицу измерения I (В/м)²ч, а ЭЭ, создаваемая магнитным полем, – по выражению

и измеряется в (А/м)²ч.

ЭЭ в диапазоне частот **300 МГц – 300 ГГц** рассчитывается по формуле $E_{нп} = H^2 \cdot T$

и имеет единицу измерения I мкВт·ч/м², где ППЭ – плотность потока энергии.

В последних формулах T – время воздействия в часах.

Допустимые уровни воздействия по энергетической экспозиции для лиц, которые работают или обучаются в зонах влияния источников электромагнитного поля в течение восьмичасового рабочего дня, представлены в табл. 4.11 (кроме лиц, не достигших 18 лет, и женщин в состоянии беременности; условия труда для этих уязвимых групп персонала будут рассмотрены отдельно в разделе 9).

Таблица 4.11

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции для 8-часового рабочего дня по СанПиН 2.2.4.1191-03 [80]

| Нормируемый параметр | Диапазон частот, МГц | | | |
|----------------------|------------------------|--------|---------|----------|
| | 0.03 – 3 | 3 – 30 | 30 – 50 | 50 – 300 |
| Значение | 0.03 – 3 | 3 – 30 | 30 – 50 | 50 – 300 |
| ЭЭ | (В/м) ² ч | 20000 | 7000 | 800 |
| ЭЭ _{нп} | (А/м) ² ч | 200 | 0.72 | - |
| ЭЭ _{нп} | мкВт·ч/см ² | - | - | - |
| | | | | 200 |

Максимальные допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, а также плотности потока энергии не должны превышать значений, представленных в табл. 4.12.

Таблица 4.12

| Параметр | Максимально допустимые уровни в диапазонах частот, МГц | | | |
|---------------------------|--|------------|-------------|--------------|
| | 0.03 – 3.0 | 3.0 – 30.0 | 30.0 – 50.0 | 50.0 – 300.0 |
| E, В/м | 500 | 300 | 80 | 80 |
| H, А/м | 50 | - | 3.0 | - |
| ППЭ, мкВт/см ² | - | - | - | 1000 |

В настоящее время в России предельно допустимые нормы приняты в несколько измененных, хотя также отличаются от тех, которые приняты в некоторых других странах.

| Страна | Диапазон частот излучения | ПДУ в принятой форме | Допустимое время облучения | Без ограничения | Без ограничения |
|---------------|---------------------------|--|----------------------------|---|---|
| Россия: | СВЧ | мВт/см ² | 1 | условий (ТВУ) турбулентности | Д _н = 0.1 – 1 мВт·ч/см ² (в зависимости от ТВУ) |
| Для населения | СВЧ | ППМ*, средняя за 6 мин, для тяжелых температурных условий, 1 мВт/см ² – для обычных | 10 МГц – 100 ГГц | Средняя за 6 мин, не должна превышать 10 мВт/см ² – для обычных условий, 1 мВт/см ² – для тяжелых температурных условий | Для кратковременных излучений нормируется шестиминутная доза |
| | УВЧ | В/м | 5 | 250000 | 5 мин |
| | ВЧ | В/м | 20000 | 20000 | 10 мин |
| | НЧ | В/м | 00051 | 00051 | ч 5.1 |
| | | В/м | 00001 | 00001 | ч 5 |
| | | В/м | 0005 | 0005 | |
| | | В/м | 5 | 5 | |
| | | В/м | 0001 | 0001 | |
| | | В/м | 001 | 001 | |
| | | В/м | 001 | 001 | |
| | | В/м | 001 | 001 | |
| | | В/м | 001 | 001 | |

Сравнение ПДУ для радиочастотного диапазона в разных странах

Таблица 6.15

в России и в других странах. В России предельно допустимые нормы приняты в несколько измененных, хотя также отличаются от тех, которые приняты в некоторых других странах.

Уровни электромагнитных полей, создаваемые антеннами базовых станций на территории жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений, не должны превышать следующих предельно допустимых значений [84]:

- в диапазоне частот (27 – 30) МГц – 10.0 В/м;
- в диапазоне частот (30 – 300) МГц – 3.0 В/м;
- в диапазоне частот (300 – 2400) МГц – 10.0 мкВт/см².

Таблица 4.13

| Нормируемые параметры | Диапазон частот, МГц | |
|---|----------------------|----------|
| | 27 – 30 | 30 – 300 |
| Предельно допустимое значение ЭЭ, (мкВт/см ²)ч | 7000 | 800 |
| Максимальный ПДУ | 296 В/м* | 80 В/м* |
| ПДУ для Т более 8 ч за смену | 30 В/м | 10 В/м |
| * в диапазоне частот 27 МГц ≤ f < 300 МГц – для T ≤ 0.08 ч; в диапазоне частот 300 МГц ≤ f ≤ 2400 МГц – для T ≤ 0.2 ч | | |

Уровни электромагнитных полей, создаваемые антеннами базовых станций на территории жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений, не должны превышать следующих предельно допустимых значений [84]:

- в диапазоне частот (27 – 30) МГц – 10.0 В/м;
- в диапазоне частот (30 – 300) МГц – 3.0 В/м;
- в диапазоне частот (300 – 2400) МГц – 10.0 мкВт/см².

ВДУ воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи (включая абонентские терминалы спутниковой связи) непосредственно у головы пользователя, не должны превышать следующих значений [79]:

- в диапазоне частот (27 – 30) МГц – 45.0 В/м;
- в диапазоне частот (30 – 300) МГц – 15.0 В/м;
- в диапазоне частот (300 – 2400) МГц – 100.0 мкВт/см².

В СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 [84] установлены уровни электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), безопасные для здоровья населения, и создаваемые ПРТО радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиолокации, радионавигационного диапазона (3 – 30 МГц) (табл. 4.14).

«Требования настоящих Санитарных правил не распространяются на средства сухопутной подвижной радиосвязи, включая абонентские терминалы спутниковой связи, средства морской, речной и воздушной подвижной радиосвязи, размещенные на подвижных объектах, во время движения» [84].

Обычно экраны выполняются таким образом, чтобы соблюдалось условие $|kR| \gg 1$, поскольку в противном случае действие экрана будет ничтожным. Поэтому в выражении для коэффициента экранирования (4.67) можно положить $k_1 = k$.

Существенно отметить, что внутреннее поле (внутри экрана) так же, как и внешнее поле, однородно и имеет то же направление.

Как видно из выражения (4.67), коэффициент экранирования представляет собой комплексное число и зависит также от радиуса экрана.

Экран не только оказывает экранирующее действие, но и влияет на внешнее поле в области вне экрана. Степень влияния определяется при помощи так называемого коэффициента обратного действия экрана W_3 . Например, если рассмотреть вышериведенный экран в цилиндрической системе координат, расположив оси координат так, как показано на рис. 4.48, то вне экрана ($r \geq R$) обе составляющие напряженности магнитного поля можно определить следующим образом:

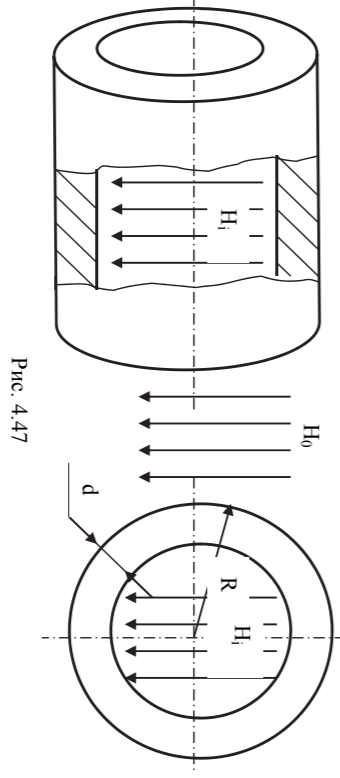


Рис. 4.47

где d – толщина стенки экрана; $k^2 = j\omega\mu\epsilon$; $k_1 = \sqrt{k^2 + 1/R^2}$; R – наружный радиус экрана; j – мнимая единица; $K_1 = k_1 R \mu_0 / \mu$.

$$K_2 = \frac{1}{\operatorname{sh}(k_1 d) + \frac{1}{2} \left(K_1 + \frac{1}{K_1} \right) \cdot \operatorname{sh}(k_1 d)}, \quad (4.67)$$

В реальных экранах коэффициент экранирования зависит не только от параметров материала (удельной проводимости γ и магнитной проницаемости μ), частоты и толщины стенок, но и от других конструктивных особенностей. Так, например, если поместить бесконечно длинный цилиндрический экран в поперечное однородное магнитное поле (рис. 4.47), то можно получить следующее выражение для коэффициента экранирования:

$$H_y = H_{me} e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi)$$

Используя уравнения (4.65), найдем выражение для определения напряженности электрического поля:

$$\dot{E}_m = \frac{1}{\gamma} (1 + j) k H_{me} e^{-kz} e^{-jkz}$$

или

$$E_x = \sqrt{\frac{\omega \mu}{\gamma}} H_{me} e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi) H_0 e^{-kz} \sin(\omega t + \psi)$$

Волновое сопротивление определяется как отношение комплексных амплитуд напряженности электрического поля к напряженности магнитного поля и оказывается комплексной величиной:

$$Z = \frac{\dot{E}_m}{\dot{H}_m} = \frac{(1 + j)k}{\gamma} = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\gamma}}$$

Как видно из полученных выражений для напряженности магнитного и электрического поля, амплитуды этих величин по мере проникновения электромагнитной волны вглубь проводящей среды убывают по показательному закону. Кроме того, начальная фаза колебаний изменяется пропорционально z .

Длиной волны λ называется то расстояние, которое проходит электромагнитная волна и на котором фаза напряженности электрического или магнитного поля изменяется на угол 2π . Исходя из данного определения и используя выражение для мгновенных значений напряженности поля, легко найти выражение для расчета длины волны

$$k\lambda = 2\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} = 2\sqrt{\pi} \sqrt{\frac{1}{\omega \mu \gamma}}. \quad (4.66)$$

Отношение амплитуд напряженности поля на расстоянии, равном длине волны ($z = \lambda$) от поверхности среды к их значениям на поверхности ($z = 0$), равно:

$$e^{-k\lambda} = e^{-2\pi} = 0.00185,$$

то есть на этом расстоянии волна практически затухает.

В табл. 4.17 приведены значения длины волны в различных веществах для частоты 50 и 500000 Гц.

– точки (площадки) для проведения измерений следует выбирать с интервалом не более 25 м – при удалении до 200 – 300 м от излучающей антенны; 50 – 100 м – при удалении от 200 – 300 до 500 – 1000 м; 100 м и более – при удалении более 1000 м.

4.8.2. Приборы для контроля электромагнитного поля

Измерение напряженности магнитного поля (или магнитной индукции) электрического поля или потока мощности излучения производится с помощью специальных приборов. Выбор того или иного прибора зависит от уровня измеряемого поля, от частоты, от места и от цели, с которой производится измерение.

Так, согласно требованиям СанПин 2.2.4.1191-03 [80], для измерения интенсивности ЭМП в диапазоне частот до 300 МГц используются приборы, предназначенные для определения среднеквадратического значения напряженности электрического и (или) магнитного поля с допустимой относительной погрешностью не более $\pm 30\%$.

Для измерений уровня ЭМП в диапазоне частот ≥ 300 МГц – 300 ГГц используются приборы, предназначенные для оценки средних значений плотности потока энергии с допустимой относительной погрешностью не более $\pm 40\%$ в диапазоне ≥ 300 МГц – 2 ГГц и не более $\pm 30\%$ в диапазоне свыше 2 ГГц.

При измерениях плотности потока энергии приборами с антеннами направленного действия, предназначенными для работы в дальней зоне излучения, антенны приборов не должны приближаться к месту выхода энергии на расстояние, меньшее, чем $r_{\min} = d^2/\lambda$, где d – наибольший геометрический размер приемной антенны; λ – длина волны излучения.

При измерениях электрической составляющей ЭМП необходимо соблюдать минимальное расстояние между дипольной антенной прибора и металлическими поверхностями (предметами), равное 50 см. При меньших расстояниях резко возрастает погрешность измерений.

Для измерения уровней напряженности магнитного и электрического поля широко применяются широкополосные приборы типа **НФМ-1**, которыми оснащены метрологические службы радиотехнических объектов и санитарно-эпидемиологических станций. Данные приборы, как было отмечено выше, могут применяться и для измерений уровней напряженности поля промышленной частоты. В частотном диапазоне 60 кГц – 300 МГц напряженность электрического поля измеряется в пределах от 4 до 1500 В/м. Напряженность магнитного поля измеряется в диапазоне 0,1 – 1,5 мГц в пределах 0,5 – 300 А/м. Погрешность всех измерений доходит до 25 %.

Таблица 4.17

Основные характеристики приборостроения

| Тип | Основная характеристика | Рабочий диапазон частот | Пределы измерения | Погрешность |
|------------------------------------|---|--|---|---------------|
| ПЗ-21 ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 | Измеритель напряженности поля с датчиками | Е: 10 кГц – 300 МГц; Н: 100 кГц – 300 МГц | Е: 1 – 1000 В/м; Н: 0,5 – 1000 А/м | $\leq 2,5$ дБ |
| ПЗ-22 | Измеритель напряженности поля | Е и Н: 10 кГц – 300 МГц | Е: 1 – 3000 В/м; Н: 0,3 – 500 А/м | $\leq 2,5$ дБ |
| ПЗ-23 | Измеритель плотности потока энергии | 37,5 – 118 ГГц | 0,5 – 2000 мкВт/см ² | То же |
| ПЗ-22/1 | Измеритель напряженности поля | Е: 0,01 – 300 МГц; Н: 0,0150 – 50 МГц | Е: 1 – 1000 В/м; Н: 0,3 – 60 А/м | То же |
| ПЗ-22/2 | Измеритель напряженности поля | Е: 0,01 – 300 МГц; Н: 0,0130 – 30 МГц | Е: 30 – 3000 В/м; Н: 2 – 500 А/м | То же |
| ПЗ-22/3 | Измеритель напряженности поля | Е: 0,01 – 1000 МГц; Н: 0,01 – 300 МГц | Е: 1 – 100 В/м; Н: 0,1 – 40 А/м | То же |
| ПЗ-22/4 | Измеритель напряженности поля | Е: 0,01 – 300 МГц; Н: 0,01300 МГц | Е: 1 – 3000 В/м; Н: 0,1 – 500 А/м | То же |
| ПЗ-18, ПЗ-19, ПЗ-20 | Измерители плотности потока энергии | 0,3 – 39,65 ГГц | 0,32 мкВт/см ² – 100 мВт/см ² | То же |

4.8.3. Проведение измерений

При проведении измерений должны соблюдаться следующие условия [39]:

- температура окружающей среды 293 ± 5 К (20 ± 5 °С);
- атмосферное давление 100 ± 4 кПа (750 ± 30 мм рт. ст.);
- относительная влажность воздуха 65 ± 15 %.

Измерительные комплекты должны быть исправны и иметь действующее свидетельство о поверке.

При проведении измерений интенсивности ЭМП в помещениях жилых и общественных зданий (внешнее излучение, включая вторичное) измерения проводятся в центре помещений, у окон.

положения щели (угла α) по отношению к направлению силовых линий стороннего магнитного поля (рис. 4.49).

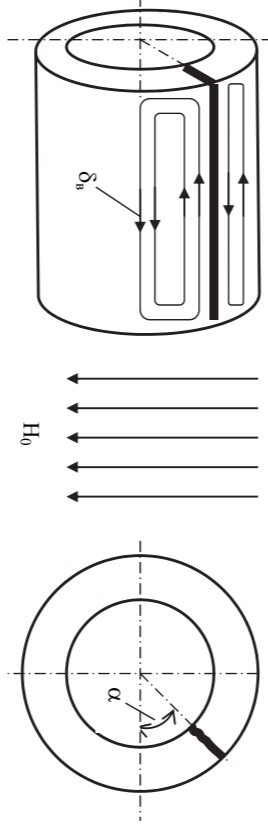


Рис. 4.49

Расчет поля и коэффициентов экранирования таких экранов достаточно сложен, поэтому часто используют экспериментальные методы.

В табл. 4.18 представлены характеристики некоторых материалов, которые используются для изготовления средств защиты от электромагнитных излучений в диапазоне частот 30 МГц – 40 ГГц.

Отметим, что на основе данных экранирующих материалов изготовлены средства индивидуальной защиты: очки защитные с металлизированными стеклами ОРЗ-5, ТУ 64-1-2717-81; шитки защитные листовые ГОСТ 12.4.023-84.

Экранирующее действие экранов обеспечивается не только за счет того, что электромагнитная волна ослабляется, как было показано выше, в проводящем слое экрана, но и за счет того, что электромагнитная волна частично отражается от поверхности экрана. Отсюда следует, что только часть мощности передается в экран, а остальная часть, равная мощности отраженной волны, возвращается. Рассмотрим этот процесс более подробно.

Пусть плоская электромагнитная волна φ_1 , бегущая от источника излучения, распространяется в среде, имеющей волновое сопротивление Z_1 (если это воздух, то $Z_1 = 377 \text{ Ом}$), подошла нормально (перпендикулярно) к поверхности экрана, который имеет волновое сопротивление Z_2 .

