

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра радиотехники

# **РАДИОЭКОЛОГИЯ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Институт радиоэлектроники**

Специальность

210302.65 – радиотехника

Направление подготовки бакалавра

210300.62 - радиотехника

Санкт-Петербург

Издательство СЗТУ

2009

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 537.811: 504.055: 349.6

**Радиоэкология:** учебно-методический комплекс/сост. А.М. Митрофанов. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – 117 с.

Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

В дисциплине рассматриваются проблемы электромагнитного загрязнения окружающей среды, связанные с интенсивным использованием современных радиоэлектронных, электронных и электротехнических средств, в том числе в бытовых условиях, а также вопросы нормирования электромагнитных воздействий, экологической экспертизы и экологического контроля радиотехнических объектов и электромагнитного мониторинга окружающей среды.

Рассмотрено на заседании кафедры радиотехники 07.05.09 г.; одобрено методической комиссией института радиоэлектроники 07.05.09 г.

Рецензенты: кафедра радиотехники СЗТУ (зав. кафедрой Г.И. Худяков, д-р техн. наук, проф.); Ю.И. Федюковский, проф. базовой кафедры средств специальной радиоэлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук, доц.

Составитель А.М. Митрофанов, канд. техн. наук, доц.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2009

© Митрофанов А.М., 2009

## 1. Информация о дисциплине

### 1.1. Предисловие

Дисциплина «Радиоэкология» – составная часть подготовки инженера по специальности 210302.65 - радиотехника, формирующая представление о необходимости учета требований экологической безопасности в практической деятельности при проектировании и эксплуатации радиоэлектронных устройств и радиотехнических систем.

Дисциплина «Радиоэкология» является разделом отрасли знаний под общим названием «экология». Под экологией в целом понимается наука о взаимных влияниях окружающей среды и биологических объектов. При этом наибольший интерес представляет влияние окружающей среды на организм человека. В свою очередь, радиоэкология – это совокупность современных представлений о взаимных электромагнитных влияниях окружающей среды и биологических объектов (прежде всего организма человека как электромагнитной системы).

Дисциплина «Радиоэкология» относится к естественнонаучным дисциплинам и изучается студентами специальности 210302.65 всех форм обучения в одном семестре. Дисциплина включает следующие разделы:

- теоретические основы радиоэкологии;
- правовые вопросы радиоэкологии;
- электромагнитный мониторинг окружающей среды.

**Целью изучения дисциплины** является формирование у студента экологического подхода к проектированию и эксплуатации радиоэлектронных устройств и систем, учитывающего потенциальную экологическую опасность для человека электромагнитных полей (ЭМП), возникающих при работе радиотехнических, электронных и электротехнических средств.

**Задачи изучения дисциплины** включают освоение студентом основ знаний по дисциплине, формируемых на нескольких уровнях. В результате изучения дисциплины студент должен:

- *иметь представление:*
  - о современном состоянии и перспективах развития теоретической и экспериментальной базы радиоэкологии;
  - о механизмах воздействия ЭМП на организм человека;
  - о характеристиках основных источников естественных ЭМП;
  - о принципах построения систем экологического мониторинга электромагнитной обстановки;
  - о характеристиках собственного ЭМП организма человека и методах его измерения;
  - о принципах физического моделирования ЭМП для целей радиоэкологии;
- *знать:*
  - классификацию видов воздействий ЭМП на организм человека;
  - параметры ЭМП, определяющие характер и степень его воздействия на организм человека;
  - особенности структуры ЭМП в ближней и дальней зонах;

- основные принципы и средства измерений параметров ЭМП в различных частотных диапазонах;
- содержание основных понятий, используемых в Законе РФ «Об охране окружающей среды»;
- принципы нормирования качества окружающей среды;
- цели, задачи и способы проведения экологической экспертизы и экологического контроля радиотехнических объектов;
- нормируемые параметры ЭМП и их предельно допустимые уровни, установленные в Российской Федерации, в основных радиодиапазонах;
- *уметь:*
  - организовывать свою практическую деятельность, связанную с разработкой и эксплуатацией радиотехнических объектов, с учетом принципа экологической безопасности;
  - пользоваться стандартами и справочной литературой при оценке допустимых уровней ЭМП;
  - производить расчеты уровней ЭМП, создаваемых простейшими источниками (диполь, прямолинейный ток и т.п.);
- *владеть навыками:*
  - экологической экспертизы проекта радиотехнического объекта;
  - экологического контроля действующего радиотехнического объекта.

### Место дисциплины в учебном процессе

Теоретической и практической основами дисциплины «Радиоэкология» являются курсы «Экология», «Физика», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Метрология и радиоизмерения», «Правоведение». В свою очередь изучение данной дисциплины способствует усвоению материала других радиотехнических дисциплин, в частности дисциплины «Радиотехнические системы», а также используется при дипломном проектировании в разделе «Обеспечение безопасности жизнедеятельности».

## 1.2. Виды учебной работы

### 1.2.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов		
	Форма обучения		
	Очная	Очно-заочная	Заочная
Общая трудоемкость дисциплины (ОТД)	<b>130</b>		
Работа под руководством преподавателя (включая ДОТ)	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>78</b>
В том числе аудиторные занятия:			
лекции	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
практические занятия (ПЗ)	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
Самостоятельная работа студента (СР)	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>
Промежуточный контроль, количество	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
в том числе: курсовая работа (проект)	-	-	-
контрольная работа	-	<b>1</b>	<b>1</b>
Вид итогового контроля	<b>Экзамен</b>		

### 1.2.2. Перечень видов практических занятий и контроля

- одна контрольная работа (для очно-заочной и заочной форм обучения);
- практические занятия;
- тесты (по разделам дисциплины);
- экзамен.

## 2. Рабочие учебные материалы

### 2.1. Рабочая программа (объем 130 часов)

#### Введение (8 часов)

[1], стр. 3-12; 26-30; [2], стр. 14-16; [3], стр. 3

Содержание, цели и задачи дисциплины. Ее роль и место в подготовке инженера-проектировщика радиоэлектронной аппаратуры. Классификация частотных диапазонов ЭМП, радиочастотные диапазоны. Радиоэкология как комплексная наука. Структура научных, технических и правовых задач радиоэкологии. Исторические этапы развития радиоэкологии.

### Раздел 1. Теоретические основы радиоэкологии (40 часов)

#### 1.1. Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Классификация видов воздействия ЭМП на организм человека: ионизирующее (радиационное), тепловое и информационное. Параметры ЭМП, определяющие вид и степень его воздействия.

#### 1.2. Электромагнитные поля в окружающей среде

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Электрические, магнитные и электромагнитные поля естественного происхождения. Основные характеристики магнитного поля Земли, магнитные бури и механизм их возникновения. Источники электрических, магнитных и электромагнитных полей антропогенного происхождения: передающие радиотехнические объекты, в том числе базовые и абонентские станции систем мобильной связи, линии электропередачи, бытовая электропроводка, бытовые электрические приборы, электротранспорт. Оценка их параметров: интенсивность, частотный диапазон, временные и пространственные характеристики.

#### 1.3. Влияние электромагнитного поля на организм человека

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Теория В.И. Вернадского о «глобальной электромагнитной сигнализации в природе»: роль естественного ЭМП в процессе эволюции жизни на Земле, колебательные процессы в природе и в организме человека. Влияние ЭМП на сердечно-сосудистую систему, на структуру и параметры крови, на параметры органов дыхания, на психоэмоциональное состояние человека. Экспериментальные исследования в области влияния ЭМП на здоровье

человека. Теории и гипотезы механизмов воздействия ЭМП различных частотных диапазонов на организм человека.

#### **1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Взаимосвязь электрического и магнитного полей. Структура ЭМП в ближней, промежуточной и дальней зонах. Учет структуры поля при решении задач радиозащиты. Универсальная модель ЭМП. Постановка и примеры решения обратной задачи электродинамики.

### **Раздел 2. Правовые вопросы радиозащиты (42 часа)**

#### **2.1. Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Состав законодательной базы: Закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Федеральный закон Российской Федерации «Об экологической экспертизе», комплекс санитарных правил и норм и гигиенических нормативов в области нормирования параметров ЭМП в производственных и бытовых условиях, другие документы. Основные понятия закона «Об охране окружающей среды»: окружающая среда, природная среда, компоненты природной среды, природный, природно-антропогенный и антропогенный объект, качество окружающей среды, благоприятная окружающая среда, негативное воздействие на окружающую среду, нормативы качества окружающей среды, мониторинг окружающей среды, экологическая экспертиза, экологический контроль. Нормирование вредных воздействий на окружающую среду. Понятие предельно допустимого уровня (концентрации).

#### **2.2. Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Основные документы в области нормирования ЭМП. Основные понятия, используемые при нормировании ЭМП: производственные и бытовые условия, персонал и население. Нормируемые параметры ЭМП для персонала и населения. Предельно допустимые уровни ЭМП в различных частотных диапазонах, законодательно установленные в Российской Федерации. Принцип «суперпозиции» применительно к нормированию качества окружающей природной среды.

#### **2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Принципы, основные задачи и виды экологической экспертизы, порядок проведения государственной экологической экспертизы. Примеры расчета уровня ЭМП в бытовых условиях. Основные задачи и виды экологического контроля. Экологический контроль радиотехнических и электротехнических объектов.

## **Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды (40 часов)**

### **3.1. Задачи электромагнитного мониторинга**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Содержание задач экологического мониторинга ЭМП, электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и радиоразведки. Понятия электромагнитной обстановки и радиочастотного ресурса.

### **3.2. Измерение параметров электромагнитного поля**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Структура измерителя параметров ЭМП. Типы измерителей электрического и магнитного полей. Классификация методов измерений по способу сравнения измеряемой величины с единицей: метод непосредственной оценки, метод сравнения с мерой. Типы преобразователей параметров ЭМП и их основные характеристики: преобразователи Холла, магниторезистивные преобразователи, пассивные индукционные преобразователи, активные индукционные преобразователи, магнитомеханические преобразователи, гальваноманетные преобразователи, квантовые преобразователи, измерительные антенны. Измерители плотности потока мощности, их структура и особенности. Компараторы как измерители напряженности ЭМП.

### **3.3. Основные принципы и методы радиоразведки**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Последовательный и параллельный методы поиска источников излучений. Принцип работы панорамного приемника, динамический эффект в приемнике. Особенности панорамных приемников для ДВ, СВ и КВ диапазонов. Беспойсковые методы обнаружения сигналов и измерения их несущей частоты. Функциональная схема многоканального приемника. Анализаторы спектра: принцип работы и функциональная схема анализатора последовательного типа. Радиопеленгаторы: их классификация по способу пеленгования. Направленный прием с помощью двух ненаправленных антенн.

### **3.4. Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека**

[1], стр. 38-46; [3], стр. 3-8

Человек как электромагнитная система: параметры электрических и магнитных полей сердца, головного мозга и других органов. Измерение электрических и магнитных полей сердца и головного мозга. Проблемы магнитокардиографии и магнитоэнцефалографии, пути их решения. Возможности экранирования внешних низкочастотных электрических и магнитных полей при исследовании ЭМП человека.

### **Заключение**

Итоги изучения дисциплины. Рекомендации по использованию полученных умений и навыков при изучении базовых радиотехнических дисциплин, при выполнении дипломного проекта, а также при проведении научно-исследовательской работы студентов.

## 2.2. Тематический план дисциплины

### 2.2.1. Тематический план дисциплины для студентов очно-заочной формы обучения

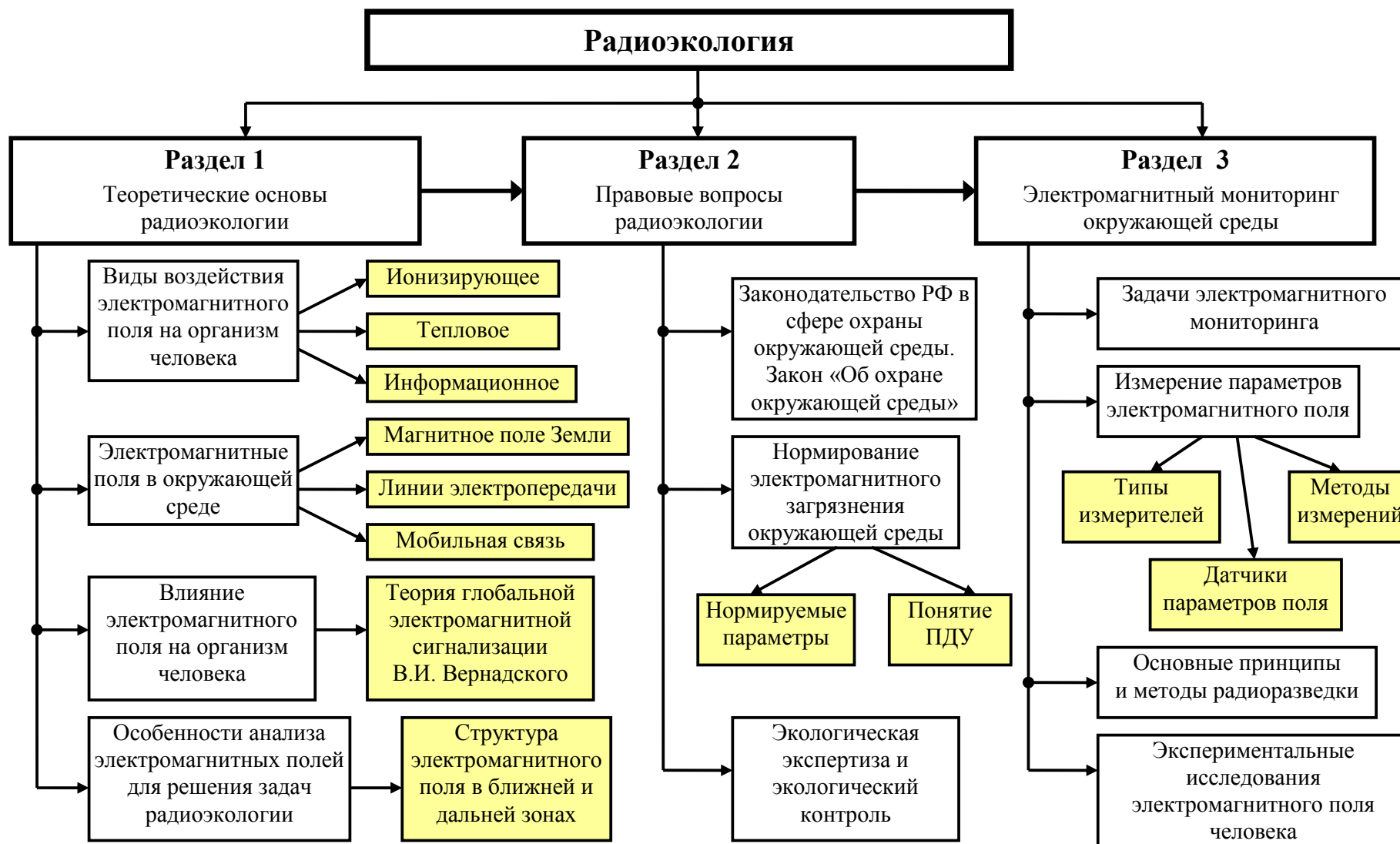
№ п/п	Наименование раздела (отдельной темы)	Кол-во часов по дневной форме обучения	Виды занятий и контроля							
			Лекции		ПЗ		Самостоятельная работа	Контрольная работа	Тест	Практические занятия
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ				
<b>ВСЕГО</b>		<b>130</b>	<b>20</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>52</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
	Введение	8	2	4	-	-	2			
1	Раздел 1. Теоретические основы радиозащиты	40	6	9	4	8	13		№1	
1.1.	Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека	5	1	2	-	-	2			
1.2.	Электромагнитные поля в окружающей среде	5	1	2	-	-	2			
1.3.	Влияние электромагнитного поля на организм человека	8	2	2	-	-	4			
1.4.	Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты	22	2	3	4	8	5	Зад. №1		№1
2	Раздел 2. Правовые вопросы радиозащиты	42	4	11	4	6	17		№2	
2.1.	Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»	12	1	4	-	-	7			
2.2.	Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды	10	1	3	-	-	6	Зад. №№ 2,3		
2.3.	Экологическая экспертиза и экологический контроль	20	2	4	4	6	4	Зад. №№ 4-6		№2
3	Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды. Заключение	40	8	12	-	-	20		№3	
3.1.	Задачи электромагнитного мониторинга	7	1	2	-	-	4			
3.2.	Измерение параметров электромагнитного поля	13	3	4	-	-	6			
3.3.	Основные принципы и методы радиоразведки	13	3	4	-	-	6			
3.4.	Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека. Заключение	7	1	2	-	-	4			