Обозначив напряженность электрического и магнитного поля в первой среде через E_1 и H_1 , а в экране – через E_2 и H_2 , на поверхности экрана имеем $E_1 = E_2$ и $H_1 = H_2$ (векторы напряженности как электрического, так и магнитного поля параллельны поверхности экрана, а угол между ними равен 90°).

| Наименование материала | ГОСТ, ТУ | Толщина, мм | Диапазон частот, Гц | Ослабление, дБ |
|--|------------------|-------------|---------------------|----------------|
| Листовая СтЗ | ГОСТ 19903-74 | 4 | 30 МГц – 40 ГГц | 100 |
| Фольга алюминиевая | ГОСТ 618-75 | 80,0 | " " | 80 |
| Фольга медная | ГОСТ 5638-75 | 80,0 | " " | 80 |
| Сетка стальная тканая | ГОСТ 5336-73 | 1,3 – 3,0 | " " | 30 |
| Радиозащитное стекло с одно- или двухсторонним полупроводниковым покрытием | ТУ 21-54-4141-73 | 6 | 30 МГц – 30 ГГц | 20 – 40 |
| Ткань хлопчатобумажная с микропро-никовым покрытием | ОСТ 17-28-70 | | " " | 20 – 40 |
| Ткань металлизированная «Восход» (полиамид + проволока) | ТУ 6-06-С202-90 | | 10 кГц – 30 ГГц | 40 – 65 |
| | | | 300 кГц – 30 МГц | 15 – 40 |

Таблица 4.18 Характеристики материалов для изготовления средств защиты

Предположим, что в экране до прихода волны из первой среды электромагнитная волна отсутствовала. Тогда непосредственно после прихода волны к поверхности экрана в экране может возникнуть лишь волна φ_2 , бегущая в том же направлении, что и волна φ_1 (именно затухание этой волны в проводящей среде мы и рассматривали выше), и называемая преломленной волной. В первой же среде, кроме волны φ_1 , называемой падающей волной, при $Z_1 \neq Z_2$ обязательно возникнет волна ψ_1 , бегущая в обратном направлении и называемая отраженной волной.

Поэтому, отмечая индексами φ_1 , ψ_1 и φ_2 соответственно падающие, отраженные и преломленные волны, на поверхности экрана имеем:

$$E_1 = E_{\varphi_1} + E_{\psi_1} = E_{\varphi_2} = E_2; \quad H_1 = \frac{E_{\varphi_1} - E_{\psi_1}}{Z_1} = \frac{E_{\varphi_2}}{Z_2} = H_2,$$

откуда

$$E_{\varphi_2} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} E_{\varphi_1}; \quad E_{\psi_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} E_{\varphi_1}; \quad (4.68)$$

$$H_{\varphi_2} = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1} H_{\varphi_1}; \quad H_{\psi_1} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1} H_{\varphi_1}.$$

Рассматривая поток мощности Π на поверхности экрана, имеем

$$\Pi = E_1 H_1 = E_2 H_2$$

или

- на этапе предупредительного санитарного надзора – при приемке радиотехнического объекта в эксплуатацию;
- на этапе текущего санитарного надзора – при изменении технических характеристик или режимов работы (мощности излучения, антенно-фидерного тракта, направлений излучения и т.п.);
- при изменении ситуационных условий размещения станций (изменение расположения антенн, фидеров, высот их установки, азимута или угла места максимального излучения антенн, изменение расположения передатчиков, застройки прилегающих территорий);
- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней электромагнитных полей;
 - в порядке плановых контрольных измерений (не реже одного раза в год);
- Не подлежат контролю (СанПиН 2.2.4.1191-03) [80] используемые в условиях производства источники ЭМП, если они не работают на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения в пространство, и их максимальная мощность не превышает:
 - 5,0 Вт – в диапазоне частот $\geq 30 \text{ кГц} - 3 \text{ МГц}$;
 - 2,0 Вт – в диапазоне частот $\geq 3 - 30 \text{ МГц}$;
 - 0,2 Вт – в диапазоне частот $\geq 30 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$.
- Измерения уровней ЭМП должны проводиться на высоте 0,5, 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя») и 0,5, 0,8 и 1,4 м (рабочая поза «сидя») от опорной поверхности с определением максимального значения напряженности электрического и магнитного поля или потока плотности энергии для каждого рабочего места.
- Контроль интенсивности ЭМП в случае локального облучения рук персонала необходимо также проводить на уровне кистей и середины предплечья.
- В случае, когда источником ЭМП является вращающаяся или сканирующая антенна, то контроль интенсивности этого поля должен осуществляться на рабочих местах и местах временного пребывания персонала при всех рабочих значениях угла наклона антенны.
- Измерения уровней ЭМП должны проводиться для всех рабочих режимов установок при максимальной используемой мощности. В случае измерений при неполной излучаемой мощности делается перерасчет (СанПиН 2.2.4.1191-03) [80] до уровня максимального значения путем умножения измеренных значений на соотношение W_{max}/W , где W_{max} – максимальное значение мощности, W – мощность при проведении измерений.

Инструментальный контроль уровней ЭМП проводится с целью определения фактического состояния электромагнитной обстановки в районах размещения излучающих средств.

Измерения в обязательном порядке проводятся [39, 40, 41]:

4.8. Инструментальный контроль уровней электромагнитных излучений

Инструментальный контроль уровней ЭМП проводится с целью определения фактического состояния электромагнитной обстановки в районах размещения излучающих средств.

Измерения в обязательном порядке проводятся [39, 40, 41]:

Средства защиты из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких ковриков, гибких или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной соответствующим составом, ферромагнитной пластины и т.п. Для защиты зданий их стены можно покрывать пористым бетоном с примесью графита, волосьяными мамами, пропитанными неопреном и угольной сажей, многослойными строительными материалами и т.д. Внешнюю поверхность объемных поглотителей часто покрывают шпалами (в форме конусов или пирамид).

Резонансные поглотители представляют собой композицию из чередующихся слоев диэлектрика и проводящих пленок металла. Слой диэлектрика выбирается таким образом, чтобы его толщина была равна одной четверти длины падающей электромагнитной волны или кратна нечетному числу $\lambda/4$. Принцип действия таких поглотителей основан на интерференции падающей волны и образовании в них стоячих волн.

Средства защиты из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких ковриков, гибких или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной соответствующим составом, ферромагнитной пластины и т.п. Для защиты зданий их стены можно покрывать пористым бетоном с примесью графита, волосьяными мамами, пропитанными неопреном и угольной сажей, многослойными строительными материалами и т.д. Внешнюю поверхность объемных поглотителей часто покрывают шпалами (в форме конусов или пирамид).

Средства защиты из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких ковриков, гибких или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной соответствующим составом, ферромагнитной пластины и т.п. Для защиты зданий их стены можно покрывать пористым бетоном с примесью графита, волосьяными мамами, пропитанными неопреном и угольной сажей, многослойными строительными материалами и т.д. Внешнюю поверхность объемных поглотителей часто покрывают шпалами (в форме конусов или пирамид).

Средства защиты из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких ковриков, гибких или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной соответствующим составом, ферромагнитной пластины и т.п. Для защиты зданий их стены можно покрывать пористым бетоном с примесью графита, волосьяными мамами, пропитанными неопреном и угольной сажей, многослойными строительными материалами и т.д. Внешнюю поверхность объемных поглотителей часто покрывают шпалами (в форме конусов или пирамид).

высоты 2 м. При этом расстояние до переносимых предметов (для частот 700 МГц – 300 ГГц) должно быть не менее [41] 0,5 м.

Измерение на рабочих местах проводят на расстояниях от источников электромагнитного поля, соответствующих нахождению тела работающих, на нескольких уровнях от поверхности пола или земли с определением максимального значения напряженности для каждого рабочего места.

Минимальное расстояние между измерительной антенной и металлическими поверхностями (для низко частотных, среднечастотных и высокочастотных излучателей) не должно быть [39] менее четырех максимальных размеров антенны, при размерах антенны не более 0,25 м.

В каждой точке контроля производится не менее трех измерений. Результатом является среднее арифметическое значение этих измерений.

Для того чтобы можно было провести измерение всех составляющих вектора напряженности поля, антенну измерительного прибора соответствующим образом ориентируют в пространстве, а затем проводят расчет модулей напряженности магнитного и электрического поля отдельно. Отметим, что некоторые приборы (ПЗ-15; ПЗ-16; ПЗ-17 и др.) позволяют сразу измерять модуль напряженности.

При необходимости измерения составляющих напряженности электрического и магнитного поля проводят, заменяя одну антенну, предназначенную только для измерения напряженности электрического поля, на другую специальную антенну, предназначенную для измерения напряженности магнитного поля.

При выборе измерительных антенн необходимо учитывать то, что санитарные зоны некоторых технических средств (например, таких как: радиорелейные системы передачи прямой видимости, тропосферная радиорелейная система передачи, спутниковая система передачи и т.д.) находятся в близкой зоне излучателей, в которой распределение плотности потока энергии имеет ярко выраженный неоднородный характер. Поэтому для измерения уровней ЭМП в этой зоне желательно использовать измерительные антенны с небольшой эффективной поверхностью.

Измерения уровней напряженности ЭМП проводят в каждой намеченной точке отдельно от каждого излучающего источника (антенны), для чего необходимо последовательно включать и выключать источник излучения. При этом необходимо учитывать положение фронта волны, производя ориентацию измерительной антенны на максимум принимаемого сигнала. В случае если используются комплекты из сегментных измерительных приемников (например, приемника типа SMU-11) и специальных антенн (например, малогабаритной антенны типа ОРТ-М, разработанной Самарским отраслевым НИИ радио), то измерение уровней компонент напряженности поля может проводиться без последовательного включения и выключения технических средств радиотехнического объекта.

Таким образом, при выборе измерительных антенн необходимо учитывать то, что санитарные зоны некоторых технических средств (например, таких как: радиорелейные системы передачи прямой видимости, тропосферная радиорелейная система передачи, спутниковая система передачи и т.д.) находятся в близкой зоне излучателей, в которой распределение плотности потока энергии имеет ярко выраженный неоднородный характер. Поэтому для измерения уровней ЭМП в этой зоне желательно использовать измерительные антенны с небольшой эффективной поверхностью.

Измерения уровней напряженности ЭМП проводят в каждой намеченной точке отдельно от каждого излучающего источника (антенны), для чего необходимо последовательно включать и выключать источник излучения. При этом необходимо учитывать положение фронта волны, производя ориентацию измерительной антенны на максимум принимаемого сигнала. В случае если используются комплекты из сегментных измерительных приемников (например, приемника типа SMU-11) и специальных антенн (например, малогабаритной антенны типа ОРТ-М, разработанной Самарским отраслевым НИИ радио), то измерение уровней компонент напряженности поля может проводиться без последовательного включения и выключения технических средств радиотехнического объекта.

Для разных видов трудовой деятельности устанавливается три категории тяжести и напряженности работы с вычислительной техникой (табл. 5.9), которые определяются: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводных знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с вычислительной техникой за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

Защита расстоянием заключается в том, что оператор должен находиться примерно на расстоянии вытянутой руки от экрана монитора. Оптимальным считается расстояние до экрана 60 – 70 см, но не ближе 50 см [68].

Обработка результатов измерения проводится в соответствии с следующими формулами [41]:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}; \quad H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2},$$

где H и E – суммарная напряженность магнитного и электрического поля определенного частотного диапазона; H₁, H₂, ..., H_n и E₁, E₂, ..., E_n – напряженность магнитного и электрического поля, создаваемая каждым источником в одном частотном диапазоне.

При измерении плотности потока излучения и обработке данных от нескольких антенн излучающего объекта необходимо руководствоваться требованиями действующих санитарных норм.

По результатам измерений составляется протокол. Формы протоколов могут утверждаться главным государственным санитарным врачом по республике (республик в составе Российской Федерации), краю, области, городам Москва и Санкт-Петербург. В протоколе обязательно должны содержаться следующие данные:

- номер и дата протокола;
- наименование и адрес объекта (предприятия, учреждения, организации, территории);
- наименование подразделений (помещений);
- наименование и основные технические характеристики источников ЭМП (частота или диапазон частот, максимальная и используемая мощность, заводской номер, год выпуска, режим генерации, время работы на излучение и подтверждающие документы);
- описание излучающих элементов;
- наименование и краткое описание технологического процесса;
- описание точек измерений с эскизом (при необходимости);
- результаты измерений;
- наименования и заводские номера средств измерений, номера и срок действия свидетельства о поверке;
- краткое заключение (выводы) о соответствии или несоответствии условий работы (обучения, быта, отдыха) с источниками ЭМП санитарно-гигиеническим требованиям с указанием нормативного документа;
- подписи лица, проводившего измерения, и руководителя специализированного подразделения центра Госсанэпиднадзора.

Результаты измерений заносятся также в санитарный паспорт объекта и служат основанием для уточнения расчетных границ санитарно-защитной зоны, а также для определения участков территории, подверженных вторичному излучению. Такими участками являются места с уровнем поля, превышающим предельно допустимый, вблизи переизлучателей (ДЭП, линий связи и т.д.).

Рекомендуемая продолжительность работы с ПЭВМ

| Категория пользователей ПЭВМ | Продолжительность работы на ПЭВМ в течение дня | |
|------------------------------|--|-------------|
| | общая | непрерывная |
| Взрослые | ч 2 ОтД | ч 2 ОтД |
| Студенты | ч 2 – 1 | ч 2 – 1 |
| Школьники | ч 30 – 01 | ч 2 – 1 |
| Дети дошкольного возраста | - | - |

Таблица 5.8

несенных заболеваний в течение двух недель продолжительность занятий с ЭВМ должна быть сокращена для детей 5 лет до 7 мин, для детей 6 лет – 10 мин.

Для преподавателей общеобразовательных учреждений, учреждений начального и высшего профессионального образования длительность работы в дисплейных классах и кабинетах информатики должна быть не более 4 ч в день.

Для инженеров вузов, обслуживающих учебный процесс в кабинетах (аудиториях) с ЭВМ, продолжительность работы не должна превышать 6 ч в день.

В настоящее время появились новые показатели напряженности труда – наблюдение за экранами видеотерминалов [68]. Оптимальным считается время наблюдения до 2 ч в смену, допустимым до 3 ч. Время наблюдения свыше 3 ч – это напряженность (вредность) первой степени, а свыше 4 ч – это напряженность второй степени. Работа за монитором больше этого времени не допускается.

В общем оценка тяжести и напряженности трудового процесса пользователей вычислительной техники проводится по методикам, изложенным в руководстве Р 2.2.2005-06 [65], кроме работ операторов пультов управления, профессиональная деятельность которых связана с высокой ответственностью, принятием решений в условиях дефицита времени (авиадиспетчеры, железнодорожные диспетчеры, операторы энергоустановок и т.д.). При этом виды трудовой деятельности разделяются на три группы: группа А – работа по считыванию информации с экрана видеотерминала с предварительным запросом; группа Б – работа по вводу информации; группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ВТ следует принимать такую, которая занимает не менее 50 % времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для разных видов трудовой деятельности устанавливается три категории тяжести и напряженности работы с вычислительной техникой (табл. 5.9), которые определяются: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводных знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с вычислительной техникой за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

Защита расстоянием заключается в том, что оператор должен находиться примерно на расстоянии вытянутой руки от экрана монитора. Оптимальным считается расстояние до экрана 60 – 70 см, но не ближе 50 см [68].

| Субъективные жалобы | Возможные причины |
|-------------------------|--|
| 1 | 2 |
| Резь в глазах | Визуальные эргономические параметры монитора, освещение на рабочем месте и в помещении |
| Головная боль | Аэрионный состав воздуха в рабочей зоне, режим работы |
| Повышенная нервозность | Электромагнитное поле, цветовая гамма помещения, режим работы |
| Повышенная утомляемость | Электромагнитное поле, режим работы |
| Расстройство памяти | Электромагнитное поле, режим работы |
| Нарушение сна | Электромагнитное поле, режим работы |
| Выпадение волос | Электростатические поля, режим работы |

Субъективные жалобы пользователей персональных компьютеров и их возможные причины

Ряд исследований [119] показывает также, что среди прочих нарушений в функциональном состоянии организма наиболее ярко выражены нарушения со стороны гормональной и иммунной систем. Отклонения в иммунном статусе в равной степени как иммунодефицит, так и аутоиммунность, являются основополагающими в дискоординации процессов, которые поддерживают гомеостаз в организме в целом.

Таблица 5.5

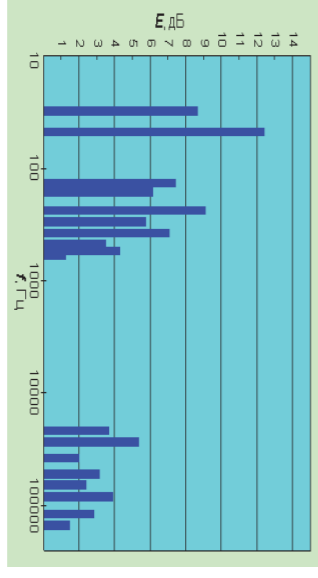
При работе монитора на его экране накапливается заряд статического электричества, приводящий к возникновению разряда.

Электростатический заряд создает около компьютера электростатическое поле, напряженность которого, как показывают исследования, может достигать 75 кВ/м [132].

При этом пользователи персональных компьютеров приобретают электрический потенциал, величина которого может колебаться от –5 до +5 кВ, что оказывает неблагоприятное воздействие на их здоровье.