### 2.2.2. Тематический план дисциплины для студентов заочной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела (отдельной темы)	Кол-во часов по дневной форме обучения	Виды занятий и контроля							
			Лекции		ПЗ		Самостоятельная работа	Контрольная работа	Тест	Практические занятия
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ				
<b>ВСЕГО</b>		<b>130</b>	<b>12</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>52</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
	Введение	8	1	5	-	-	2			
1	Раздел 1. Теоретические основы радиозащиты	40	4	11	2	10	13		№1	
1.1.	Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека	5	1	2	-	-	2			
1.2.	Электромагнитные поля в окружающей среде	5	1	2	-	-	2			
1.3.	Влияние электромагнитного поля на организм человека	8	1	3	-	-	4			
1.4.	Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты	22	1	4	2	10	5	Зад. №1		№1
2	Раздел 2. Правовые вопросы радиозащиты	42	3	12	2	8	17		№2	
2.1.	Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»	12	1	4	-	-	7			
2.2.	Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды	10	1	3	-	-	6	Зад. №№ 2,3		
2.3.	Экологическая экспертиза и экологический контроль	20	1	5	2	8	4	Зад. №№ 4-6		№2
3	Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды. Заключение	40	4	16	-	-	20		№3	
3.1.	Задачи электромагнитного мониторинга	7	1	3	-	-	3			
3.2.	Измерение параметров электромагнитного поля	13	2	5	-	-	6			
3.3.	Основные принципы и методы радиоразведки	13	1	5	-	-	7			
3.4.	Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека. Заключение	7	-	3	-	-	4			

## 2.3. Структурно-логическая схема дисциплины «Радиоэкология» \*



\*) На схеме тип линии рамки отражает уровень той или иной структурно-логической единицы в структуре дисциплины: толстая сплошная линия – разделы, тонкая сплошная – темы; фоном отмечены важнейшие вопросы темы.

## 2.4. Временной график изучения дисциплины при использовании информационно-коммуникационных технологий

№	Название раздела (темы)	Продолжительность изучения раздела (темы) в днях (из расчета – 4 часа в день)
1	Введение	<b>1,5</b>
2	Раздел 1. Теоретические основы радиозащиты	<b>9</b>
3	1.1. Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека	1
4	1.2. Электромагнитные поля в окружающей среде	1
5	1.3. Влияние электромагнитного поля на организм человека	2
6	1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты	5
7	Раздел 2. Правовые вопросы радиозащиты	<b>10</b>
8	2.1. Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»	3
9	2.2. Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды	3
10	2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль	4
11	Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды	<b>9</b>
12	3.1. Задачи электромагнитного мониторинга	1
13	3.2. Измерение параметров электромагнитного поля	3
14	3.3. Основные принципы и методы радиоразведки	3
15	3.4. Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека	2
16	Контрольная работа №1	<b>3</b>
	<b>Итого</b>	<b>32,5 дней</b>

## 2.5. Практический блок

### 2.5.1. Практические занятия (очно-заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		Ауд.	ДОТ
1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты	№1. Решение обратной задачи магнитостатики для источника электромагнитного загрязнения окружающей среды	<b>4</b>	<b>8</b>
2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль	№2. Расчет параметров электромагнитного загрязнения окружающей среды, создаваемого стандартными радио- и электротехническими устройствами. Измерение уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды в бытовых условиях.	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>ИТОГО:</b>		<b>8</b>	<b>14</b>

### 2.5.2. Практические занятия (заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		Ауд.	ДОТ
1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозащиты	№1. Решение обратной задачи магнитостатики для источника электромагнитного загрязнения окружающей среды	2	10
2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль	№2. Расчет параметров электромагнитного загрязнения окружающей среды, создаваемого стандартными радио- и электротехническими устройствами. Измерение уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды в бытовых условиях.	2	8
ИТОГО:		4	18

### 2.6. Балльно-рейтинговая система оценки знаний

После изучения каждого раздела необходимо ответить на вопросы соответствующего контрольного теста. Для подготовки к каждому контрольному тесту Вам предлагается пройти тренировочный тест, который аналогичен контрольному тесту по тематике и сложности вопросов. Номера контрольных тестов указаны в тематических планах, а также в начале каждого раздела опорного конспекта.

За каждый вид самостоятельных работ начисляется определенное число баллов:

- за правильно выполненное решение обратной задачи магнитостатики для источника электромагнитного загрязнения окружающей среды (задание практического занятия №1) – 5 баллов;
- за каждый правильно выполненный расчет параметров электромагнитного загрязнения окружающей среды, создаваемого стандартными радио- и электротехническими устройствами в месте проживания, работы или учебы студента (задания практического занятия №2) – 5 баллов, но всего не более 10 баллов;
- за правильно выполненное задание №1 контрольной работы – 15 баллов;
- за каждое правильно выполненное задание № 2-6 контрольной работы – 5 баллов;
- за каждый правильный ответ на вопросы №№ 1-5 контрольных тестов – 1 балл;
- за каждый правильный ответ на вопросы №№ 6-10 контрольных тестов – 2 балла;

При успешной работе с материалами дисциплины студент может набрать максимум 100 баллов. Для допуска к экзамену нужно набрать не менее 70 баллов.

### 3. Информационные ресурсы дисциплины

#### 3.1. Библиографический список

##### Основной:

1. Потапов, А.И. Вредные вещества и излучения в окружающей среде: науч., учеб.- метод., справ. изд.: в 5 т. Т. 5. Излучения в окружающей среде / А.И. Потапов. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006.
2. Аполлонский, С.М. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: учеб. пособие для вузов / С.М. Аполлонский, Т.В. Каляда, Б.Е. Синдаловский. - СПб.: Политехника, 2006.

##### Дополнительный:

3. Пащенко, Е.Г. Радиоэкология. Ч. 1. Неэнергетические воздействия электромагнитных полей на человека: учеб. пособие/ Е.Г. Пащенко, О.С. Голод, А.М. Митрофанов. - СПб.: СЗПИ, 1997.
4. Пащенко, Е.Г. Радиоэкология. Ч. 2. Аппаратура радиоэкологического контроля: учеб. пособие/ Е.Г. Пащенко, О.Л. Соколов, А.Б. Войцеховский. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 1999.
5. Пащенко, Е.Г. Радиоэкология. Ч. 3. Основы экологического права: учеб. пособие/ Е.Г. Пащенко, А.М. Митрофанов, О.Л. Соколов. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2001.

##### Средства обеспечения освоения дисциплины (ресурсы Internet)

6. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»: по сост. на 30 декабря 2008 г. - <http://iv2.garant.ru>
7. Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе по сост. на 30 декабря 2008 г. - <http://iv2.garant.ru>
8. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. - <http://centrstandartstroy.ru/docs>
9. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона. - <http://centrstandartstroy.ru/docs>
10. СанПиН 2.2.4/1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. - <http://centrstandartstroy.ru/docs>
11. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. - <http://centrstandartstroy.ru/docs>

## 3.2. Опорный конспект

### Введение

Дисциплина «Радиоэкология» является составной частью экологической подготовки радиоинженера и направлена на конкретизацию знаний, полученных на первом курсе при изучении дисциплины «Экология», применительно к будущей деятельности в сфере проектирования и эксплуатации радиотехнических объектов.

Напомним, что экология – это наука о взаимных влияниях организма (человека, животного или растения) и окружающей среды. Обычно, наибольший практический интерес имеет изучение влияния окружающей среды на живые организмы, среди которых нам в первую очередь интересен организм человека.

Строго говоря, человек и окружающая его природная среда – это единое целое, влияние людей на среду – это и влияние на самих себя; лишь иногда с целью методического удобства рассмотрения некоторых вопросов допустимо, чисто условно, разделять эти понятия.

Среди видов возможных влияний окружающей среды на организм человека можно выделить следующие воздействия: химические; механические; акустические; тепловые; радиационные, электромагнитные и др.

Изучение особенностей того или иного вида влияния окружающей среды на организм человека составляет предмет подготовки инженера соответствующей специальности. Здесь необходимо подчеркнуть важность изучения экологических проблем для инженера любой специальности. У инженера должно быть сформировано четкое представление о том, что любое техническое средство, какими бы полезными качествами оно ни обладало, тем не менее, несет в себе потенциальную экологическую опасность. Проще говоря – является источником загрязнения окружающей среды. Вероятность и масштабы этого загрязнения могут быть различными, но их оценка при проектировании объекта и контроль работы действующего объекта являются необходимыми составными частями деятельности инженера.

В данной дисциплине для радиоинженера будет рассмотрена та часть экологических проблем, которая связана с наличием электромагнитного поля (ЭМП) в окружающей среде, существующего как объективно, так и созданного человеком.

Таким образом, радиоэкология – это наука о взаимных влияниях организма (человека, животного или растения) как электромагнитной системы и окружающей электромагнитной среды. Как и в целом в экологии, основное внимание будет уделено изучению влияния окружающей электромагнитной среды на организм человека.

Отметим, что приведенное определение радиоэкологии имеет, на первый взгляд, один недостаток. Строго говоря, понятия «электромагнитное поле» и «радиоволны» не эквивалентны. Первое понятие шире и включает второе. Точнее было бы говорить об «электромагнитной экологии», включающей «радиоэкологию» как составную часть, изучающую влияние на организм

человека внешнего ЭМП, существующего в виде радиоволны. Однако, как будет ясно из последующего изложения, отнесение ЭМП к радиоволнам определяется не только его частотой  $f$ , но и расстоянием  $r$  от источника ЭМП до точки наблюдения. Таким образом, нет смысла считать термин «радиоэкология» относящимся только к ЭМП радиочастотного диапазона, и в дальнейшем мы будем рассматривать всю шкалу частот ЭМП практически от нулевой частоты до бесконечности.

Разбиение частотного спектра на диапазоны в радиотехнике (табл. 1) осуществляется в соответствии с международным регламентом исходя из следующей расчетной формулы:

$$(0,3 \dots 3,0) \cdot 10^n \text{ Гц},$$

где  $n$  – номер диапазона. Диапазонам даны названия в соответствии с их частотными параметрами или длиной волны. Некоторые из названий широко используются даже людьми далекими от радиотехники.

Таблица 1

№	Диапазон радиочастоты	Диапазон длин волн	Наименование диапазона		
			По частоте	По длине волны	
1	3,0 – 30 Гц	100000 - 10000 км	Крайне низкие частоты (КНЧ)		
2	30 – 300 Гц	10000 – 1000 км	Сверхнизкие частоты (СНЧ)		
3	0,3 – 3,0 кГц	1000 – 100 км	Инфранизкие частоты (ИНЧ)		
4	3,0 – 30 кГц	100 – 10 км	Очень низкие частоты (ОНЧ)		
5	30 – 300 кГц	10 – 1,0 км	Низкие частоты (НЧ)	Длинные волны (ДВ)	
6	0,3 – 3,0 МГц	1000 – 100 м	Средние частоты (СЧ)	Средние волны (СВ)	
7	3,0 – 30 МГц	100 – 10 м	Высокие частоты (ВЧ)	Короткие волны (КВ)	
8	30 – 300 МГц	10 – 1,0 м	Очень высокие частоты (ОВЧ)	Ультра-короткие волны (УКВ)	МВ
9	0,3 – 3,0 ГГц	1,0 – 0,1 м	Ультравысокие частоты (УВЧ)		ДМВ
10	3,0 – 30 ГГц	10 – 1,0 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)		СМВ
11	30 – 300 ГГц	10 – 1,0 мм	Крайне высокие частоты (КВЧ)		ММВ

Примечание: в таблице использованы сокращения: МВ – метровые волны, ДМВ – дециметровые волны, СМВ – сантиметровые волны, ММВ – миллиметровые волны.

Отметим, что первые четыре диапазона частот при рассмотрении задач радиоэкологии обычно не относят к радиодиапазонам, поскольку на этих частотах радиоволна формируется на расстояниях порядка сотен километров от источника и, следовательно, не может иметь амплитуду, опасную для организма человека.

Дисциплина «Радиоэкология» относится к циклу естественнонаучных дисциплин. Радиоэкология как область научных знаний носит комплексный междисциплинарный характер и включает достижения следующих наук:

- биология;
- медицина;

- геофизика;
- радиотехника, включая:
  - радиопередающие устройства;
  - распространение радиоволн;
  - радиоизмерения;
- экологическое право.

Исторически первым термином для характеристики научно-практического направления, которое в данной дисциплине мы определили как «радиоэкология», был введен термин «электромагнитная биология». Три корня можно обнаружить у дерева электромагнитной биологии, и самый глубокий, т.е. древний, будет связан с биологическим действием магнитного поля. Второй корень характеризуется изучением биологического действия электрического поля. Последний, наиболее интенсивно питающий электромагнитную биологию корень, представлен современными исследованиями биологического действия микроволн.

Дату рождения магнитобиологии связывают с докладом врачей Андри и Туре в Королевском медицинском обществе Франции 29 августа 1780 г. Указанные авторы представляли комиссию, проверяющую опыты аббата Ленобля по влиянию искусственных магнитов на нервную систему человека, и, в частности, на зубную боль. Вывод комиссии гласил, что целебное действие магнита обуславливается непосредственным и прямым действием магнитной силы на нервы. Влияние магнитной силы настолько же несомненно, насколько оно несомненно по отношению к железу.

Несмотря на такой категорический вывод высокоавторитетной научной комиссии, магнит не стал распространенным терапевтическим средством, так как последующее осуждение учения А.Месмера о животном магнетизме было автоматически перенесено на этот «минеральный магнетизм».