Заметный вклад в общее электростатическое поле вносят электризующиеся от трения поверхности клавиатуры и мыши. Эксперименты показывают [119], что даже после работы с клавиатурой, электростатическое

Рис. 5.1



Пример спектральной характеристики персонального компьютера в диапазоне 10 Гц – 400 кГц приведен на рис. 5.1 [119].

| Источник | Диапазон частот (первая гармоника) |
|---|------------------------------------|
| Сетевой трансформатор блока питания | 50 Гц |
| Статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания | 20 – 100 кГц |
| Блок кадровой развертки и синхронизации | 48 – 160 Гц |
| Блок строчной развертки и синхронизации | 15 – 110 кГц |
| Ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ) | 0 Гц (электроstatica) |
| Системный блок (процессор) | 50 Гц – 1000 МГц |
| Устройства ввода/вывода информации | 0 Гц, 50 Гц |
| Источники бесперебойного питания | 50 Гц, 20 – 100 кГц |

Персональный компьютер как источник ЭМП

Таблица 5.1

5.2. Биологическое действие

Регулярная работа компьютера отрицательно сказывается на здоровье человека, даже если уровни излучений соответствуют допустимым. Так, было отмечено, что у ольцовых работников наблюдается снижение зрения [98]:

- органов зрения (у 60 %);
- железочно-кишечного тракта (у 40 %);
- сердечно-сосудистой системы (у 60 %);
- кожные заболевания (у 10 %);
- различные опухоли (наиболее часто мозга).

По обобщенным данным [119], у работающих за персональным компьютером от 2 до 6 ч в сутки функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем в контрольных группах. Болезни сердечно-сосудистой системы наблюдаются в 2 раза чаще, болезни верхних дыхательных путей – в 1,9 раза, болезни опорно-двигательного аппарата – в 3,1 раза чаще. С увеличением продолжительности работы на компьютере соотношение здоровых и больных среди пользователей резко возрастает.

Наибольшую опасность работа с персональным компьютером представляет для детей и беременных женщин. Так, было установлено [68], что у беременных женщин с 90%-й вероятностью в 1,5 раза чаще случаются выкидыши и в 2,5 раза чаще рождаются дети с врожденными пороками.

Обследование 1583 женщин, проведенное в Окленде (штат Калифорния, США) Кайзеровским медицинским центром, показало, что для женщин, более 20 ч в неделю пользующихся компьютерными терминалами, риск выкидыша на ранних и поздних стадиях беременности на 80 % выше, чем для женщин, которые выполняют ту же работу без дисплейных терминалов [119].

Нью-Йоркский комитет по охране труда и профилактике профессиональных заболеваний считает, что беременные или имеющие намерения забеременеть женщины должны переводиться на работу, не связанную с использованием видеотерминалов.

Ряд исследований [119] показывает также, что среди прочих нарушений в функциональном состоянии организма наиболее ярко выражены нарушения со стороны гормональной и иммунной систем. Отклонения в иммунном статусе в равной степени как иммунодефицит, так и аутоиммунность, являются основополагающими в дискоординации процессов, которые поддерживают гомеостаз в организме в целом.

Отрицательно сказывается на человеческом организме и увеличение количества положительно заряженных ионов в воздухе вблизи дисплея,

поле быстро возрастает с 2 до 12 кВ/м. На отдельных рабочих местах в области рук регистрировались напряженности статических электрических полей более 20 кВ/м.

Кроме этого монитор выделяет рентгеновское (> 1,2 кэВ), ультрафиолетовое (в диапазоне 200 – 400 нм) и инфракрасное (в диапазоне 1050 нм – 1 мм) излучение, это приводит к уменьшению отрицательных ионов в воздухе помещения.

Исследованиями Центра электромагнитной безопасности наиболее распространенных в нашей стране компьютеров установлено, что уровень ЭМП в зоне размещения пользователя превышает предельно допустимые нормы [68].

Так, в течение 1994 – 1996 гг. сотрудниками Центра электромагнитной безопасности при участии сотрудников Лаборатории измерения параметров электромагнитной совместимости ВНИИФРИ и Лаборатории электромагнитных волн НИИ медицины труда РАМН проводились измерения ЭМП непосредственно на рабочих местах пользователей. Всего было проведены измерения на 474 рабочих местах, оснащенных мониторами 72 типов 1990 – 96 гг. выпуска. Максимальные зафиксированные на рабочих местах пользователей персональных компьютеров значения полей приведены в табл. 5.2 [119].

Таблица 5.2

Максимальные зафиксированные на рабочем месте значения ЭМП

| Вид поля, диапазон частот, единица измерения напряженности поля | Значение напряженности поля | |
|---|-----------------------------|-----------------|
| | по оси экрана | вокруг монитора |
| Электрическое поле, 100 кГц – 300 МГц, В/м | 17,0 | 24,0 |
| Электрическое поле, 0,02 – 2 кГц, В/м | 150,0 | 155,0 |
| Электрическое поле, 2 – 400 кГц, В/м | 14,0 | 16,0 |
| Магнитное поле, 100 кГц – 300 МГц, мА/м | - | - |
| Магнитное поле, 0,02 – 2 кГц, мА/м | 550,0 | 600,0 |
| Магнитное поле, 2 – 400 кГц, мА/м | 35,0 | 35,0 |
| Электростатическое поле, кВ/м | 22,0 | - |

В табл. 5.3 представлены данные, полученные в 1998 г. Северозападным научным центром гигиены и общественного здоровья Министерства здравоохранения при обследовании более 120 рабочих мест пользователей персональных компьютеров [119].

Шведский институт защиты от излучений, который является одним из разработчиков спецификаций стандарта безопасности MPR II, в своем отчете приводит результаты измерений ЭМП 150 моделей мониторов (табл. 5.4 [119]).

Биологическое действие электромагнитного поля, излучаемого мобильными телефонами, проявляется так же, как и действие обычного электромагнитного поля СВЧ-диапазона, то есть оказывает тепловое и инфрорампационное воздействие.

Однако здесь необходимо учитывать и те специфические условия, о которых говорилось выше, и, прежде всего, то, что основной излучатель телефона находится в 3 – 5 см от головного мозга. Поэтому температура отдельных участков мозга при продолжительном разговоре может повышаться и приводить к негативным эффектам. Так, подсчитано [114], что при разговоре на мобильном телефоне с SAR 4 Вт/кг в течение 30 мин

6.2. Биологическое Действие

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

Таблица 6.1

Характеристики стандартов сотовой связи, действующих в России

| Наименование стандарта | Диапазон рабочих частот БС, МГц | Диапазон рабочих частот МРТ, МГц | Максимальная излучаемая мощность БС, Вт | Максимальная излучаемая мощность МРТ, Вт | Радиус «соты», км |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|--|-------------------|
| NMT-450 аналоговый | 463 – 467.5 | 453 – 457.5 | 100 | 1 | 1 – 40 |
| AMPS аналоговый | 869 – 894 | 824 – 849 | 100 | 0.6 | 2 – 20 |
| D-AMPS (IS-136) цифровой | 869 – 894 | 824 – 849 | 50 | 0.2 | 0.5 – 20 |
| CDMA цифровой | 869 – 894 | 824 – 849 | 100 | 0.6 | 2 – 40 |
| GSM-900 цифровой | 925 – 965 | 890 – 915 | 40 | 0.25 | 0.5 – 35 |
| GSM-1800 (DCS) цифровой | 1805 – 1880 | 1710 – 1785 | 20 | 0.125 | 0.5 – 35 |

Трубка сотового телефона состоит из следующих систем:

– двух преобразователей речевого сигнала (аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП));

– кодака речевого сигнала;

– канального кодака;

– модема (модулятор-демодулятор);

– синтезатора частоты;

температура ткани у здорового взрослого человека поднимается на 1 °С. Другой орган, на который отрицательно сказывается влияние излучения от мобильного телефона, хрусталик глаза.

Несмотря на то, что присутствуют специфические эффекты воздействия СВЧ-излучения, при нормировании учитывается только его тепловое воздействие.

6.3. Нормирование

Воздействие на человека электромагнитного излучения так же, как и радиации, нормируется. При этом в разных странах, по-разному. Существует несколько организаций, в том числе международных, которые анализируют и обобщают данные об эффектах ЭМП на организм человека, разрабатывают нормы, которые носят рекомендательный характер. К таким организациям принадлежит IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (Институт инженеров электрической и электронной промышленности) и ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Интернациональная комиссия по защите от неионизирующего излучения).

Соответственно этому все страны мира, использующие различные стандарты и технику мобильной связи можно разделить на три группы. Первые из них ориентируются на значения норм, рекомендуемых IEEE. Для систем сотовой связи, работающих на частоте 900 МГц, IEEE устанавливает значение плотности потока, равным 600 мкВт/см². Таких стран немного, к ним относятся: США, Канада и Тайвань.

Большинство стран придерживаются норм, предлагаемых ICNIRP (для частоты 900 МГц устанавливается предельное значение плотности потока – 450 мкВт/см²). К данной группе относятся следующие страны: Швеция, Норвегия, Финляндия, Великобритания, Ирландия, Голландия, Дания, Германия, Франция, Австрия, Португалия, Испания, Греция, Турция, Израиль, Южно-Африканская республика, Бразилия, Япония и Южная Корея.

Третья группа стран использует значительно меньшие значения плотности потока (ПП) от систем мобильной связи. Эти данные в сравнении со значениями IEEE и ICNIRP представлены в табл. 6.4 [116].

Здесь необходимо отметить, что в таблице представлены ПДУ облучения для населения, проживающего на прилегающей сельтебной территории, от антенн базовых станций для разных стран мира. Для России ПДУ регламентируется МСанПиН 001-96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях» (табл. 6.5).

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

В работе [114] также утверждается, что низкие частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биологической активности головного мозга человека, которые регистрируются и на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Например, частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга, частота 8.35 Гц – с альфа-ритмом, а частота 2 Гц – с дельта-ритмом. Таким образом, в головной мозг человека извне с расстояния в 3 – 5 см переносятся сигналы, которые способны взаимодействовать с собственной биологической активностью мозга (находясь в резонансе) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения фиксируются на электроэнцефалограмме [114] и долго не исчезают после окончания разговора. Доказано также [112], что модулированные

6.3. Нормирование

Воздействие на человека электромагнитного излучения так же, как и радиации, нормируется. При этом в разных странах, по-разному. Существует несколько организаций, в том числе международных, которые анализируют и обобщают данные об эффектах ЭМП на организм человека, разрабатывают нормы, которые носят рекомендательный характер. К таким организациям принадлежит IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (Институт инженеров электрической и электронной промышленности) и ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Интернациональная комиссия по защите от неионизирующего излучения).

Соответственно этому все страны мира, использующие различные стандарты и технику мобильной связи можно разделить на три группы. Первые из них ориентируются на значения норм, рекомендуемых IEEE. Для систем сотовой связи, работающих на частоте 900 МГц, IEEE устанавливает значение плотности потока, равным 600 мкВт/см². Таких стран немного, к ним относятся: США, Канада и Тайвань.

Большинство стран придерживаются норм, предлагаемых ICNIRP (для частоты 900 МГц устанавливается предельное значение плотности потока – 450 мкВт/см²). К данной группе относятся следующие страны: Швеция, Норвегия, Финляндия, Великобритания, Ирландия, Голландия, Дания, Германия, Франция, Австрия, Португалия, Испания, Греция, Турция, Израиль, Южно-Африканская республика, Бразилия, Япония и Южная Корея.

Третья группа стран использует значительно меньшие значения плотности потока (ПП) от систем мобильной связи. Эти данные в сравнении со значениями IEEE и ICNIRP представлены в табл. 6.4 [116].

Здесь необходимо отметить, что в таблице представлены ПДУ облучения для населения, проживающего на прилегающей сельтебной территории, от антенн базовых станций для разных стран мира. Для России ПДУ регламентируется МСанПиН 001-96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях» (табл. 6.5).

кунды (мс), следовательно, частота пульсации мобильного телефона составляет 4,616 миллисекунды (мс), следовательно, частота пульсации мобильного телефона составляет 214,3 мГц [114].

Мобильные телефоны стандарта GSM осуществляют передачу информации импульсами, объединенными в блоки. Блок состоит из восьми импульсов. В распоряжении каждого пользователя имеется только один из восьми импульсов. Остальные семь принадлежат другим семи абонентам, которые в этот момент на данной частоте могут вести телефонные разговоры. Продолжительность одного GSM-блока составляет 4,616 миллисекунды (мс), следовательно, частота пульсации мобильного телефона составляет 214,3 мГц [114].

Наиболее реальным является измерение плотности потока электромагнитного излучения сотового телефона и расчет его излучающей способности, исходя из мощности аппарата. **Именно по этим показателям можно реально оценить безопасность** сотового телефона.

| Производитель | Модель | Тип антенны | Измеренное SAR (Вт/кг) при 0.25 выходной мощности на 10 г веса |
|---------------|--------------|-------------|--|
| Hagemik | Global Handy | Ветроенная | 0.28 |
| Motorola | StarTac | Дипольная | 0.33 |
| Sony | CM-DX1000 | Дипольная | 0.41 |
| Nokia | 8110i | Спиральная | 0.73 |
| Motorola | D160 | Дипольная | 0.81 |
| Sony | CMD-Z1 | Дипольная | 0.88 |
| Ericsson | GH788 | Спиральная | 0.91 |
| Ericsson | GHF688 | Спиральная | 0.95 |
| Panasonic | EB G500 | Дипольная | 0.98 |
| Sharp | TQ G700 | Дипольная | 1.01 |
| Philips | Genie | Дипольная | 1.05 |
| Nokia | 1611 | Спиральная | 1.06 |
| Philips | Diga | Спиральная | 1.06 |
| Ascom | Axento | Дипольная | 1.25 |
| Bosch | M-COM 906 | Дипольная | 1.32 |
| Ascom | Elisto | Спиральная | 1.33 |

Максимальные значения величины SAR для мобильных телефонов

Таблица 6.3

нологов (Цюрих) в 1997 г. [111]. Результаты максимальных значений SAR приведены в табл. 6.3 [111].

– радиотракта с антенной.
Основным элементом – источником электромагнитного поля – является антенна.

Ветроенная антенна располагается в верхней части корпуса телефона. В первых конструкциях сотовых телефонов применялись телескопические антенны, а несколько позже – магнотабаритные антенны. Магнотабаритные антенны подразделяются на спиральные, вибраторные и низкопрофильные антенны. Уменьшение размеров сотовых телефонов заставило отказаться от первых двух видов и перейти полностью к низкопрофильным конструкциям. Микрополосковые антенны и F-образные антенны известны как типичные низкопрофильные антенны и их широко применяют в радиотелефонах.

В современных аппаратах антенны выполнены либо в виде короткого выступающего штыря, складного, как у портативного радиоприемника (популярное в США решение), либо ветроенной металлической рамки, скрытой в корпусе аппарата.

Уменьшение размеров корпуса и соответственно размеров антенны приводит, как правило, к уменьшению эффективности ее работы во время приема и передачи. Поэтому применение небольших по размерам сотовых телефонов оправдано только там, где сотовая сеть мобильной связи достаточно развита и имеет мощные базовые станции.

По международным требованиям излучающую мощность сотовых телефонов измеряют в единицах SAR. **SAR (Specific Absorption Rate) – удельная поглощенная мощность**, выраженная на единицу массы тела или ткани. В единицах СИ SAR определяется в ваттах на 1 кг (Вт/кг). Этот показатель отличается от номинальной мощности сотового телефона, которая обычно указывается в инструкции. До недавнего времени верхней границей значения SAR в Европе считалась величина 2 Вт/кг. Общепринятой градацией величины SAR для мобильных телефонов представлена в табл. 6.2 [114].

Таблица 6.2

Градация величины SAR для мобильных телефонов

| Облучающая способность | Значения SAR |
|------------------------|-------------------------|
| Очень низкая | SAR < 0.2 Вт/кг |
| Низкая | SAR от 0.2 до 0.5 Вт/кг |
| Средняя | SAR от 0.5 до 1.0 Вт/кг |
| Высокая | SAR > 1.0 Вт/кг |

Первые результаты измерения SAR (для системы GSM-900) были получены доктором Niels Kuster в лаборатории электромагнитных полей и микроволновой электроники Швейцарского федерального института тех-

Особенно чувствительны к высокочастотному излучению мобильных телефонов дети. три-четыре раза чаще подвержены сторонним эффектам. Особенно чувствительны к высокочастотному излучению мобильных телефонов дети. выключения поля.

Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Специалисты Центра электромагнитной безопасности экспериментально на добровольцах (здоровые мужчины) показали, что мозг человека не только ощущает ЭМИ сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Опыт проводился с использованием стандартов NMT-450 (аппарат Nokia 450), GSM-900 (аппарат Siemens S4), GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s) [114]. Результаты эксперимента выявили достоверные изменения в биологической активности мозга человека при использовании сотовых телефонов в стандартах NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время облучения ЭМП радиотелефона и после облучения в спектрах ЭЭГ усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно резко эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Безопасные уровни перечисленных в табл. 7.1 факторов регламентируются НГД, представленными в приложении 1 [90].

По степени опасности генерируемого излучения лазеры (лазерные установки) подразделяются на четыре класса [17]:

- 1-го класса – выходное излучение не представляет опасности для глаз и кожи (лазерные установки);
- 2-го класса – выходное излучение представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением;
- 3-го класса – выходное излучение представляет опасность при облучении глаз прямым, зеркально отраженным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи прямым и зеркально отраженным излучением;

| | Класс лазера | | | |
|--|--------------|-----|-----|-----|
| | 1-й | 2-й | 3-й | 4-й |
| Опасные и вредные производственные факторы | | | | |
| Лазерное излучение: прямое, зеркальное отраженное, диффузное отражение | - | + | + | + |
| Повышенная напряженность электрического поля | - | + | + | + |
| Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны | - | - | + | + |
| Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации | - | - | - | + |
| Повышенная яркость света | - | - | - | + |
| Повышенные уровни шума и вибрации | - | - | - | + |
| Повышенный уровень ионизирующих излучений | - | - | - | + |
| Повышенный уровень электромагнитных излучений ВЧ- и СВЧ-диапазонов | - | - | - | + |
| Повышенный уровень инфракрасной радиации | - | - | - | + |
| Повышенная температура поверхностей оборудования | - | - | - | + |
| Химически опасные и вредные производственные факторы (при работе с токсичными веществами) | - | - | - | + |
| повышенная температура поверхностей оборудования | - | - | - | + |
| взрывоопасность в системах накачки лазеров | - | - | - | + |
| возможность взрывов и пожаров при попадании лазерного излучения на горючие материалы | - | - | - | + |
| Примечание. + имеют место всегда, - отсутствуют, - (+) наличие зависит от конкретных технических характеристик | | | | |

Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие работу лазеров и подлежащие контролю [17, 90]

Таблица 7.1

Сопутствующие опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие работу лазеров и подлежащие контролю в зависимости от класса лазерных установок, приведены в табл. 7.1 [17, 90].

13) **Длительность воздействия (облучения)** – длительность импульса, серии импульсов или непрерывного излучения, попадающего на тело человека.

14) **Коэффициент пропускания** – отношение потока излучения, прошедшего сквозь тело, к потоку излучения, упавшего на него.

15) **Оптическая плотность** – десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания.

16) **Лазерное безопасное расстояние для глаз** – наименьшее расстояние, на котором энергетическая экспозиция (энергия) не превышает ПДУ для глаза.

17) **Предельно допустимые уровни лазерного излучения при однократном воздействии** – уровни излучения, при воздействии которых существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме работающего. То же – для предельной однократной суточной дозы излучения в диапазоне $180 < \lambda \leq 380$ нм.

18) **Предельно допустимые уровни лазерного излучения при хроническом воздействии** – уровни излучения, воздействие которых при работе установленного продолжительности в течение всего трудового стажа не приводит к травме (повреждению), заболеванию или отклонению в состоянии здоровья работающего в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. То же – для предельной суточной дозы излучения в диапазоне $180 < \lambda \leq 380$ нм.

19) **Хроническое воздействие лазерного излучения** – систематически повторяющееся воздействие, которому подвергаются люди, профессионально связанные с лазерным излучением.

К основным физическим величинам, характеризующим лазерное излучение, относятся:

- **длина волны λ , нм;**
- **энергия $W_{\text{лдл}}$, Дж, и мощность $P_{\text{лдл}}$, Вт, излучения, прошедшего через ограничивающие апертуры;**
- **энергетическая освещенность (плотность мощности), Вт/см²;**
- **энергетическая экспозиция, Дж/см²;**
- **предельная суточная доза (для лазеров УФ-диапазона (180 – 380 нм));**
- **максимально допустимое количество облучений отдельными импульсами в течение рабочего дня (для лазеров УФ-диапазона (180 – 380 нм));**

- **длительность импульса, с;**
- **длительность воздействия, с,** – это время воздействия лазерного излучения на человека в течение рабочей смены;
- **частота повторения импульсов, Гц,** – это количество импульсов за 1 с.

6) Запрещается отключать блокировку и сигнализацию во время работы лазера или зарядки конденсаторных батарей.

7) Пучок излучения лазеров II – IV класса должен ограничиваться на конце своей полезной траектории линией диффузным отражателем или поглотителем.

8) Для предотвращения пожара при эксплуатации лазерных изделий IV класса в качестве ограничителей следует применять хорошо охлаждаемые неплоские металлические мишени или огнеупорные материалы достаточной толщины. При этом следует соблюдать осторожность, так как оплавление этих материалов может привести к зеркальному отражению излучения.

9) При использовании лазерных изделий III и IV класса область взаимодействия лазерного пучка и мишени должна отражаться материалами, непрозрачными для лазерного излучения.

10) При транспортировании излучения от лазеров III, IV класса должны использоваться специальные системы, исключющие попадание в рабочие помещения прямого и зеркально отраженного излучения.

11) Защитные экраны систем транспортирования не должны разрушаться при случайном кратковременном воздействии на них транспортируемого лазерного излучения.

12) Системы транспортирования перед началом эксплуатации должны быть приняты комиссией в соответствии с п. 7.3 настоящих Правил.

13) Открытые траектории излучения лазеров II класса должны располагаться выше или ниже уровня глаз работающих.

14) Зеркала, линзы и делители пучков должны быть жестко закреплены для предотвращения случайных зеркальных отражений излучения лазерных изделий II – IV класса в рабочую зону; перемещение их может происходить во время работы лазера только под контролем ответственного лица с обязательным применением средств индивидуальной защиты.

15) Запрещается проводить визуальную юстировку лазеров II – IV класса без соответствующих средств защиты.

16) При работе с лазерными изделиями III и IV класса запрещается использовать оптические системы наблюдения (бинокли, микроскопы, телодолиты и др.), не оснащенные средствами защиты от излучения.

17) Безопасное применение лазерных изделий на строительстве, при демонтажах в учебных заведениях, в театрально-зрелищных мероприятиях и на открытых пространствах должно обеспечиваться организационно-техническими мероприятиями, включающими предварительную разработку схемы размещения лазеров и траектории лазерных пучков, при этом контроле за соблюдением настоящих Правил. В указанных случаях запрещается применение лазерных изделий III и IV класса.

18) Зоны распространения лазерного излучения должны обозначаться знаками лазерной опасности (см. приложение 4, рис. 114.2 [90]). Если лазерный пучок выходит за пределы контролируемой зоны, в конце его полезной траектории должен быть ограничитель.

Наибольшую опасность лазерное излучение представляет для зрения, что объясняется как свойствами излучения, так и строением глаза человека. Такие структуры глаза, как роговица и хрусталик, легко повреждаются и теряют прозрачность под действием электромагнитного излучения самых различных диапазонов спектра. Более того, опасное воздействие лазерного излучения, работающего в спектральном диапазоне от 0,4 до 1 мкм, резко возрастает, поскольку для этих длин волн оптические среды глаза являются прозрачными, а оптическая система глаза обладает фокусирующими свойствами и фокусирует попадающее во входной зрачок глаза излучение на плоскость сетчатки. Вследствие этого освещенность сетчатки может превысить освещенность роговицы во много раз и сетчатка, таким образом, является для этого диапазона наиболее чувствительной и поражаемой областью глаза. Однако необходимо отметить, что и в этом спектральном диапазоне опасности поражения подвергается не только сетчатка. Пигментный эпителий радужной оболочки хорошо поглощает электромагнитное излучение видимого диапазона спектра, и, несмотря на то, что порог поражения радужной оболочки намного выше порога поражения сетчатки, при некоторых условиях облучения глаза освещенность его периферного отдела может оказаться выше, чем освещенность сетчатки. К таким условиям можно отнести, прежде всего, применение оптических систем. Наибольшую опасность в таких случаях представляет не поражение самой радужной оболочки, а передача выделяющегося в ней тепла хрусталику, который сам в данной области спектра практически не поглощает излучение. Нарев же хрусталика может привести к образованию катаракты.

Несмотря на возможность поражения и других органов глаза, все же наибольшую опасность представляет поражение сетчатки, которая практически является частью мозга и состоит из нескольких слоев нервных клеток. Это связано с тем, что именно сетчатка «видит» световое излучение. Сетчатка очень чувствительна к воздействию электромагнитных излучений оптического диапазона спектра и обладает высокими коэффициентами поглощения даже в более широкой спектральной области. При гибели клеток фоторецепторов, которые содержатся в сетчатке (палочки и колбочки), происходит необратимое нарушение зрения, так как эти клетки не восстанавливаются.

Степень поражения сетчатки зависит от многих факторов и может меняться в широких пределах – от быстро проходящих функциональных расстройств (ослепение при вспышке, послеобразы) до тяжелых разрушений, сопряженных с выбросом фрагментов в стекловидное тело и кровоотечением. Среди многих факторов можно выделить следующие основные факторы, главным образом и определяющие степень поражения сетчатки: освещенность или экспозиция в пятне лазерного излучения на сетчатке, размер пятна лазерного излучения на сетчатке, местоположение пятна лазерного

Время воздействия лазерного излучения на сетчатку также сильно влияет на результат. Очевидно, что чем меньше длительность облучения, тем больше пороговое значение освещенности сетчатки. Однако экспериментально доказано, что такая зависимость наблюдается только для временного диапазона 10^{-12} – 10 с. При длительностях же облучения, лежащих в диапазоне от 10 до 10^4 с, пороговая экспозиция сетчатки остается практически неизменной. Объясняется это тем, что в данном временном диапазоне механизм поражения сетчатки не является тепловым и что сетчатка в этом случае поражается за счет различных фотохимических процессов.

Зависимость поражения сетчатки от длины волны облучения также связана со временем облучения. Так, при малых длительностях облучения, когда механизм поражения сетчатки является чисто тепловым, зависимость порога поражения от длины волны объясняется только спектральной зависимостью коэффициента поглощения сетчатки. При больших длительностях облучения, когда начинает играть роль фотохимический механизм поражения, сказывается зависимость фотохимического процесса от длины волны. В этом случае коротковолновое излучение оказывается более опасным, чем длинноволновое.

Местоположение пятна лазерного излучения на сетчатке оказывает влияние на степень поражения зрения по той причине, что разные области сетчатки, такие как желтое пятно, центральная ямка, периферия сетчатки, имеют разную ценность для зрения. Например, при попадании мощного лазерного излучения в область сленого пятна происходит поражение зрительного нерва, сопровождающееся полной потерей зрения. При локализации очага поражения диаметром 0,2 – 0,4 мм в пределах центральной ямки происходит ухудшение остроты зрения с 1,0 до 0,1 [33]. Резкое снижение остроты зрения наблюдается и в тех случаях, когда очаг поражения лишь частично захватывает центральную ямку.

Время воздействия лазерного излучения на сетчатку также сильно влияет на результат. Очевидно, что чем меньше длительность облучения, тем больше пороговое значение освещенности сетчатки. Однако экспериментально доказано, что такая зависимость наблюдается только для временного диапазона 10^{-12} – 10 с. При длительностях же облучения, лежащих в диапазоне от 10 до 10^4 с, пороговая экспозиция сетчатки остается практически неизменной. Объясняется это тем, что в данном временном диапазоне механизм поражения сетчатки не является тепловым и что сетчатка в этом случае поражается за счет различных фотохимических процессов.

Зависимость поражения сетчатки от длины волны облучения также связана со временем облучения. Так, при малых длительностях облучения, когда механизм поражения сетчатки является чисто тепловым, зависимость порога поражения от длины волны объясняется только спектральной зависимостью коэффициента поглощения сетчатки. При больших длительностях облучения, когда начинает играть роль фотохимический механизм поражения, сказывается зависимость фотохимического процесса от длины волны. В этом случае коротковолновое излучение оказывается более опасным, чем длинноволновое.

Несмотря на то, что основным механизмом поражения сетчатки является тепловой, который определяется в основном ее энергетической освещенностью, на конечный результат воздействия лазерного излучения на сетчатку оказывают влияние и другие факторы. В зависимости от них пороговая освещенность сетчатки может меняться в пределах четырех-пяти порядков [35]. Так, известно, что пороговая освещенность (экспозиция) сетчатки сильно зависит от размера пятна лазерного излучения на ней. Чем больше размер пятна, тем меньше пороговые значения. Кроме снижения порога поражения увеличение размера пятна лазерного излучения, приводит к тому, что крупные очаги поражения сетчатки вызывают более сильные клинические расстройства зрения.

Местоположение пятна лазерного излучения на сетчатке оказывает влияние на степень поражения зрения по той причине, что разные области сетчатки, такие как желтое пятно, центральная ямка, периферия сетчатки, имеют разную ценность для зрения. Например, при попадании мощного лазерного излучения в область сленого пятна происходит поражение зрительного нерва, сопровождающееся полной потерей зрения. При локализации очага поражения диаметром 0,2 – 0,4 мм в пределах центральной ямки происходит ухудшение остроты зрения с 1,0 до 0,1 [33]. Резкое снижение остроты зрения наблюдается и в тех случаях, когда очаг поражения лишь частично захватывает центральную ямку.

Время воздействия лазерного излучения на сетчатку также сильно влияет на результат. Очевидно, что чем меньше длительность облучения, тем больше пороговое значение освещенности сетчатки. Однако экспериментально доказано, что такая зависимость наблюдается только для временного диапазона 10^{-12} – 10 с. При длительностях же облучения, лежащих в диапазоне от 10 до 10^4 с, пороговая экспозиция сетчатки остается практически неизменной. Объясняется это тем, что в данном временном диапазоне механизм поражения сетчатки не является тепловым и что сетчатка в этом случае поражается за счет различных фотохимических процессов.

Зависимость поражения сетчатки от длины волны облучения также связана со временем облучения. Так, при малых длительностях облучения, когда механизм поражения сетчатки является чисто тепловым, зависимость порога поражения от длины волны объясняется только спектральной зависимостью коэффициента поглощения сетчатки. При больших длительностях облучения, когда начинает играть роль фотохимический механизм поражения, сказывается зависимость фотохимического процесса от длины волны. В этом случае коротковолновое излучение оказывается более опасным, чем длинноволновое.

Местоположение пятна лазерного излучения на сетчатке оказывает влияние на степень поражения зрения по той причине, что разные области сетчатки, такие как желтое пятно, центральная ямка, периферия сетчатки, имеют разную ценность для зрения. Например, при попадании мощного лазерного излучения в область сленого пятна происходит поражение зрительного нерва, сопровождающееся полной потерей зрения. При локализации очага поражения диаметром 0,2 – 0,4 мм в пределах центральной ямки происходит ухудшение остроты зрения с 1,0 до 0,1 [33]. Резкое снижение остроты зрения наблюдается и в тех случаях, когда очаг поражения лишь частично захватывает центральную ямку.

Время воздействия лазерного излучения на сетчатку также сильно влияет на результат. Очевидно, что чем меньше длительность облучения, тем больше пороговое значение освещенности сетчатки. Однако экспериментально доказано, что такая зависимость наблюдается только для временного диапазона 10^{-12} – 10 с. При длительностях же облучения, лежащих в диапазоне от 10 до 10^4 с, пороговая экспозиция сетчатки остается практически неизменной. Объясняется это тем, что в данном временном диапазоне механизм поражения сетчатки не является тепловым и что сетчатка в этом случае поражается за счет различных фотохимических процессов.

определяют результаты измерения как интеграл по времени воздействия от полученной функции.

Дозиметры должны быть откалиброваны в единицах энергетической экспозиции H_e (Дж/см²) или энергии Q_n (Дж). Допускается дополнительно градуировать дозиметры в единицах облученности E_e (Вт/см²) или средней мощности P_{cp} (Вт).

При градуировке дозиметра в единицах E_e (H_e) на лицевой панели прибора должна быть указана площадь входной диафрагмы S_p приемного устройства, при которой проводилась его градуировка.

Облученность E_e (энергетическая экспозиция H_e) в заданной точке контролируется по заданному направлению визирования для дозиметров, отградуированных в единицах мощности (энергии), определяют как частное от деления значения измерений мощности (энергии) излучения на значение площади отверстия диафрагмы S_d , установленной на входе приемного устройства» (см. приложение 1, п/п 65).

Лазерный дозиметр ИЛД-2М (ИЛД-2) обеспечивает измерение параметров в спектральных диапазонах 0,49 – 1,15 мкм и 2,0 – 11,0 мкм, позволяет измерять энергию и энергетическую экспозицию от моноимпульсного и импульсно-периодического излучения, мощность и облученность от непрерывного лазерного излучения.

7.5. Защита от лазерного излучения

Лазерная безопасность – совокупность технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасные условия труда персонала, при использовании лазеров (лазерных установок).

Общие положения лазерной безопасности изложены в ГОСТ 12.1.040-83 [17] и СНиП 5804-91 [90]. В [90] сформулированы требования, обеспечивающие лазерную безопасность:

- к устройству и эксплуатации лазера;
 - производственным помещениям, размещению оборудования и организации рабочих мест;
 - персоналу;
 - контролю за состоянием производственной среды;
 - применению средств защиты;
 - медицинскому контролю.
- Организационно-технические методы:**
- выбор, планировка и внутренняя отделка помещений;
 - рациональное размещение лазерных установок и порядок их обслуживания;

При дозиметрическом контроле лазерного излучения с неизвестными параметрами измеряют:

- облученность E_e ;
- энергетическую экспозицию Q_n ;
- длину волны излучения;
- длительность импульсов излучения;
- частоту повторения импульсов излучения;
- длительность воздействия непрерывного и импульсно-модулированного излучения;

Для диапазона длин волн от 0,4 до 11,0 мкм как для излучения в диапазоне длин волн от 0,49 – 1,15 мкм и 2,0 – 11,0 мкм, позволяют измерять энергию и энергетическую экспозицию от моноимпульсного и импульсно-периодического излучения, мощность и облученность от непрерывного лазерного излучения.

При дозиметрическом контроле лазерного излучения с неизвестными параметрами измеряют:

- облученность E_e ;
- энергетическую экспозицию Q_n ;
- длину волны излучения;
- длительность импульсов излучения;
- частоту повторения импульсов излучения;
- длительность воздействия непрерывного и импульсно-модулированного излучения;

Для диапазона длин волн от 0,4 до 11,0 мкм как для излучения в диапазоне длин волн от 0,49 – 1,15 мкм и 2,0 – 11,0 мкм, позволяют измерять энергию и энергетическую экспозицию от моноимпульсного и импульсно-периодического излучения, мощность и облученность от непрерывного лазерного излучения.

При дозиметрическом контроле лазерного излучения с неизвестными параметрами измеряют:

- облученность E_e ;
- энергетическую экспозицию Q_n ;
- длину волны излучения;
- длительность импульсов излучения;
- частоту повторения импульсов излучения;
- длительность воздействия непрерывного и импульсно-модулированного излучения;

Для диапазона длин волн от 0,4 до 11,0 мкм как для излучения в диапазоне длин волн от 0,49 – 1,15 мкм и 2,0 – 11,0 мкм, позволяют измерять энергию и энергетическую экспозицию от моноимпульсного и импульсно-периодического излучения, мощность и облученность от непрерывного лазерного излучения.