Оживление интереса к лечебному действию магнита наблюдается примерно через 100 лет уже в связи с модной тогда металлотерапией. Итальянские медики во главе с Мажжиорани и французские психиатры школы Шарко отмечали, что действие постоянного магнитного поля наиболее ярко проявляется у больных истерией. Говоря о магните, французы Бине и Фере утверждали, что агент этот не представляет ничего таинственного. Он действует на нервную систему как слабый электрический ток, производя постоянное периферическое раздражение.

В России вопрос о влиянии магнитного поля на нервную систему обсуждался в 1879 г. на заседании общества русских врачей. В 1881 г. в Петербурге вышла книга Н.И. Григорьева «Металлоскопия и металлотерапия», где были обобщены сведения о лечебном действии магнита.

Однако лечебные свойства постоянного магнитного поля оказались менее эффективными в сравнении с вновь появившимся методом электротерапии, и поэтому, медики стали уделять меньше внимания этому физическому фактору. В начале XX века в Харькове было опубликовано двухтомное исследование известного физиолога В.Я. Данилевского под названием «Исследования над



физиологическим действием электричества на расстоянии». Эти книги можно считать первым пособием по электромагнитной биологии, поскольку здесь впервые обсуждались общие вопросы действия естественных и искусственных ЭМП на различные биологические системы. Большую часть этого труда составило описание реакции нервной системы на ЭМП.

В 1948 г. в Перми был опубликован сборник «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго периодической вибрации» под редакцией физика В.И. Кармилова, физиолога М.Р. Могендовича и клинициста А.В. Селезнева. Затем в течение двух лет были защищены две кандидатские диссертации по магнитобиологии: первая – посвященная влиянию магнитного поля на проницаемость мышечной ткани и вторая – «Об изменениях фагоцитоза под влиянием магнитного поля, электронаркоза и химического наркоза». При действии магнитного поля на голову кролика отмечали увеличение фагоцитарной активности лейкоцитов периферической крови. Следовательно, в условиях целостного организма магнитное поле оказывает влияние на свойства крови, прежде всего через центральную нервную систему.

Пермский период в развитии магнитобиологии закончился в начале 50-х годов XX века из-за смерти инициатора этих исследований В.И. Кармилова. Остались от этого периода две диссертации, научный сборник и несколько статей. Прошло еще 8 лет, прежде чем в МГУ была защищена диссертация Ю.А. Холодовым, в последующем ученым с мировым именем. Эта третья кандидатская диссертация по магнитобиологии в СССР имела название «К физиологическому анализу действия магнитных полей на животных».

В эти же годы в Чикаго в Иллинойском университете супругами М. и Ж. Барноти были начаты магнитобиологические исследования. Основное внимание они уделяли системе крови. В течение 1961 - 1969 годов были проведены три симпозиума и изданы два сборника «Биологическое действие магнитных полей». К 70-м годам магнитобиология как самостоятельная ветвь биофизики в США перестала существовать, влившись организационно в общее русло биоэлектромагнитных исследований, где тон задавали исследования биологического действия микроволн.

Как следует из приведенных фактов истории магнитобиологии, ученые, прежде всего, пытались обнаружить позитивное влияние постоянного магнитного поля на различные системы организма человека. Аналогичное стремление можно обнаружить и в попытках (успешных) применить электрическое поле для лечения различных заболеваний.

Электролечение – это общее название методов лечения, основанных на использовании дозированного воздействия на организм электрического тока или электромагнитного поля. Один из этих методов – УВЧ-терапию – многие из нас испытали лично. УВЧ-терапия (ультравысокочастотная терапия) основана на воздействии на организм большой энергией электромагнитных колебаний с длиной волны от 1 до 10 м. Такое ЭМП способно воздействовать на глубокие (подкожные) слои организма, например, прогревать эти слои.

Альтернативой применения ЭМП на пользу человеку стало негативное влияние ЭМП впервые, по-видимому, отмеченное в связи с производственными

испытаниями и практическим использованием мощных высокочастотных радиолокационных и связных станций. Анализ механизма воздействия такого ЭМП на организм человека и последствий этого воздействия в зависимости от частоты и интенсивности ЭМП стал предметом многих научных исследований. В результате были установлены нормативы негативного воздействия ЭМП на окружающую среду.

Следует особо отметить изменения в интенсивности электромагнитного загрязнения окружающей среды, произошедшие в последние десятилетия. Эти изменения характеризуются резким ростом числа и мощности бытовых электрических приборов, в частности, использованием микроволновых печей, многократным увеличением времени нахождения человека за компьютером вблизи монитора, размещением базовых станций сотовой связи вблизи жилых помещений (число этих станций на несколько порядков превышает число радиопередающих центров до внедрения сотовой связи). И, наконец, чего ранее не было в принципе, оснащением каждого человека передающей радиостанцией сотового телефона, добровольно размещаемой вблизи головы.

На рис. 1 приведена общая структура научно-практического направления «радиоэкология» в виде набора взаимосвязанных научных, технических и правовых проблем.

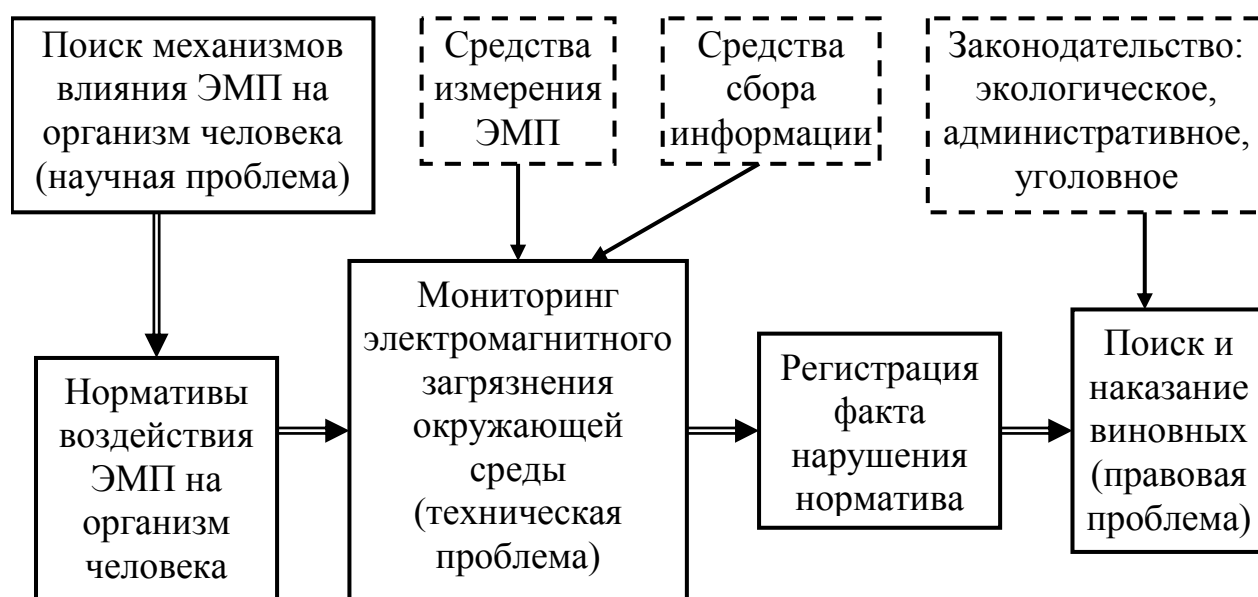


Рис. 1. Научные, технические и правовые проблемы радиоэкологии.

Главная научная проблема радиоэкологии заключается в определении механизмов и степени воздействия ЭМП, характеризующихся различным набором параметров, в частности, различных частотных диапазонов, на организм человека. Данная проблема должна быть решена в основном средствами биологии и медицины с использованием экспериментальных методов. При этом конечно, не предполагается воздействовать с помощью ЭМП на организм человека, специально приглашенного для участия в таком эксперименте. Обычно эксперименты проводятся «автоматически» — исследуются группы персонала соответствующих предприятий, деятельность

которого непосредственно связана с производством, испытаниями или эксплуатацией радиопередающих средств. Сравнивая параметры здоровья такой группы персонала с контрольной группой, можно установить степень влияния ЭМП. Другой объект экспериментов – животные (обычно крысы, имеющие большое сходство физиологических параметров с человеком).

Эксперименты по оценке влияние ЭМП на организм человека обычно очень продолжительны по времени, настолько, что их результат может быть получен слишком поздно. Например, сотовые телефоны, которыми теперь пользуется каждый россиянин, появились у них в среднем 5-7 лет назад. Этого периода времени может быть недостаточно для того, чтобы проявились негативные последствия пользования сотовым телефоном. Но если через несколько лет будет все-таки сделан вывод об опасности сотового телефона, он окажется слишком поздним.

Вопрос о механизме воздействия ЭМП различных частотных диапазонов на организм человека еще более сложный. Предварительно можно считать его нерешенным к настоящему времени. Некоторые соображения на этот счет приведены в параграфе 1.3.

В результате научных исследований по проблеме влияния ЭМП на организм человека должны быть выработаны нормативы воздействия ЭМП. Эти нормативы действуют в Российской Федерации в соответствии с разнообразными санитарными правилами и нормами и гигиеническими нормативами, однако некоторые из них имеют временный статус. Это, в частности, указывает на незавершенность научных исследований вредного воздействия ЭМП на организм человека для некоторых частотных диапазонов и некоторых конкретных источников ЭМП. Более того, в серии санитарных правил и норм имеются бреши для некоторых частотных диапазонов или нормируемых параметров ЭМП.

Наличие законодательно установленных нормативов ЭМП позволяет проводить мониторинг параметров ЭМП в окружающей среде, цель которого состоит в проверке выполнения нормативов. Под мониторингом понимается непрерывный сбор и анализ информации об электромагнитном загрязнении окружающей среды в ее различных локальных областях, как правило, вблизи источников загрязнения. Таким образом, для проведения мониторинга необходимы средства измерения параметров ЭМП и система сбора информации о результатах измерения. Разработка таких средств и собственно реализация мониторинга представляют собой техническую проблему радиоэкологии.

В результате мониторинга должны быть определены области окружающей среды, в которых превышены установленные нормативы электромагнитного загрязнения. Далее необходимо установить источник ЭМП, вызвавший нарушение норматива, принять меры к прекращению нарушений и, пользуясь нормами административного и уголовного права, наказать виновных в экологическом правонарушении (преступлении). Эта проблема относится к разряду правовых проблем радиоэкологии.

## Раздел 1. Теоретические основы радиоэкологии

Более подробная информация по данному разделу приведена в [2, 3].

В данном разделе изучаются четыре темы:

- Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека
- Электромагнитные поля в окружающей среде
- Влияние электромагнитного поля на организм человека
- Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиоэкологии.

По завершении работы с теоретическим материалом следует ответить на вопросы для самопроверки, а затем выполнить тренировочный тест №1.

По тематике данного раздела выполняется задание №1 контрольной работы, а также задание практического занятия №1.

Контроль знаний осуществляется с помощью контрольного теста №1. При необходимости следует обратиться к электронному учебному пособию или глоссарию.

В результате изучения данного раздела можно максимально набрать 35 баллов (15 баллов по результатам тестирования, 15 баллов за выполнение задания №1 контрольной работы и 5 баллов за выполнение задания практического занятия №1).

### 1.1. Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека

К настоящему времени в электромагнитной биологии четко выделены три вида воздействия ЭМП на организм человека:

- ионизирующее (радиационное);
- тепловое;
- информационное.

Отнесение ЭМП к тому или иному типу воздействия определяется его частотой (длиной волны).

Из физики известно, что энергия кванта излучения пропорциональна его частоте. Поэтому исторически первым было обнаружено ионизирующее (радиационное) воздействие ЭМП, обладающее наибольшими значениями энергии кванта  $h\nu$ , где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $\nu$  – частота (обозначение, характерное для квантовой физики). Действительно, Пьер и Мария Кюри, открывшие в 1898 году радиоактивные элементы полоний и радий и удостоенные за это открытие Нобелевской премии в 1903 году, впоследствии умерли от лейкемии. Известно, что Мария Склодовская-Кюри, работая с радиоактивными веществами, не предпринимала никаких мер предосторожности и даже носила на груди ампулу с радием как талисман.

Наиболее значимы следующие типы ионизирующего излучения: коротковолновое электромагнитное излучение (рентгеновское и гамма-излучения), потоки альфа-частиц (ядер атома гелия-4), потоки электронов (бета-частиц).

Рассмотрение ионизирующего излучения как ЭМП возможно на основании теории корпускулярно-волнового дуализма. Согласно этой теории свет представляется на микроуровне одновременно и как мельчайшие частицы (корпускулы), и как волны. Такие явления, как интерференция и дифракция света, убедительно свидетельствуют о его волновой природе. В то же время закономерности равновесного теплового излучения и фотоэффекта можно успешно истолковать только на основе квантовых представлений о свете, как о потоке дискретных фотонов. Волновой и квантовый (корпускулярный) способы описания света не противоречат, а взаимно дополняют друг друга, так как свет одновременно обладает и волновыми и корпускулярными свойствами. Волновые свойства света играют определяющую роль в закономерностях его распространения, интерференции, дифракции, поляризации, а корпускулярные – в процессах взаимодействия света с веществом. Чем больше длина волны света, тем меньше импульс и энергия фотона и тем труднее обнаружить квантовые свойства света. Например, внешний фотоэффект происходит только при энергиях фотонов, больших или равных работе выхода электрона из вещества. Чем меньше длина волны электромагнитного излучения, тем больше энергия и импульс фотонов и тем труднее обнаружить волновые свойства этого излучения. Например, рентгеновское излучение дифрагирует только на очень «тонкой» дифракционной решетке – кристаллической решетке твердого тела.

Механизм биологического действия ионизирующих излучений можно в первом приближении трактовать как акт разрушения живой клетки квантом ЭМП, обладающим достаточной для этого энергией. Попробуем оценить низкочастотную границу ионизирующего воздействия, исходя из условия многократного превышения энергией кванта средней энергии теплового движения молекул:

$$h\nu \gg kT$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура.

Примем понятие «много больше» как превышение в 100 раз и рассчитаем соответствующую частоту ЭМП. Получим  $\nu_{\text{мин}} \approx 6,2 \cdot 10^{14}$  Гц. Такая частота соответствует длине волны излучения равной  $\lambda \approx 480$  нм. Эта длина волны располагается вблизи высокочастотной (ультрафиолетовой) границы видимого света.

Мы часто слышим в средствах массовой информации предупреждения об опасности возникновения злокачественных образований в результате длительного нахождения на открытом солнце, особенно в южных широтах и в периоды так называемого «активного Солнца», то есть солнечного излучения богатого ультрафиолетом. Таким образом, проведенная оценка частотной границы ионизирующего воздействия соответствует нашему повседневному опыту.

Более точное описание механизма биологического действия ионизирующих излучений заключается в следующем. Под действием высокоэнергетических квантов этого излучения происходит ионизация молекул в клетках живого организма, что, в свою очередь, вызывает образование свободных радикалов. Свободные радикалы вызывают разрушения целостности цепочек

макромолекул (белков и нуклеиновых кислот), что может привести как к массовой гибели клеток, так и канцерогенезу и мутагенезу. Наиболее подвержены воздействию ионизирующего излучения активно делящиеся (эпителиальные, стволовые, эмбриональные) клетки.