При дозиметрическом контроле лазерного излучения с неизвестными параметрами измеряют:

- облученность E_e ;
- энергетическую экспозицию Q_n ;
- длину волны излучения;
- длительность импульсов излучения;
- частоту повторения импульсов излучения;
- длительность воздействия непрерывного и импульсно-модулированного излучения;

Для оценки эффекта ультрафиолетового излучения длительное время использовался термин – минимальная эритемная доза (МЭД) – энергетическая экспозиция ультрафиолетового излучения, вызывающая едва заметную эритему необлученной ранее кожи. Для светлой кожи 1 МЭД равна 200 – 300 Дж/м². Однако величина излучения, необходимая для развития химической технологии, медицине и других областях.

Ультрафиолетовое излучение находит применение в светотехнике, ультрафиолетового излучения ультрафиолетового излучения ультрафиолетовом диапазоне уменьшается также и коэффициент отражения многих материалов. Ультрафиолетовое излучение находит применение в светотехнике, химической технологии, медицине и других областях.

Ультрафиолетовое излучение невидимо, способно вызывать у многих веществ фотоэффект, обладает высокой химической активностью (разложение хлорида серебра), вызывает люминесценцию некоторых веществ (свечение кристаллов сульфида цинка), обладает также большой проникающей способностью, значительной биологической активностью (например, бактерицидным действием). В ультрафиолетовом диапазоне увеличивается коэффициент поглощения многих веществ, что приводит к уменьшению их прозрачности по сравнению с аналогичными параметрами в видимом диапазоне. При укорочении длины волны в ультрафиолетовом диапазоне уменьшается также и коэффициент отражения многих материалов.

По данным Международной комиссии по освещению, диапазон ультрафиолетового излучения ($100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$) подразделяют на три области: УФ(А) – длины волн $\lambda = 315 - 400 \text{ nm}$, УФ(В) – $\lambda = 280 - 315 \text{ nm}$, УФ(С) – $\lambda = 100 - 280 \text{ nm}$, которые отличаются по проникающей способности и биологическому воздействию на организм. Исходя из специфической биологической эффективности, область УФ(С) называют также бактерицидной областью спектра, область УФ(В) – эритемной и область УФ(А) – общеоздоравливающей.

8.1. Основные положения

8. УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

К ультрафиолетовому излучению УФ (УФ) относятся легкие ультрафиолетового излучения ($100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$) подразделяют на три области: УФ(А) – длины волн $\lambda = 315 - 400 \text{ nm}$, УФ(В) – $\lambda = 280 - 315 \text{ nm}$, УФ(С) – $\lambda = 100 - 280 \text{ nm}$, которые отличаются по проникающей способности и биологическому воздействию на организм. Исходя из специфической биологической эффективности, область УФ(С) называют также бактерицидной областью спектра, область УФ(В) – эритемной и область УФ(А) – общеоздоравливающей.

Ультрафиолетовое излучение невидимо, способно вызывать у многих веществ фотоэффект, обладает высокой химической активностью (разложение хлорида серебра), вызывает люминесценцию некоторых веществ (свечение кристаллов сульфида цинка), обладает также большой проникающей способностью, значительной биологической активностью (например, бактерицидным действием). В ультрафиолетовом диапазоне увеличивается коэффициент поглощения многих веществ, что приводит к уменьшению их прозрачности по сравнению с аналогичными параметрами в видимом диапазоне. При укорочении длины волны в ультрафиолетовом диапазоне уменьшается также и коэффициент отражения многих материалов.

7.6. Лазерное хулиганство

С начала 1990-х гг. в средствах массовой информации стали появляться сообщения о применении лазерных указок с целью ослепления водителей авто- и авиатранспортных средств. Это явление получило название «лазерное хулиганство».

Инциденты фиксировались практически во всех развитых странах мира: США, Германии, Канаде, Великобритании, Греции, Израиле, Швеции и т.д.

В США в 2010 г. зафиксировано 2836 случаев, а за первое полугодие 2011 г. отмечено 1100 инцидентов.

В Российской Федерации первый зафиксированный случай лазерного хулиганства относится к 2002 г., в 2010 г. их было зарегистрировано 5, за первое полугодие 2011 г. – 30.

Безответственное направление лазерной указки на человека может привести к трагическим последствиям.

Имеются три типа эффектов, которые следует рассмотреть:

1) **Отвлечение внимания.** Это наиболее вероятный результат попадания луча лазера в кабину летательного средства, особенно ночью. При вылете к темноте зрение необходимо для безопасного управления самолетом, особенно во время взлета и посадки. Любое отвлечение во время пилсады или на крутом вираже может иметь неблагоприятные последствия. Неожиданная короткая вспышка от разрешенной (<5 мВт) лазерной указки на расстоянии в 1000 футов может быть достаточной для дезориентации. Для отвлечения внимания не требуется никакой особой лазер.

2) **Кратковременное ослепление.** Это временное явление (от секунды до минут), но в случае, если рядом нет второго, не подвергнувшегося действию пилота, который сможет управлять самолетом в эти несколько минут, это может создать опасную ситуацию.

3) **Постоянное повреждение глаз.** Это наименее вероятное событие. В июне 2004 г. в США было проведено исследование на симуляторе о влиянии лазерного излучения на способность пилотов видеть и действовать во время захода на посадку. Исследования показали, что даже однократное, длительностью в 1 с воздействие очень слабым светом (полмикроватта на квадратный сантиметр) может иметь умеренный негативный эффект на способность пилота управлять самолетом при заходе на посадку. На этом уровне 18 % пилотов почувствовали временное ослепление, а 13 % видели остаточные изображения. На мощности в 10 раз выше, непрерывных 5 мВт/см², 21 % пилотов отказались или готовы были отказаться от посадки.

Это исследование показывает, что пилоты считают посадку нарушенной теми уровнями мощности, которые бо́льшая часть специалистов по ла-

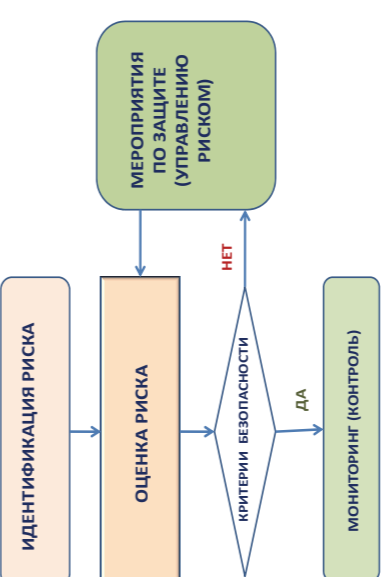


Рис. 9.1

На этапе идентификации производят:

- выявление мест возможного воздействия на людей НЭПИ от источников из соседних помещений или скрытых в стенах, покрытии пола или потолка;
- определение вида поля, частоты излучения и его физических характеристик;
- проверку выполнения правил безопасной эксплуатации оборудования, наличия и исправности коллективных и индивидуальных средств защиты;
- определение групп людей, находящихся в зоне действия НЭПИ: население, персонал, в том числе уязвимые группы (подростки, беременные женщины);
- подбор и изучение нормативной литературы, устанавливающей ПДУ и ограничения на работу с источниками для разных групп людей (см. приложение 1);
- подготовку соответствующего метрологического оборудования или заключение договора с аккредитованной организацией для проведения метрологических исследований. На стадии предпроектных и проектных исследований – подбор математических моделей для выполнения оценок расчетными методами.

6.1. Общий алгоритм

исследований – подбор математических моделей для выполнения оценок расчетными методами.

На этапе оценки риска здоровью от действия НЭПИ производят:

- на предпроектной (стадия оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС)) и проектной стадии – расчеты действующих уровней электромагнитных полей и излучений;
 - на стадии эксплуатации – измерения действующих уровней электромагнитных полей и излучений;
 - сопоставления частот заболеваний экспонированных и контрольных групп по эпидемиологическим данным;
 - углубленные медицинские исследования;
 - для профессионалов по отклонению уровней НЭПИ от ПДУ проводят определение классов условий труда по Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [65]; класс условий труда расценивается как мера риска, риск рассматривается как подозреваемый;
 - оценку профессиональных рисков по Руководству Р 2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» [66];
 - ранжирование персонала по уровню профессионального риска;
 - оценку вероятности профессиональных и общих заболеваний [26, 27, 49, 56, 58, 59, 61, 63, 65, 66, 97];
 - выявление специфических групп риска персонала:
- проверка выполнения правил по защите здоровья подростков, в том числе для беременных женщин [5, 42, 54, 77];
- проверка выполнения правил по защите здоровья подростков [55, 86];
- определение рангов проблем [63, 65, 66];

На стадии проверки выполнения критериев безопасности в качестве критерия используют ПДУ НЭПИ.

Этап корректирующих мероприятий. Если критерии безопасности не выполнены (уровень выше ПДУ, класс условий труда выше второго, профессиональный риск существенный, условия безопасности для уязвимых групп не выполнены и т.п.), разрабатывается комплекс управляющих (защитных, корректирующих и др.) мероприятий по снижению риска их приоритет (срочность). Срочность мероприятий по снижению риска должна соответствовать рангу проблем (см. подраздел 9.3 [66]).

Общие рекомендации по изучению вариантов для исключения рисков или управления рисками приводятся в ГОСТ 12.0.0230-2007 «Система управления охраной труда. Общие требования» [20] и ГОСТ 12.0.010-2009 «Система управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков» [12].

Большая часть УФ-В поглощается озоновым слоем, так что доля УФ-В во всей энергии ультрафиолетового излучения в летний полдень составляет всего около 3 %. Он практически не проникает сквозь стекло, на 70 % отражается ротовым слоем, на 20 % ослабляется при прохождении через эпидермис – в дерму проникает менее 10 %.

Однако длительное время считалось, что доля УФ-В в повреждающем действии ультрафиолета составляет 80 %, поскольку именно этот спектр отвечает за возникновение эритемы солнечного ожога.

УФ-А не задерживается озоновым слоем, проходит сквозь стекло и роговой слой кожи. Поток УФ-А (среднее значение в полдень) в два [109] раза выше на уровне Полярного круга, чем на экваторе, так что абсолютное его значение больше в высоких широтах. Не отмечается и существенных колебаний в интенсивности УФ-А в разные времена года. За счет полного поглощения ультрафиолетового излучения в летний полдень состав- ляет всего около 3 %. Он практически не проникает сквозь стекло, на 70 % отражается ротовым слоем, на 20 % ослабляется при прохождении через эпидермис – в дерму проникает менее 10 %.

Однако длительное время считалось, что доля УФ-В в повреждающем действии ультрафиолета составляет 80 %, поскольку именно этот спектр отвечает за возникновение эритемы солнечного ожога.

УФ-А не задерживается озоновым слоем, проходит сквозь стекло и роговой слой кожи. Поток УФ-А (среднее значение в полдень) в два [109] раза выше на уровне Полярного круга, чем на экваторе, так что абсолютное его значение больше в высоких широтах. Не отмечается и существенных колебаний в интенсивности УФ-А в разные времена года. За счет полного поглощения ультрафиолетового излучения в летний полдень состав- ляет всего около 3 %. Он практически не проникает сквозь стекло, на 70 % отражается ротовым слоем, на 20 % ослабляется при прохождении через эпидермис – в дерму проникает менее 10 %.

| Временной интервал, (за полдень принимается – 13:00) | % от дневного УФ-излучения |
|--|----------------------------|
| До 9:30 | 6 |
| 9:30 – 10:30 | 8 |
| 10:30 – 11:30 | 12 |
| 11:30 – 12:30 | 15 |
| 12:30 – 13:30 | 17 |
| 13:30 – 14:30 | 15 |
| 14:30 – 15:30 | 12 |
| 15:30 – 16:30 | 8 |
| 16:30 – 17:30 | 4 |
| 17:30 – 18:30 | 2 |
| После 18:30 | 1 |

Примерное соотношение УФ-излучения, получаемого в безоблачный летний день [109]

Таблица 8.1

Максимальных значений поток УФ достигает в середине лета на Южном полушарии (Земля на 5 % ближе к солнцу) и 50 % от суточного количества УФ поступает в течение четырех полуденных часов. В табл. 8.1 [109] представлено примерное соотношение УФ-излучения в течение дня для географических широт 20° – 60°.

Большая часть солнечной энергии достигает земли в качестве видимого света и инфракрасного излучения, и лишь незначительная часть – в виде ультрафиолета. Причем из всего спектра УФ-излучения Солнца земной поверхности [31] достигает только небольшая длинноволновая часть ($\lambda > 0.29$ мкм). Остальная часть всего УФ-спектра, в особенности, коротковолновая, поглощается атмосферой, что оказывает сильное влияние на атмосферные процессы.

Таблица 8.2

Типы кожи [109]

| Тип кожи | Описание |
|----------|---|
| Тип 1 | Всегда обгорают, невозможно добиться загара (рыжие). Фотозащита обязательна |
| Тип 2 | Обычно обгорают, с трудом удается добиться загара (блондины). Фотозащита обязательна |
| Тип 3 | Иногда обгорают, иногда загорают (европейцы). Фотозащита желательна |
| Тип 4 | Обгорают только небольшие участки кожи, всегда загорают (азияты, индейцы). Фотозащита может понадобиться только при очень длительном пребывании на солнце |
| Тип 5 | Обгорают редко, приобретают интенсивный загар (дравиды, австралийские аборигены). |
| Тип 6 | Никогда не обгорают, сильно загорают (негроиды) |

УФ-А излучение не вызывает солнечных ожогов, однако именно эта область УФ-излучения главным образом ответственна за появление признаков фотостарения, а также за УФ-индуцированный канцерогенез, так как является основным фактором пигментоскопического воздействия солнечного света в базальном слое эпидермиса за счет образования свободных радикалов и повреждения цепей ДНК [109].

Поскольку УФ-А излучение не дает утолщения эпидермиса, вызываемый им загар малозффективен в качестве защиты от последующего УФ-облучения, в отличие от пигментации, вызванной УФ-В излучением.

Острое воздействие УФ-излучения проявляется в виде солнечной эритемы и (или) ожога. Так, в табл. 8.3 [109] представлено число МЭД за период экспозиции, равный 3 ч, для чувствительного типа кожи (тип 1 и 2) для величин УФ-В излучения, вызывающих эритему с учетом географической широты и времени года для северного полушария.

Отметим, что для любителей позагорать фактическая доза облучения может превышать 100 МЭД в год.

Хроническое воздействие УФ-излучения заключается в следующем:

- угнетения иммунитета;
- раке кожи;
- доброкачественных аномалиях меланоцитов (веснушки, меланотатные невусы, солнечные и старческие lentigo);
- фотостарения кожи (результат хронического облучения кератиноцитов, сосудов и фиброзных тканей – «солнечный эластоз»).

К снижению иммунитета приводят оба вида УФ-излучения (УФ-А и УФ-В). Кроме этого, воздействие этих излучений может активировать вирус герпеса.

Все основные типы переносных УФ измерительных приборов (табл. 8.6 [3]) разделяются на спектральные (спектрорадиометры) и интегральные приборы.

8.5. Контроль ультрафиолетового излучения

Ультрафиолетового излучения представлена в приложении 1.

Другая документация по надзору за источниками ультрафиолетового излучения представлена в приложении 1.

Основными нормами ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» [94] и МУ № 5046-89 «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей» [43].