На частотах ниже расчетной нижней границы  $\nu_{\text{мин}}$  ионизирующего воздействия наблюдается тепловое воздействие ЭМП на организм человека. Действительно, при движении вниз по оси частот мы, прежде всего, переходим в область инфракрасного излучения, которое, как известно, характерно для сильно нагретых тел. При дальнейшем перемещении в область еще более низких частот мы, наконец, попадаем в радиочастотный диапазон, для которого тепловой механизм воздействия является основным.

Механизм теплового воздействия ЭМП можно пояснить с помощью закона электромагнитной индукции: под действием внешнего ЭМП в проводящих тканях организма человека протекают индукционные токи. В результате протекания этих токов через активное сопротивление тканей организма выделяется тепловая энергия и происходит нагрев тканей. Именно этот эффект используется при нагревании курицы в микроволновой печи. Если поместить в микроволновую печь пустую фарфоровую тарелку, то она практически не нагревается, поскольку является диэлектриком.

Интенсивность теплового воздействия пропорциональна амплитуде ЭМП, а также частоте ЭМП (в соответствии с законом электромагнитной индукции). Поэтому заметное влияние на организм оказывают ЭМП относящиеся к высокочастотной части радиодиапазона, например в диапазоне частот, выше 100 МГц (длина волны короче 3 м).

Глубина проникновения ЭМП в ткани организма также зависит от частоты: чем ниже частота, тем глубже проникает поле. Примерно глубину проникновения можно считать равной длине волны. Заметим, что типичная рабочая частота микроволновой печи  $f = 2,45$  ГГц выбрана весьма разумно: с одной стороны, это достаточно высокая частота, для того чтобы обеспечить интенсивное нагревание курицы, и, с другой стороны, достаточно низкая частота, чтобы обеспечить прогревание всего объема курицы (длина волны примерно 12 см).

В 70-х годах XX века за рубежом в научной литературе был введен термин «неионизирующая радиация» (здесь слово «радиация» используется в значении «излучение»), относящийся к высокочастотным радиодиапазонам и частотным диапазонам далее вплоть до инфракрасного излучения. Дадим некоторые пояснения этому термину. Микроволновое излучение, используемое в микроволновых печах, несмотря на значительную мощность прибора порядка единиц киловатт, никогда не вызовет запаха озона в помещении. С другой стороны, маломощная (15-20 Вт) бактерицидная лампа, используемая в целях дезинфекции воздуха в лечебных учреждениях, особенно в операционных, с первых же секунд включения дает резкий запах озона. Происходит это в связи с тем, что в мощной микроволновой печи возникает множество квантов электромагнитной энергии (большая мощность установки), но энергия каждого отдельного кванта недостаточна для того, чтобы в соответствии с законами

квантовой механики вступить во взаимодействие с молекулами атмосферного кислорода, в то время как энергия немногочисленных (в силу малой мощности прибора) квантов, испускаемых бактерицидной лампой, вполне достаточна для расщепления кислорода воздуха и, таким образом, образования озона.

Под действием высокочастотных ЭМП в тканях организма возникают высокочастотные токи, протекание которых сопровождается тепловым эффектом (полная аналогия с микроволновой печью). Длительное и систематическое воздействие на человека ЭМП большой интенсивности может вызвать повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием ЭМП сверхвысоких частот наблюдаются изменения в крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

Ток крови уменьшает нагрев, но, к примеру, хрусталик глаза не омывается кровью и при значительном нагреве разрушается и мутнеет. Эти изменения, как правило, необратимы. Данный процесс сопровождается резью в глазах и шумом в голове. Воздействие излучения на мозг человека значительно меньше, поскольку мозг экранирован черепной коробкой и имеет развитую кровеносную систему.

Функциональные нарушения, вызванные биологическим действием высокочастотных ЭМП, способны аккумулироваться (накапливаться) в организме, но являются обратимыми. Однако необходимо отметить, что такая обратимость функциональных сдвигов не является беспредельной и в значительной мере определяется, наряду с интенсивностью и длительностью воздействия излучения, индивидуальными особенностями организма.

Биологическое действие поля ультравысокой частоты было обнаружено уже через три года после того, как это поле было получено Герцем в 1888 г. Особенно интенсивно биологическое действие полей ультравысокой частоты изучалось в 20-х и 30-х годах XX века, когда отмечалось, что нервная система и церебральная, и особенно вегетативная, весьма чувствительны к воздействию радиоволн. Эти исследования поставили вопрос о дополнительном «нетепловом» механизме воздействия высокочастотных ЭМП, который не имеет общепринятого научного объяснения до настоящего времени. Дальнейшее развитие мощных радиолокационных систем в середине XX века также способствовало повышению внимания к вопросам нормирования и защиты от воздействия высокочастотных ЭМП.

Если верить американскому журналисту П. Броудеру, выпустившему в 1977 г. большую книгу популярного характера «Облученная Америка», то выходит, что только в это период американцы начали изучать влияние ЭМП на деятельность мозга. На суперобложке упомянутой книги заявлено: «Микроволновая радиация может ослепить вас, изменить ваше поведение, вызвать генетические нарушения и даже убить вас. Эту опасность скрыли от вас Пентагон, государственный департамент и электронная индустрия».

Журналист нарисовал весьма правдоподобную картину: к жалобам персонала, обслуживающего радиолокационные станции, соответствующие ведомства на первом этапе прислушались и с 1957 г. четыре года подряд собирали конференции военно-морской, военно-воздушной и сухопутной служб. Однако в итоге этих конференций признали только тепловой характер действия микроволн, установили весьма высокий предельно допустимый уровень облучения неионизирующей радиацией, проигнорировали сообщения о возможном нетепловом влиянии на деятельность центральной нервной системы и стали свертывать эти исследования.

С уменьшением частоты ЭМП в пределах радиодиапазона ниже примерно 100 МГц эффект теплового воздействия становится несущественным (чем больше амплитуда ЭМП, тем ниже граничная частота такого теплового воздействия). Качественно новые эффекты появляются уже на весьма низких частотах в диапазоне от десятков-единиц килогерц и, практически до нуля герц. Характер воздействия ЭМП на организм человека в этом частотном диапазоне определяется термином *информационное воздействие*. Чтобы понять причину и смысл использования такого термина необходимо обратиться к теории В.И.Вернадского о всеобщей электромагнитной сигнализации в природе.

В 1940 г. выдающийся естествоиспытатель XX века Владимир Иванович Вернадский писал: «Переворот, совершающийся в нашем XX веке в физике, ставит в научном мышлении на очередь пересмотр основных биологических представлений. По-видимому, он впервые позволяет в строго научной концепции мироздания поставить в Космосе на подобающее место явление жизни. Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут излучения разной длины волн – от волн, длина которых исчисляется десятимиллионными долями миллиметра, до длинных, измеряемых километрами ... мы улавливаем и создаем только ничтожную часть этих излучений Солнца. Но мы знаем, что существуют и падают на биосферу волны иных путей, идущих от отдаленных частей космоса».

Эти мысли, впервые высказанные В.И.Вернадским еще в 1926 г., оказались поистине пророческими. Биологи, в отличие от физиков, изучали исключительно электромагнитные излучения Солнца с высокими уровнями энергии квантов  $h\nu \gg kT$  в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах – как источник энергии для всего живого. Но только в последние десятилетия XX века они начали сознавать необходимость выяснить вопрос: какую роль в живой природе играют весьма слабые ЭМП земного и космического происхождения в диапазонах радиочастот, низких и инфранизких частот, где энергии квантов пренебрежимо малы  $h\nu \ll kT$ ? В многочисленных экспериментальных исследованиях были обнаружены различные биологические эффекты слабых искусственных ЭМП, а затем прямо или косвенно выявлены реакции организмов всех видов на естественные ЭМП.