Такая документация по надзору за источниками ультрафиолетового излучения представлена в приложении 1.

| Длина волны, нм | Доза за 8-часовой рабочий день, мДж/см ² | Относительная спектральная эффективность |
|-----------------|---|--|
| 200 | 100 | 0.0 |
| 201 | 0001 | 0.000 |
| 202 | 000 | 0.010 |
| 203 | 005 | 0.015 |
| 204 | 001 | 0.020 |
| 205 | 003 | 0.030 |
| 206 | 006 | 0.040 |
| 207 | 012 | 0.050 |
| 208 | 022 | 0.070 |
| 209 | 040 | 0.100 |
| 210 | 070 | 0.150 |
| 211 | 120 | 0.200 |
| 212 | 200 | 0.250 |
| 213 | 350 | 0.350 |
| 214 | 600 | 0.500 |
| 215 | 1000 | 0.700 |
| 216 | 1700 | 1.000 |
| 217 | 2800 | 1.500 |
| 218 | 4500 | 2.200 |
| 219 | 7500 | 3.200 |
| 220 | 12000 | 4.500 |
| 221 | 20000 | 6.500 |
| 222 | 32000 | 9.500 |
| 223 | 50000 | 14.000 |
| 224 | 80000 | 21.000 |
| 225 | 130000 | 31.000 |
| 226 | 200000 | 45.000 |
| 227 | 320000 | 65.000 |
| 228 | 500000 | 95.000 |
| 229 | 800000 | 140.000 |
| 230 | 1300000 | 210.000 |
| 231 | 2000000 | 310.000 |
| 232 | 3200000 | 450.000 |
| 233 | 5000000 | 650.000 |
| 234 | 8000000 | 950.000 |
| 235 | 13000000 | 1400.000 |
| 236 | 20000000 | 2100.000 |
| 237 | 32000000 | 3100.000 |
| 238 | 50000000 | 4500.000 |
| 239 | 80000000 | 6500.000 |
| 240 | 130000000 | 9500.000 |
| 241 | 200000000 | 14000.000 |
| 242 | 320000000 | 21000.000 |
| 243 | 500000000 | 31000.000 |
| 244 | 800000000 | 45000.000 |
| 245 | 1300000000 | 65000.000 |
| 246 | 2000000000 | 95000.000 |
| 247 | 3200000000 | 140000.000 |
| 248 | 5000000000 | 210000.000 |
| 249 | 8000000000 | 310000.000 |
| 250 | 13000000000 | 450000.000 |
| 251 | 20000000000 | 650000.000 |
| 252 | 32000000000 | 950000.000 |
| 253 | 50000000000 | 1400000.000 |
| 254 | 80000000000 | 2100000.000 |
| 255 | 130000000000 | 3100000.000 |
| 256 | 200000000000 | 4500000.000 |
| 257 | 320000000000 | 6500000.000 |
| 258 | 500000000000 | 9500000.000 |
| 259 | 800000000000 | 14000000.000 |
| 260 | 1300000000000 | 21000000.000 |
| 261 | 2000000000000 | 31000000.000 |
| 262 | 3200000000000 | 45000000.000 |
| 263 | 5000000000000 | 65000000.000 |
| 264 | 8000000000000 | 95000000.000 |
| 265 | 13000000000000 | 140000000.000 |
| 266 | 20000000000000 | 210000000.000 |
| 267 | 32000000000000 | 310000000.000 |
| 268 | 50000000000000 | 450000000.000 |
| 269 | 80000000000000 | 650000000.000 |
| 270 | 130000000000000 | 950000000.000 |
| 271 | 200000000000000 | 1400000000.000 |
| 272 | 320000000000000 | 2100000000.000 |
| 273 | 500000000000000 | 3100000000.000 |
| 274 | 800000000000000 | 4500000000.000 |
| 275 | 1300000000000000 | 6500000000.000 |
| 276 | 2000000000000000 | 9500000000.000 |
| 277 | 3200000000000000 | 14000000000.000 |
| 278 | 5000000000000000 | 21000000000.000 |
| 279 | 8000000000000000 | 31000000000.000 |
| 280 | 13000000000000000 | 45000000000.000 |
| 281 | 20000000000000000 | 65000000000.000 |
| 282 | 32000000000000000 | 95000000000.000 |
| 283 | 50000000000000000 | 140000000000.000 |
| 284 | 80000000000000000 | 210000000000.000 |
| 285 | 130000000000000000 | 310000000000.000 |
| 286 | 200000000000000000 | 450000000000.000 |
| 287 | 320000000000000000 | 650000000000.000 |
| 288 | 500000000000000000 | 950000000000.000 |
| 289 | 800000000000000000 | 1400000000000.000 |
| 290 | 1300000000000000000 | 2100000000000.000 |
| 291 | 2000000000000000000 | 3100000000000.000 |
| 292 | 3200000000000000000 | 4500000000000.000 |
| 293 | 5000000000000000000 | 6500000000000.000 |
| 294 | 8000000000000000000 | 9500000000000.000 |
| 295 | 13000000000000000000 | 14000000000000.000 |
| 296 | 20000000000000000000 | 21000000000000.000 |
| 297 | 32000000000000000000 | 31000000000000.000 |
| 298 | 50000000000000000000 | 45000000000000.000 |
| 299 | 80000000000000000000 | 65000000000000.000 |
| 300 | 130000000000000000000 | 95000000000000.000 |

Таблица 8.5

ПДУ УФ-облучения

Таблица 8.3

Число МЭД для величин УФ-В излучения, вызывающих эритему [109]

| Ширина рта | Янв. | Фев. | Мар. | Апр. | Май | Июн. | Июл. | Авг. | Сен. | Окт. | Нояб. | Дек. |
|------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|------|
| 0 | 12 | 14 | 14 | 12 | 11 | 11 | 12 | 13 | 15 | 13 | 12 | 12 |
| 5 | 11 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 13 | 14 | 12 | 11 | 11 |
| 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 12 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 |
| 15 | 8 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 12 | 11 | 8 | 7 |
| 20 | 7 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 11 | 10 | 7 | 6 |
| 25 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 5 |
| 30 | 4 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 11 | 10 | 10 | 6 | 5 | 3 |
| 35 | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 10 | 9 | 8 | 5 | 3 | 2 |
| 40 | 2 | 3 | 5 | 8 | 8 | 10 | 9 | 9 | 7 | 4 | 2 | 1 |
| 45 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 8 | 7 | 5 | 2 | 1 | 1 |
| 50 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 55 | 0 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 6 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 65 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 75 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Однако следует отметить, что при недостатке ультрафиолета также отмечается снижение иммунитета.

В настоящее время считается, что влияние ультрафиолетового излучения на частоту возникновения рака кожи достоверно установлено. При этом при сравнении данных о заболеваемости и смертности с учетом места жительства (юг/север), характера работы (в помещении, вне помещения, фермеры), социально-экономических факторов, физической активности была подтверждена более высокая заболеваемость раком кожи в регионах с наибольшим уровнем ультрафиолетового излучения и в группе лиц, работающих вне помещения. В табл. 8.4 [109] приведена частота заболевания плоскоклеточным раком кожи и базалиомой на 100 000 населения в год для Белогожского населения.

Что касается влияния ультрафиолетового излучения на возникновение меланомы, то здесь мнения ученых расходятся. С одной стороны, отмечается преимущественное развитие меланомы на открытых участках тела, подвергавшихся избыточному воздействию солнечного света [109], а с другой стороны, выявлено, что чаще меланомы встречаются среди тех, кто работает в помещении. Более того, в настоящее время доказано, что смертность от меланомы уменьшается при увеличении дозы УФ-В излучения [109].

«Аэрионный состав воздуха не является обязательным показателем. Его рекомендуется измерять в рабочих помещениях, воздушная среда которых подвергается специальной очистке или кондиционированию, где

| | | |
|---|-------|---|
| Энергетическая экспозиция $E_{ЭЭ}$, (В/м) ² ·ч | 20000 | 0.03 – 3.0 МГц |
| | 200 | |
| Энергетическая экспозиция $E_{ЭН}$, (А/м) ² ·ч | 800 | $\geq 30.0 - 50.0$ МГц |
| Энергетическая экспозиция $E_{ЭЭ}$, (В/м) ² ·ч | 0.72 | |
| Энергетическая экспозиция $E_{ЭН}$, (А/м) ² ·ч | 200 | 300.0 – 300000 МГц |
| Энергетическая экспозиция $E_{ЭПпг}$, (мкВт/см ²)·ч | | |
| 7 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона частотой $\geq 10 - 30$ кГц | | |
| Напряженность электрического поля Е, В/м | 500 | 8 ч |
| Напряженность магнитного поля Н, А/м | 50 | |
| Напряженность электрического поля Е, В/м | 1000 | ≤ 2 ч |
| Напряженность магнитного поля Н, А/м | 100 | |
| Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона частотой ≥ 30 кГц – 300 ГГц | | |
| Напряженность электрического поля Е, В/м | 250 | 50 Гц |
| Напряженность магнитного поля Н, нТл | 25 | В диапазоне частот 2 – 400 кГц |
| Напряженность электростатического поля, кВ/м | 15 | В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц |
| Напряженность электрического поля Е, В/м | 2.5 | В диапазоне частот 2 – 400 кГц |
| Плотность магнитного потока В, нТл | 250 | В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц |
| Напряженность электромагнитного поля Е, В/м | 500 | 45 – 55 Гц в помещениях с высоким уровнем фонового ЭМП промышленности частоты 50 Гц |
| Индукция магнитного поля В, мкТл | 5 | 45 – 55 Гц в помещениях с высоким уровнем фонового ЭМП промышленности частоты 50 Гц |
| 8 Электромагнитные поля на рабочем месте пользователя ПЭВМ | | |
| Напряженность электростатического поля Е, В/м | 25 | В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц |
| Напряженность магнитного поля Н, кА/м | 6-400 | н $1 \leq$ |
| Напряженность магнитного поля Н, кА/м | 0091 | н 4 |
| Напряженность магнитного поля Н, кА/м | 3200 | н 2 |
| Напряженность магнитного поля Н, кА/м | 800 | н 8 |
| 9 Электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц): периодическое локальное | | |
| Напряженность электростатического поля Е, В/м | 25 | 1 |
| Напряженность магнитного поля Н, нТл | 250 | 2 |
| Плотность магнитного потока В, нТл | 25 | 3 |

Продолжение табл. 9.2

| | | |
|--|---|---|
| 11 Аэрионный состав воздуха производственных и общественных помещений. МУК 4.3.1675-03 «Общие требования к проведению контроля аэрионного состава воздуха» | 2 | 1 |
|--|---|---|

Продолжение табл. 9.1

При работе с нормативными документами всегда нужно проводить работу по их актуализации через поисковые системы «Интернет», а лучше с помощью профессиональных систем «Кодекс» или «Консультант плюс», где отслеживается введение любых изменений. В табл. 9.2 представлена сводка величин ПДУ для профессионалов для наиболее часто встречающихся полей.

Таблица 9.2

| Величины ПДУ НЭПИ для профессионалов | | |
|---|----------------|---|
| Название и обозначение ПДУ, единицы измерения | Значение | Время воздействия |
| 1 Геомагнитное поле | 2 | 3 |
| Коэффициент ослабления ПДУ $K_{мп}$, о.е. | ≤ 2 | Не регламентируется |
| 2 Электростатическое поле | 20 | 8 ч |
| Напряженность электростатического поля $E_{пду}$, кВ/м | $60/(T)^{0.5}$ | Т от 8 до 1 ч ≤ 1 ч |
| Пребывание без средств защиты запрещено | >60 | |
| 3 Постоянное магнитное поле: общее действие | 8 | 61 – 480 мин |
| Напряженность магнитного поля $H_{пду}$, кА/м | 16 | 11 – 60 мин |
| | 24 | 0 – 10 мин |
| Постоянное магнитное поле: локальное действие | | |
| Напряженность магнитного поля $H_{пду}$, кА/м | 12 | 61 – 480 мин |
| | 24 | 11 – 60 мин |
| | 40 | 0 – 10 мин |
| 4 Электрические поля промышленной частоты (50 Гц) | 5 | 8 ч |
| Напряженность электрического поля $E_{пду}$, кВ/м | $50/(T+2)$ | Т от 8 до 1 ч |
| | $20 - 25$ | 10 мин |
| | >25 | Пребывание без средств защиты запрещено |
| 5 Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц): периодическое общее | 1600 | ≤ 1 ч |
| Напряженность магнитного поля H , кА/м | 800 | 2 ч |
| | 400 | 4 ч |
| | 80 | 8 ч |

290

– показатели заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ);

– показатели состояния здоровья по результатам периодических медосмотров;

– показатели следующие медико-биологические показатели:

9.5. Медико-биологические показатели для повышения меры доказанности профессиональных рисков

Для повышения меры доказанности профессиональных рисков следует определять следующие медико-биологические показатели:

– показатели состояния здоровья по результатам периодических медосмотров, нельзя начинать или продолжать до снижения риска.

Определяем категорию профессионального риска и срочности мер профилактики по табл. 9.12. Для исследуемой группы работников существует очень высокий (непереносимый) профессиональный риск, работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска.

$$I_{пр} = K_p \cdot K_T \cdot 2 \cdot 1 = 0,5.$$

Рассчитываем индекс профзаболеваний по формуле (9.1):

Определяем K_T по табл. 9.11: для прогрессирующей нетрудоспособности $K_T = 1$.

Определяем K_p по табл. 9.10: для $N = 5\%$, $K_p = 2$.

Медицинский прогноз – прогрессирующая нетрудоспособность.

Подвергаются воздействию электромагнитных излучений радиодиапазона СВЧ ($N = 5\%$). Профзаболевание – вегетативно-сосудистая дистония. Медицинский прогноз – прогрессирующая нетрудоспособность.

Пример определения риска по индексу $I_{пр}$. В качестве примера

рассчитаем индекс профзаболеваний для персонала, обслуживающего источники электромагнитных излучений радиодиапазона СВЧ. Выявлены случаи профзаболеваний из общей численности группы, подвергавшейся воздействию электромагнитных излучений радиодиапазона СВЧ ($N = 5\%$). Профзаболевание – вегетативно-сосудистая дистония. Медицинский прогноз – прогрессирующая нетрудоспособность.

| Класс УТ по Р 2.2.2006-05 | Показатели | 1 | 2 | 3 |
|---|--|----|---|----|
| состояния здоровья (результаты медосмотров) | заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) | + | + | + |
| | смертности, нежджития, инвалидности и здоровья потовства | + | + | + |
| 3.1 | + | + | + | + |
| 3.2 | ++ | ++ | + | ++ |
| 3.3 | ++ | ++ | + | ++ |
| 3.4 | ++ | ++ | + | ++ |
| 4 | ++ | ++ | + | ++ |

Продолжение табл. 9.1

– показатели биологического возраста в сравнении с паспортным;

– показатели смертности, сокращения продолжительности жизни (нежджития), инвалидности;

– показатели нарушения репродуктивного здоровья и здоровья потовства.

Актуальность определения этих показателей («рекомендуются» или «обязательно») определена Р 2.2.1766-03 и представлена в табл. 9.13 [66] в зависимости от классов вредных и опасных условий труда. При оптимальных и нормальных условиях труда (классы 1 и 2 соответственно) определение таких показателей не обязательно.

Таблица 9.13

Медико-биологические показатели для оценки риска в зависимости от класса условий труда

| Класс УТ по Р 2.2.2006-05 | Показатели | 1 | 2 | 3 |
|---|--|----|---|----|
| состояния здоровья (результаты медосмотров) | заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) | + | + | + |
| | смертности, нежджития, инвалидности и здоровья потовства | + | + | + |
| 3.1 | + | + | + | + |
| 3.2 | ++ | ++ | + | ++ |
| 3.3 | ++ | ++ | + | ++ |
| 3.4 | ++ | ++ | + | ++ |
| 4 | ++ | ++ | + | ++ |

Примечание. + рекомендуется, ++ обязательно

Для персонала, работающего в условиях, соответствующих классу 3.2, обязательно контролировать состояние здоровья по результатам медицинских осмотров.

Для персонала, работающего в условиях, соответствующих классу 3.3, наряду с медосмотрами необходимо проводить контроль ЗВУТ и нарушения репродуктивного здоровья.

Для персонала, работающего в условиях, соответствующих классу 3.4, к перечисленным выше мероприятиям следует добавить контроль показателей смертности, нежджития, инвалидности.

Границе между классами вредных и экстремальных условий труда 3.4 и 4 соответствуют следующие значения медико-биологических показателей [66]:

- общесоматические заболевания и мутационные нарушения – относительный риск выше 5;
- акселерация старения и нежджитие – 10 лет и более;
- риск профессионально обусловленной смертности – выше 7.

| Показатель | Класс условий труда | | | |
|--|----------------------|-------------|-----------|---------|
| | оптимальный | допустимый | вредный | опасный |
| Геомагнитное поле (ослабление) | 1 | 2 | 3.1 | 3.2 |
| | Превышение ПДУ (раз) | | | |
| Электростатическое поле | Естественный фон | \leq ВДУ | \leq 5 | >5 |
| | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | >5 |
| Постоянное магнитное поле | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | >5 |
| | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | >5 |
| Электрические поля промышленной частоты | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 10 | >10 |
| | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | >40** |
| Магнитные поля промышленной частоты | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | >10 |
| | Естественный фон | \leq ВДУ | - | - |
| Электромагнитные поля на рабочем месте пользователя ПЭВМ | - | \leq ВДУ | >ВДУ | - |
| | - | \leq ВДУ | - | - |
| Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 10 | >10 |
| | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 10 | >10 |
| 0,01 – 0,03 МГц | Естественный фон | \leq ПДУ* | \leq 5 | - |
| | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 10 | >10 |
| 0,03 – 3,0 МГц | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 5 | - |
| | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 10 | >10 |
| 3,0 – 30,0 МГц | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 5 | - |
| | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 10 | >10 |
| 30,0 – 300,0 МГц | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 5 | >100** |
| | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 10 | >100** |
| 300,0 МГц – 300,0 ТГц | Естественный фон | \leq ПДУ | \leq 5 | >50*** |
| | - | \leq ПДУ | \leq 5 | >50*** |

Примечание.
* Значения ПДУ, с которыми проводится сравнение измеренных на рабочих местах величин ЭМП, определяются в зависимости от времени воздействия фактора в течение рабочего дня.
** Превышение ПДУ напряженности электрического поля для количества электромагнитных импульсов не более 5 в течение рабочего дня

| Перечень заболеваний, связанных с воздействием вредных производственных факторов | Код заболевания МКБ-10 | Вредный производственный фактор* | Код внешней причины МКБ-10 |
|---|------------------------|---|----------------------------|
| Заболевания, связанные с воздействием производственного неионизирующего излучения факторов | | | |
| 2.1 Заболевания, связанные с воздействием СВЧ-излучения (катаракта) | H26.8 | СВЧ-излучение | Y96 |
| 2.2 Заболевания, связанные с систематическим воздействием инфракрасного излучения (катаракта) | H26.8 | Инфракрасное излучение | Y96 |
| 2.3 Заболевания, связанные с воздействием электромагнитного поля (выраженные расстройства вегетативной (автономной) нервной системы, при воздействии ЭМП диапазона радиочастот гемаглолитический синдром (лейкопения, тромбоцитопения, панцитопения), гипоталамический синдром) | T66 | Электромагнитное поле | Y96 |
| 2.4 Заболевания, связанные с воздействием лазерного излучения: поражение органа зрения (роговицы глаз, сетчатки), поражение кожи (пигментные невусы, ожоги) | H 26.8 L 57.8 | Лазерное излучение | Y96 |
| 2.5 Заболевания, связанные с воздействием УФ-излучения: фотокератит, фотодерматит | H16.1 L 56.8 | УФ-излучение | Y96 |
| 2.6 Заболевания, связанные с воздействием гипогеммагнитного поля (выраженные расстройства вегетативной (автономной) нервной системы) | G90.8 | Гипогеммагнитное поле (ослабленное естественное магнитное поле Земли) | Y96 |

* Если производственных канцерогенов, вызывающих онкологические заболевания, указано только ультрафиолетовое излучение

Классы условий труда при действии НЭПИ [65]

Таблица 9.4

| Фактор | Класс условий труда | | | |
|--|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| | допустимый | вредный | вредный | опасный |
| Лазерное излучение ¹⁾ | 2 | 3.1 | 3.2 | 4 |
| | ПДУ ² | $>$ ПДУ ² | \leq 10 ПДУ ² | $>$ 10 ³ ПДУ ² |
| Ультрафиолетовое излучение ⁴⁾ | | | | |
| | | | | |
| при наличии производственных источников УФ-А+УФ-В, УФ-С, Вт/м ² | | | | |
| | | | | |
| при наличии источников УФ-А (УФ-А), мВт/м ² , ³⁾ | | | | |
| | | | | |

1) В соответствии с СанПиН 5804-91 «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» (ПДУ1 – для хронического воздействия, ПДУ2 – для однократного воздействия).
2) В соответствии с «Санитарными нормами ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» (№ 4557-88). При превышении ДИИ работа допускается при использовании средств коллективной и/или индивидуальной защиты.
3) В соответствии с методическими указаниями «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения)» (№ 5046-89).
4) При несоблюдении нормативных требований установка профилактического облучения подлежит отключению ввиду её неэффективности (фактическая облученность менее 9 мВт/м²) или опасности (фактическая облученность более 45 мВт/м²) и при оценке параметров освещения считается отсутствующей

Классы условий труда при действии НЭПИ оптического диапазона (лазерное, ультрафиолетовое) [65]

Таблица 9.5

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).
Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Таблица 9.9

Список профзаболеваний от действия НЭПИ [97, 120]

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Контроль за установлением связи заболевания с профессией, правильным применением Списка профессиональных заболеваний и Инструкции к нему возлагается на территориальные органы управления здравоохранением, а также Федеральный экспертный совет по профзаболеваниям при НИИ медицины труда РАМН» [66].

Определение степени утраты профессиональной трудоспособности в процентах возложено на медико-социальные экспертные комиссии Минсоцзащиты России (МСЭК).

Пример определения класса условий труда. В табл. 9.6 показано исследование условий труда по электромагнитному фактору в одном из вычислительных центров (ВЦ) университета на примере одного из рабочих мест. Как следует из представленных данных, выявлено превышение над ПДУ по электрическому и магнитному полю в низкочастотной области спектра. По этим видам полей назначен класс условий труда 3.1 (вредные условия труда). По остальным видам полей превышений над ПДУ не выявлено и класс условий труда – 2 (нормальные условия труда).

9.4. Профессиональные заболевания

НЭПИ могут вызвать профессиональные заболевания. «Профессиональное заболевание или острое заболевание работающего, связанное с систематическим и длительным воздействием: вредного производственного фактора, свойственного профессии; особых условий труда, характерных для того или иного производства или профессии» [47, 56, 63, 120].

Юридическое значение отнесения заболевания к профессиональному очень велико, т.к. в случае частичной или полной утраты трудоспособности в результате профзаболевания, работник, застрахованный в установленном порядке, имеет право на полное возмещение нанесенного ему вреда (аналогично возмещению вреда при травме в результате несчастного случая на производстве) [58].

«Основным документом, который используется при определении принадлежности данного заболевания к числу профессиональных, является "Перечень профессиональных заболеваний" с инструкцией по его применению.

В 2012 г. утвержден новый Перечень профессиональных заболеваний [97]. В табл. 9.9 приведены профессиональные заболевания, которые могут быть вызваны действием НЭПИ» [97].

«Право впервые устанавливать диагноз хронического профессионального заболевания имеют только специализированные лечебно-профилактические учреждения (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Категория профпатологии (Центры профпатологии), имеющие соответствующую лицензию и сертификат.

Доверительный интервал ОР в этих условиях равен:

$$RR = e^{-\frac{DI_{кор}}{кор}}$$

$$DI_{кор} = KOP \pm 1.96m_{кор}$$

Доверительный интервал $DI_{кор}$ при уровне значимости $\alpha = 0.05$ определяется как:

$$m_{кор} = \sqrt{\sigma_{кор}^2}$$

Стандартная ошибка этого показателя составляет:

$$\sigma_{кор}^2 = \frac{[(a+b)(c+d)]}{[N(N-1)]}$$

Дисперсия корригированного натурального логарифма относительного риска равна:

$$KOP = \ln \left[\frac{[(a+0.5)(d+0.5)]}{[(b+0.5)(c+0.5)]} \right]$$

Первый шаг – вычисление корригированного на малое число наблюдений натурального логарифма относительного риска:

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для оценки доверительного интервала относительного риска RR используется метод Holdane (1956 г.) [35].

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Прогноз на будущее. Величины относительного и абсолютного риска характеризуют уже произошедшую ситуацию (прошлые события) на основе анализа статистических данных заболеваемости.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Для того чтобы предсказать ожидаемую ситуацию в будущем, необходимо рассчитать так называемый «доверительный интервал». Доверительный интервал – это диапазон ожидаемых значений относительного риска заболеваемости в будущем, то есть это прогноз на будущее.

Таблица 9.19

Исходная матрица влияния для анализа по методу четырех полей [35]

| Группа | Численность группы, чел. | | всего |
|---|----------------------------------|---|-------------------|
| | с выявленными вредными эффектами | у которой вредные эффекты не обнаружены | |
| Экспонированные (воздействие имеется) | a | b | a + b |
| Неэкспонированные (воздействие отсутствует, контроль) | c | d | c + d |
| Итого | a + c | b + d | N = a + b + c + d |

Экспонированная группа численностью $P_3 = a + b$ рассматривается состоящей из двух подгрупп численностью $a - c$ выявленными вредным эффектом от предполагаемого действия исследуемого фактора и $b - c$ количество людей, у которых вредные эффекты не обнаружены.

Контрольная группа численностью $P_4 = c + d$ рассматривается состоящей из двух подгрупп численностью $c - c$ выявленными вредным эффектом и $d - c$ количество людей, у которых вредные эффекты не обнаружены. Общая численность двух групп $N = P_3 + P_4 = a + b + c + d$.

Значимость различий частоты заболеваний в сравниваемых группах определяется путем использования критерия χ^2 [35]

$$\chi^2 = ((ad - bc) - N/2)^2 \cdot N / ((a + c)(b + d)(a + b)(c + d)).$$

Критическое значение χ^2 с уровнем значимости $\alpha = 0.05$ составляет 3.84; критическое значение χ^2 с уровнем значимости $\alpha = 0.01 - \chi^2 = 6.63$.

Если рассчитанная величина $\chi^2 > 3.84$ (а тем более > 6.63), то можно считать, что различия частот показателей в сравниваемых группах не случайны. Это и является доказательством связи между действующим фактором и отклонениями в состоянии здоровья экспонированной группы.

Если χ^2 больше установленных критических значений и связь доказана, то целесообразно получить **количественную оценку степени риска** в связи с воздействием предполагаемого причинного фактора.

Различают показатели: **относительного риска (RR)** и непосредственного (EF) или абсолютного риска:

$$RR = F_3 / F_4 = a(c + d) / c(a + b),$$

$$EF = F_3 - F_4 = (a / (a + b) - c / (c + d)) \cdot 100,$$

Доверительный интервал ОР в этих условиях равен:

10.3. Задание на практическое занятие по теме «Создание условий труда для персонала, работающего с ПЭВМ»

| Болезни опорно-двигательного аппарата | Число работающих | Время работы с ПЭВМ за смену, % | Половозрастной состав | Наличие увязываемых групп |
|---------------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 28 | > 50 | Мужчины, 30 лет | Нет |
| Болезни сердечно-сосудистой системы | 45 | > 50 | Женщины, 30 лет | Одна беременная |
| Болезни верхних дыхательных путей | 23 | > 50 | Мужчины, 40 лет | Нет |
| Болезни желудочно-кишечного тракта | 49 | > 50 | Мужчины, 50 лет | Нет |
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 18 | < 50 | Женщины, 25 лет | Две беременные |
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 8 | < 50 | Женщины, 45 лет | Нет |
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 4 | < 50 | Женщины, 23 – 50 лет | Одна беременная |
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 5 | < 50 | Женщины, 40 – 50 лет | Нет |
| Болезни опорно-двигательного аппарата | 5 | < 50 | Мужчины, 30 лет | Нет |

Число случаев заболеваний с временной утратой трудоспособности у работающих с ПЭВМ в расчете на 100 работающих

Таблица 10.2

Число случаев заболеваний с временной утратой трудоспособности у работающих с ПЭВМ в расчете на 100 работающих

1. Определить относительный и абсолютный риск, доверительный интервал относительного риска, силу связи с услу с ПЭВМ.
2. Разработать систему профилактических мероприятий рабочей группы.
3. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.
4. Определить относительный и абсолютный риск, доверительный интервал относительного риска, силу связи с услу с ПЭВМ.
5. Разработать систему профилактических мероприятий рабочей группы.
6. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.
7. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.
8. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.
9. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.
10. Установить причинно-следственную связь повышенной частоты заболеваний экспонированной группы с действием комплекса факторов, характерных для работы на ПЭВМ.

Таблица 10.3

Варианты задания

| Номер варианта | Число рабочих мест | Время работы с ПЭВМ за смену, % | Половозрастной состав | Наличие увязываемых групп |
|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 4 | > 50 | Мужчины, 30 лет | Нет |
| 2 | 5 | > 50 | Женщины, 30 лет | Одна беременная |
| 3 | 2 | > 50 | Мужчины, 40 лет | Нет |
| 4 | 3 | > 50 | Мужчины, 50 лет | Нет |
| 5 | 6 | > 50 | Женщины, 25 лет | Две беременные |
| 6 | 4 | < 50 | Мужчины, 25 лет | Нет |
| 7 | 5 | < 50 | Женщины, 45 лет | Нет |
| 8 | 10 | < 50 | Женщины, 23 – 50 лет | Одна беременная |
| 9 | 8 | < 50 | Женщины, 40 – 50 лет | Нет |
| 10 | 5 | < 50 | Мужчины, 30 лет | Нет |

10.4. Задание на практическое занятие по теме «Исследование слабых электрических и магнитных полей промышленной частоты от бытовой техники на основе данных измерений»

- На основе данных измерений электрических и магнитных полей от различных видов техники:
1. дать оценку опасности;
 2. исследовать характер изменения поля в пространстве для холодильника и морозильной камеры;
 3. дать рекомендацию по безопасной эксплуатации техники.

Протокол измерения магнитных полей промышленной частоты морозильной камеры STINOL и двухкамерного холодильника STINOL прибором ПЗ-50

При измерениях начало координат (точка отсчета (0, 0)) выбрано на поверхности пола в центре вертикальных поверхностей оборудования. Ось Z направлена вверх от поверхности пола. Измерения в плоскостях, параллельных поверхности пола, проводились в зависимости от координаты r при фиксированных значениях высоты поверхности $h = \text{const}$. Начальная (нулевая) точка отсчета принималась от поверхности оборудования. Координата r росла по мере удаления от оборудования.

В табл. 10.4 представлены фоновые уровни магнитных полей на поверхности оборудования в зависимости от высоты над уровнем пола.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это разумно достижимо.

В таких условиях надежной мерой защиты следует признать:

– для профессионалов безусловное выполнение всех установленных на сегодняшний день нормативов и правил;

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неоинизирующие электромагнитные поля и излучения – область, хо-

рошо изученная в части касающейся высоких уровней воздействия полей,

характерных для профессионалов. Но в части, касающейся длительного

воздействия слабых полей на население, еще предстоит много открытий.

Сегодня большинство отечественных и зарубежных исследователей при-

знают, что базовые механизмы действия слабых полей, вызывающие нега-

тивные эффекты в организме человека, пока до конца не известны. «Есть

что-то фундаментальное, чего мы не знаем о человеческом организме», и в

этой части «нужна новая модель для оценки электромагнитной опасности»

[32].

В заблуждениях современного человечества ЭМП не виновны прямо,

но играют далеко не последнюю роль в формировании условий для реали-

зации основных причин болезней:

– генетические изменения бактерий и вирусов, что приводит к появ-

лению нового микрорганнизма;

– изменение сопротивляемости организма в целом, что делает людей

более восприимчивыми к болезням, а иммунной системе мешает справ-

ляться с клеточными аномалиями, создает проблемы с идентификацией

«своей» – «чужой» и с включением/выключением механизма функциониро-

вания антигелл, в результате чего организм начинает бороться против са-

мого себя;

– подавление выработки гормонов;

– понижение уровня мелатонина (обладает природными противора-

ковыми свойствами);

– понижение уровня серотонина (низкий уровень серотонина связы-

вают с предрасположенностью к насилью и суициду. Кроме ЭМП, к из-

вестным подавителям серотонина относят алкоголь, наркотики, стресс);

– повышение уровня адреналина (под действием слабых низкоча-

стотных полей происходит подсознательная стресс-реакция. ЭМП приво-

дит к химическим изменениям в организме, подобным химическим изме-

нениям, возникающим при стрессе. Но человек этот стресс не осознает.

Стресс может влиять на способность к деторождению и повышать кровя-

ное давление, подавлять иммунную систему, активировать рак).

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

– для населения не только выполнение нормативов, но и применение принципа «ALARA» (*alata principle*) – как можно ниже, насколько это ра-

зумно достижимо.

25. <http://www.electrosmog boom.ru/smoghealth.html>.

26. <http://www.electrosmog boom.ru/lopm.html>.

27. <http://www.spews.ru/reviews/phones/safe/>.

28. <http://www.bolshe.ru/book/id>.

29. <http://www.role.com.ru/lopm.htm>.

30. <http://www.bespravno.ru/sssr/gp-dokumenty/rv/page-3.html>.

31. http://slovat.yandex.ru/Охрана_труда/Лазерное_излучение.

32. <http://ru.wikipedia.org/wiki/лазер>.

33. МУК 4.3.680-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

34. МУК 4.3.677-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

35. МУК 4.3.680-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

36. МУК 4.3.677-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

37. МУК 4.3.680-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

38. МУК 4.3.677-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

39. МУК 4.3.680-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

40. МУК 4.3.677-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

41. МУК 4.3.680-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

42. МУК 4.3.677-97 «Методические указания по проведению лабора-

торного контроля за источниками электромагнитных полей неионизи-

рующей части спектра при осуществлении государственного санитарно-

надзора».

Тема 8. Условия труда беременных женщин

Задача 21. Может ли беременная женщина работать на компьютере?

Задача 22. Отличаются ли нормативы на ЭМП для беременных жен-

щин от нормативов для персонала и населения?

42. МУК 4.3.1675-03. Общие требования к проведению контроля воздушного состава воздуха // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>.
43. МУ 5046-89. Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения) // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>.
44. Надеждин, Н. Я. Подробно о сотовых телефонах / Н. Я. Надеждин. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 160 с.
45. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники: в 2 т. Т. 2 / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчан. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 416 с.
46. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / под ред. А. П. Щербо. – СПб. : СПбМАПО, 2002. – 376 с.
47. О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации : федер. закон от 18 июля 2011 г. № 238-ФЗ // Российская газета. – 2011. – 11 апреля. – С. 2.
48. Охрана труда при работе на видеотерминалах. Обзорная информация / ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1986. – Вып. 6. – 52 с.
49. Оценка рисков профессиональных заболеваний : методические указания к практическим занятиям по курсу «Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности» для студентов специальности 280101 / сост. : И. П. Степанова, В. В. Воронова. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. – 50 с.
50. Палычев, Ю. Риск нарушений здоровья от электромагнитных полей / Ю. Палычев, Н. Рубцова, Л. Походзей // Профессиональный риск: справ. / под ред. академика РАМН Н. Ф. Измерова и Э. И. Денисова. – М. : Союздат, 2001. – 188 с.
51. Перевезенцев, Л. Т. Радиолокационные системы аэропортов / Л. Т. Перевезенцев, В. Н. Оларков. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
52. Пестриков, В. М. Азбука сотового телефона / В. М. Пестриков. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Наука и Техника, 2004. – 352 с. : ил.
53. ПОТ РМ-016-2001 (РД 153-34-0-03.150-00). Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок // <http://www.feddoc.ru/files/447.html>.
54. Постановление 162 от 25.02.2000 г. «Об утверждении перечня тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда женщин». – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2008. – 31 с.
5. Гигиенические рекомендации к рациональному трудоустройству беременных женщин. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2002. – 9 с.
6. ГН 2.1.8./2.2/2.107-94. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2008. – 7 с.
7. ГН 2.1.8./2.2/2.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на се-лительных территориях // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
8. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
9. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
10. ГОСТ 12.1.004. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
11. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
12. ГОСТ 12.0.010-2009. Системы управления охраной труда определение опасностей и оценка рисков // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
13. ГОСТ 12.1.010. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
14. ГОСТ 12.1.011. ССБТ. Смеси взрывоопасные классификация и методы испытаний // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

5. Гигиенические рекомендации к рациональному трудоустройству беременных женщин. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2002. – 9 с.
6. ГН 2.1.8./2.2/2.107-94. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2008. – 7 с.
7. ГН 2.1.8./2.2/2.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на се-лительных территориях // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
8. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
9. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
10. ГОСТ 12.1.004. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
11. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
12. ГОСТ 12.0.010-2009. Системы управления охраной труда определение опасностей и оценка рисков // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
13. ГОСТ 12.1.010. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
14. ГОСТ 12.1.011. ССБТ. Смеси взрывоопасные классификация и методы испытаний // <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
42. МУК 4.3.1675-03. Общие требования к проведению контроля воздушного состава воздуха // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>.
43. МУ 5046-89. Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения) // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>.
44. Надеждин, Н. Я. Подробно о сотовых телефонах / Н. Я. Надеждин. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 160 с.
45. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники: в 2 т. Т. 2 / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчан. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 416 с.
46. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / под ред. А. П. Щербо. – СПб. : СПбМАПО, 2002. – 376 с.
47. О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации : федер. закон от 18 июля 2011 г. № 238-ФЗ // Российская газета. – 2011. – 11 апреля. – С. 2.
48. Охрана труда при работе на видеотерминалах. Обзорная информация / ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1986. – Вып. 6. – 52 с.
49. Оценка рисков профессиональных заболеваний : методические указания к практическим занятиям по курсу «Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности» для студентов специальности 280101 / сост. : И. П. Степанова, В. В. Воронова. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. – 50 с.
50. Палычев, Ю. Риск нарушений здоровья от электромагнитных полей / Ю. Палычев, Н. Рубцова, Л. Походзей // Профессиональный риск: справ. / под ред. академика РАМН Н. Ф. Измерова и Э. И. Денисова. – М. : Союздат, 2001. – 188 с.
51. Перевезенцев, Л. Т. Радиолокационные системы аэропортов / Л. Т. Перевезенцев, В. Н. Оларков. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
52. Пестриков, В. М. Азбука сотового телефона / В. М. Пестриков. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Наука и Техника, 2004. – 352 с. : ил.
53. ПОТ РМ-016-2001 (РД 153-34-0-03.150-00). Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок // <http://www.feddoc.ru/files/447.html>.
54. Постановление 162 от 25.02.2000 г. «Об утверждении перечня тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда женщин». – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2008. – 31 с.
55. Постановление Госкомтруда № 283/п-9 от 10.09.1980 г. «О списке производств, профессий и работ с тяжелыми и вредными условиями труда, на которых запрещается применение труда лиц моложе восемнадцати лет» // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
56. Постановление № 967 от 15.12.2000 г. «Об утверждении Положения о расследовании и учете профессиональных заболеваний» // Российская газета. – 2001. – № 6. – 12 января.
57. Постановление № 29 от 13.01.2003 г. «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций» // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
58. Постановление № 967 от 15.12.2000 г. «Об утверждении Положения о расследовании и учете профессиональных заболеваний» // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>
59. Приказ Минздрава РФ № 176 от 28.05.2001 г. «О совершенствовании системы расследования и учета профессиональных заболеваний в Российской Федерации» // Вылететь нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2001. – № 33. – 13 августа.
60. Приказ Минсоцразвития РФ № 733 от 29.11.2007 г. «Об утверждении Административного регламента Федерального медико-биологического агентства по исполнению государственной функции по организации проведения медико-социальной экспертизы, по организации деятельности по установлению связи заболевания (смерти) с профессией, а также причинной связи заболевания, инвалидности или смерти с воздействием особо опасных факторов физической, химической и биологической природы» // Вылететь нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2008. – № 16. – 21 апреля.
61. Приказ Минздравасоцразвития России № 302н от 12.04.2011 г. «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда».
62. Проект Положения о системе управления профессиональными рисками // <http://elementy.ru/Library/6/r1.htm>.
63. Профессиональный риск : справ. / под ред. Н. Ф. Измерова и Э. И. Денисова. – М. : Союздат, 2001. – 267 с.
64. Рекомендации Международного комитета по неонизирующим излучениям о ПДУ электрического и магнитного поля промышленной частоты от 1999 г. – М. : Интрсен, 2000. – 21 с.
65. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий
- Joeckel K.H. The possible role of Radio frequency radiation in the development of uveal melanoma. Epidemiology, 2001, 12, 1, 1-4.
106. Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones ans the risk for brain tumors. Eur. J. Cancer Prev., 2001, 10, 6, 523-529.
107. UN. Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS). – New York and Geneva: United Nations, 2003 (ISBN 92-1-1115140-6). – 474 pp.
108. <http://electrosmog.by.ru/sourceemv.html>.
109. <http://surgeon.spb.ru/print/2/3/ns/2324.html>.
110. <http://www.pole.com.ru/show.htm>.
111. <http://www.pole.com.ru/scell.htm>.
112. <http://www.pole.com.ru>.
113. <http://www.electrosmog.boom.ru/smoghealth.html>.
114. <http://electrosmog.by.ru/sar.html>.
100. Холодов, Ю. А. Шестой и седьмой океан. Очерк по истории биологии / Ю. А. Холодов. – М. : Знание, 1978. – 122 с.
101. Электротехнический справочник. Т. 2 / под ред. П. Г. Грудинского [и др.]. – М. – изд., испр. – М. – 5-е изд. – 288 с.
102. Электробезопасность на промышленных предприятиях : справ. / под ред. Р. В. Соборно. – Киев : Техника, 1985. – 288 с.
103. Яновский, Б. М. Земной магнетизм : учеб. пособие / Б. М. Яновский. – Л. : ЛГУ, 1978. – 592 с.
104. Criteria for a recommended standard ... Occupational exposure to ultraviolet radiation. New York, National Institute for Occupational Safety and Health, 1972.
105. Stang A., Anastassiou G., Ahrens W., Bromen K., Bornfeld N., Joeckel K.H. The possible role of Radio frequency radiation in the development of uveal melanoma. Epidemiology, 2001, 12, 1, 1-4.
106. Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones ans the risk for brain tumors. Eur. J. Cancer Prev., 2001, 10, 6, 523-529.
107. UN. Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS). – New York and Geneva: United Nations, 2003 (ISBN 92-1-1115140-6). – 474 pp.
108. <http://electrosmog.by.ru/sourceemv.html>.
109. <http://surgeon.spb.ru/print/2/3/ns/2324.html>.
110. <http://www.pole.com.ru/show.htm>.
111. <http://www.pole.com.ru/scell.htm>.
112. <http://www.pole.com.ru>.
113. <http://www.electrosmog.boom.ru/smoghealth.html>.
114. <http://electrosmog.by.ru/sar.html>.

15. ГОСТ 12.1.018-93. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования // gtema.ru/bd/gost/12-1-018/121018.htm
16. ГОСТ Р 12.4.026-2001. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
17. ГОСТ 12.1.040-83. ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
18. ГОСТ 12.1.044. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения // <http://gtema.ru/bd/gost/12-1-018/121018.html>
19. ГОСТ 12.1.045-84. ССБТ. Электротехнические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2008. – 3 с.
20. ГОСТ 12.0.0230-2007. Система управления охраной труда. Общие требования // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
21. ГОСТ Р 51724-2001. Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле типорезомагнитное. Методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
22. Долгин, П. А. Основы техники безопасности в электростановках : учеб. пособие для вузов / П. А. Долгин. – М. : Знак, 2000. – 440 с.
23. Дубов, А. П. Гигиенические и физиологические эффекты действия ультрафиолетовой радиации на вышшие растения / А. П. Дубов. – М. : Наука, 1968. – 58 с.
24. Защита от воздействия электромагнитных полей промышленной частоты и статических полей : методические указания к дипломному проектированию / К. Р. Малаян. – Л. : ЛПИ, 1987. – 44 с.
25. Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности / ред. В. И. Филипов и Ю. А. Морозов. – М. : ВЦНИИП охраны труда ВЦСПС, 1973. – 100 с.
26. Инструкция по составлению санитарно-гигиенической характеристики условий труда работника при подзрении у него профессионального заболевания (оправления) (Информационное письмо Минздрава России от 12 сентября 2001 г. № 1100/2730-1-111) // Социальная защита. – № 1. – 2002.
27. Инструкция по применению списка профессиональных заболеваний», утвержденная Минздравом СССР и ВЦСПС 25-26.02.1970 // <http://www.bespravno.ru/ssst/gn-dokumeny/r9/v/page-3.htm/>
28. Кайданов, Ф. В. Зарубежные исследования влияния сильных электрических полей линий и подстанций сверхвысоких напряжений переменного и постоянного тока и их воздействие на людей и животных / Ф. В. Кайданов, Н. Н. Тиходеев // Энергохозяйство за рубежом. – 1977. – № 3. – С. 18-23.

29. Кириллов, В. Ф. Морсков, Н. Д. Устинова, Н. Д. Устинова. – М. : Радио и связь, 1983. – 192 с. : ил.
30. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека: энциклопедия «Экометрия» / под ред. В. Н. Крутиков, Ю. И. Брегадзе, А. В. Круглов. – М. – Изд-ов-в-стандартов, 2003. – 262 с.
31. Куклев, Ю. Ю. И. Физическая экология : учеб. пособие. – М. : М. – 100 л. : Высш. шк., 2007. – 357 с.
32. Левитт, Б. Блейк. Защита от электромагнитных полей. О влиянии на организм человека бытовых электроприборов, мобильных телефонов, линий электропередачи и других электрических устройств : полный справочник Б. Блейк Левитт ; пер. с англ. Ю. Сусллова. – М. : АСТ: Астрель, 2007. – 447 с. : ил.
33. Манойлов, В. Е. Электричество и человек / В. Е. Манойлов. – Л. : Энергия, 1975. – 144 с.
34. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
35. Медико-экологическая экспертиза здоровья населения: практикум для врачей-гигиенистов / под ред. А. П. Щербо. – СПб. : Мед. акад. последипломного образования, 1996. – 53 с.
36. Минин, Б. А. СВЧ и безопасность человека / Б. А. Минин. – М. : Сов. радио, 1974.
37. МСАНПН 001-96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>.
38. МР 11-8/240-09. Гигиеническая оценка вредных производственных факторов и производственных процессов, опасных для репродуктивного здоровья человека // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>.
39. МУК 4.3.677-97. Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиоприятий, технические средства контроля работ в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах : методические указания. Минздрав России / разраб. : А. Л. Бузовым, В. А. Романовым. – М. : Ингерсен, 1998. – 23 с.
40. МУК 4.3.679-97. Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиосвязи и радиосвязи кило-, гекто-, и декаметрового диапазонов : методические указания. Минздрав России / разраб. : А. Л. Бузовым, В. А. Романовым. – М. : Ингерсен, 1998. – 31 с.
41. МУК 4.3.680-97. Определение плотности потока излучения электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц – 300 ГГц : методические указания. Минздрав России / разраб. : А. Л. Бузовым, В. А. Романовым [и др.]. – М. : Ингерсен, 1998. – 40 с.
42. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
43. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэрионному составу воздуха производственных и общественных помещений // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
44. СанПиН 2.2.4.1329-03. Требования по защите персонала от воздействия импульсных ЭМП // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
45. СанПиН 2.2.2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электро-но-вычислительным машинам и организации работы // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
46. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
47. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
48. СанПиН 2.4.6.2553-09. Санитарно-эпидемиологические требования к безопасности условий труда работников, не достигших 18-летнего возраста. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2010. – 15 с.
49. СанПиН 2.2.2.2.4.2620-10. Изменения № 2 к СанПиН 2.2.2.2.4.1340-03 // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
50. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
51. СанПиН 5802-91. Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
52. СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
53. СН 2152-80. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
54. СН 2550-82. Предельно допустимые нормы напряженности электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20-22 кГц // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
55. СН 2666-83. Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>
56. СН 4557-88. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях // <http://elementy.ru/Libtagu6/r1.htm>

- Национальные стандарты – нормы (ГОСТ)**
48. ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах».
49. ГОСТ 12.1.051-90 «ССБТ. Электробезопасность. Расстояние безопасности в охранной зоне электропередачи напряжением свыше 1000 В».
50. ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот, допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля», с изменениями № 1, утвержденными Постановлением Госкомитета СССР по стандартам от 13.11.1987, № 4161.

47. МУК 4.3.046-96 «Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазонов».
46. МУК 4.3.1676-03 «Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи».
45. МУК 4.3.678-97 «Методические указания. Определение уровней напряжений, наведенных на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений».
44. «Методические рекомендации. Предупредительный и текущий санитарный надзор за радиопередающими средствами связи на судах», утв. МЗ РСФСР 26.08.1980 г.
43. «Методические рекомендации. Гигиеническая оценка электромагнитного излучения радиолокационных станций на судах», утв. МЗ РСФСР 20.06.1977 г.
42. МУ 1837-78 «Методические указания по определению уровней электромагнитных полей сверхвысокой частоты».
41. МУ 1837-78 «Методические указания по гигиене труда в пищевой промышленности при работе на установках, оборудованных генераторами электромагнитных полей сверхвысокой частоты».
40. МУ 1837-78 «Методические указания по определению и гигиенической регламентации ЭМП, создаваемых береговыми и судовыми РЛС».
39. «Методические указания Предупредительный и текущий санитарный надзор за радиопередающими средствами связи на судах», утв. МЗ РСФСР 20.06.1977 г.
38. «Гигиеническая оценка электромагнитных излучений радиолокационных станций на судах. Методические указания», утв. МЗ РСФСР 20.06.1977 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ВЫБОРКА НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ПО КОММУНАЛЬНОЙ ГИГИЕНЕ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ НЭПИ

| | |
|--|---|
| По Письму Роспотребнадзора от 10 апреля 2007 г. № 0100/3637-07-32 «Перечень новых действующих нормативных и методических документов по коммунальной гигиене» | |
| Раздел 2. Гигиена | |
| Группа 2.1. Коммунальная гигиена | |
| 2.1.1. Планировка и застройка населенных мест | |
| 1. Санитарные правила и нормы СанПиН «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» | СанПиН 2.2.1/2.1.1.200-03 |
| 2. Санитарные правила и нормы СанПиН «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» | СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 |
| 2.1.2. Проектирование, строительство и эксплуатация жилых зданий, предприятий коммунально-бытового обслуживания, учреждений образования, культуры, отдыха, спорта | |
| 3. Санитарные правила и нормы СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» | СанПиН 2.1.2.2645-10 |
| 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды | |
| 4. Санитарные нормы и правила СанПиН «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» | 2971-84 |
| 5. Методические указания СанПиН по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению | 4109-86 |
| 6. Санитарные правила и нормы СанПиН «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» | СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 |
| 7. Санитарные правила и нормы СанПиН «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств подвижной сухопутной радиосвязи» | СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 |
| 8. «Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи» | МУК 4.3.1677-03 (кроме базовых станций) |
| 9. Методические указания МУК «Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто-, и декаметрового диапазонов» | МУК 4.3.679-97 |

| | |
|---|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО НАДЗОРУ ЗА ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ | 334 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ВЫБОРКА НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ПО КОММУНАЛЬНОЙ ГИГИЕНЕ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ НЭПИ | 340 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 3. НТД ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ | 343 |

60. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров».
61. МУ 5309-90 «Методические указания для органов и учреждений санитарно-гигиенической службы по проведению дозиметрического контроля и гигиенической оценке лазерного излучения».
62. «Гигиена труда при работе с лазерами. Методические указания», утв. МЗ РСФСР 27.04.1981.
63. СП 3930-85 «Гигиена труда и охрана здоровья лиц, работающих с мощными инфракрасными лазерными установками».
64. МУ 2338-83 «Методические указания по оценке вредных производственных факторов при лазерной обработке некоторых поливинилхлоридных и металлических материалов».
65. ГОСТ 12.1.031-81 «ССБТ. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения».
51. ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля, допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
52. ГОСТ Р 51724-2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства».

Национальные стандарты – прочие

53. ТР 3220-85 «Гигиенические рекомендации по проектированию и изготовлению защитных экранов ВЧ-установок диэлектрического назначения».
54. ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».
55. ГОСТ Р 50948-96 «Средства отбраковки информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности».
56. ГОСТ Р 50949-96 «Средства отбраковки информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров безопасности».
57. ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования к производственной среде. Методы измерения».
58. ГОСТ 12.4.154-85 «ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры».
59. ГОСТ 28603-90 «Аппараты УВЧ-терапии. Общие технические требования и методы испытания».

Учебное издание

66. ГОСТ 12.1.011-71 «Лазеры. Общие требования безопасности к устройству лазерных излучений».
67. ГОСТ 15093-90 «Лазеры и устройства лазерных излучений».
68. ГОСТ 12.1.003-88 «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях».

Перечень нормативно-методической документации по надзору за источниками ультрафиолетового излучения

69. СН 4557-88 «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях».
70. ГН 1854-78 «Гигиенические требования к конструированию и эксплуатации установок с искусственными источниками ультрафиолетового излучения для ломинисцентного контроля качества промышленных изделий».
71. ГН 1432-76 «Гигиенические требования к проектированию облучательных ультрафиолетовых установок и правила их эксплуатации на судах морского, речного и промыслового флота».
72. Указания к проектированию и эксплуатации установок искусственного ультрафиолетового облучения на промышленных предприятиях № 1158-74.
73. МУ 5046-89 «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей».

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

74. ГОСТ 12.4.172-87 «ССБТ. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы контроля».
75. ГОСТ Р 52860-2007 «Технические средства физической защиты. Общие технические требования».
76. Рекомендованная номенклатура СИЗ, Письмо Ростпотребнадзора от 22 октября 2008 г. № 01/11906-8-32.

Стенанов Анатолий Николаевич, **Стенанова** Ирина Павловна

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

Научный редактор – доктор технических наук, профессор О. С. Амосов

Редактор Ю. Н. Осинцева

Подписано в печать 12.04.2013.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м². Ризограф EZ570E.

Усл. печ. л. 20,69. Уч.-изд. л. 20,34. Тираж 200 экз. Заказ 25507.

Редационно-издательский отдел
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