Эмпирические обобщения всех этих данных и некоторые теоретические исследования последних лет позволяют сформулировать концепцию об универсальной роли ЭМП в биосфере как носителей информации на всех уровнях ее иерархии. Такая электромагнитная сигнализация осуществляется: из



внешней среды – организмам, внутри организмов, между организмами, в их группах и сообществах, наконец, в биосфере из ее космического окружения. Почему же электромагнитная сигнализация в биосфере осуществляется именно посредством ЭМП радиочастот, низких и инфранизких частот, об этом мы поговорим немного позже. Здесь же мы отметим лишь хорошо известные сведения о том, что такие (относительно низкочастотные) ЭМП распространяются в любых средах обитания жизни – в воде, в почве, тканях организмов, они могут передаваться при любых метеорологических условиях и в любое время суток, передаваться на любые, практически, расстояния.

Регулярно изменяющиеся естественные ЭМП на Земле, в условиях наличия которых зародилась жизнь и, очевидно, под действием которых у человека в процессе его эволюции сформировались собственные биоритмы, несут информацию организмам, обеспечивающую согласование ритмов их жизнедеятельности с периодическими вариациями геофизических факторов, а также информацию для пространственной ориентации организмов. Спонтанные же возмущения ЭМП могут нарушать физиологические процессы, являясь «помехами» или «ложной информацией» для электромагнитной сигнализации, регулирующей эти процессы в организме. Эти спонтанные возмущения ЭМП могут иметь естественное происхождение. Однако особенно важно учитывать появление, особенно в последние десятилетия новых мощных источников антропогенного происхождения близких, но все же отличающихся по характеристикам, от привычного естественного регулярного ЭМП. Попадая «на вход» человеческого организма как «приемника ЭМП» эти поля вызывают его негативную реакцию, «реакцию отторжения».

Подведем итоги данного параграфа в виде рис. 2, на котором показано примерное расположение видов воздействия ЭМП на оси частот.

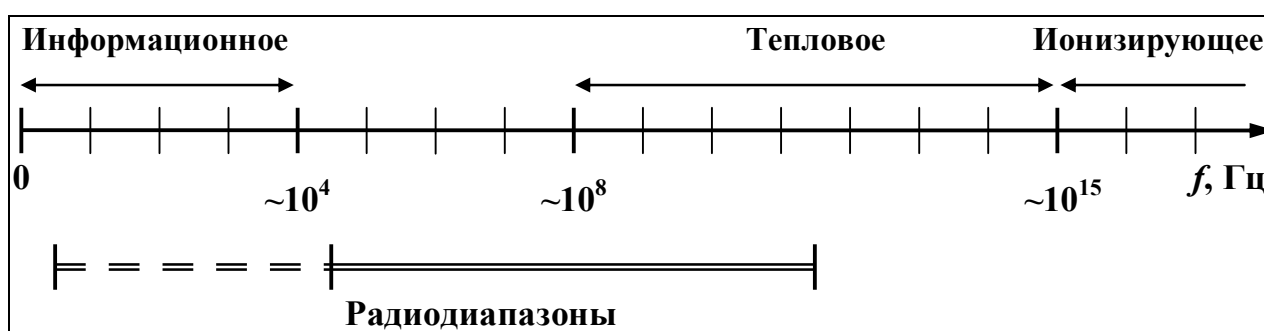


Рис. 2. Расположение видов воздействий ЭМП на оси частот.

## 1.2. Электромагнитные поля в окружающей среде

При рассмотрении ЭМП в окружающей среде в контексте проблем радиозащиты удобно воспользоваться методом аналогии по отношению к задаче анализа внешних помех радиоприемнику. Как известно в этом случае выделяют естественные помехи и помехи, созданные другими работающими радиопередающими устройствами. В радиозащиты мы также будем рассматривать ЭМП естественного (природного) происхождения и созданные человеком – ЭМП искусственного (антропогенного) происхождения (рис.3).

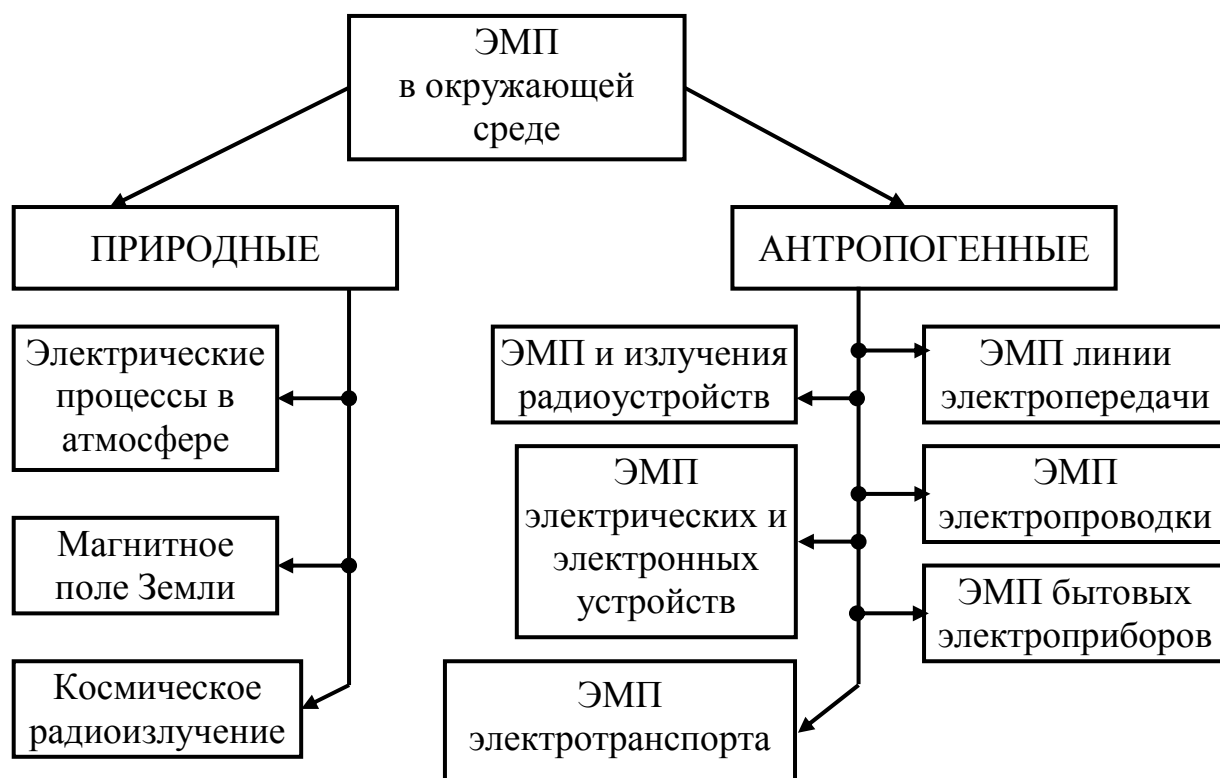


Рис. 3. Виды ЭМП в окружающей среде.

Основными *природными* источниками ЭМП являются:

- «мировые грозы» (другое название – «атмосферики») в диапазоне частот  $0,1 - 10^4$  кГц, представляющие собой ЭП электростатических зарядов в атмосфере и ЭМП молниевых разрядов. Термин «мировые грозы» выбран в связи с тем, что ЭМП грозы на указанных частотах распространяется на огромные расстояния от источника – практически может огибать земной шар. Поэтому в любой точке на поверхности земли одновременно существуют поля всех проходящих в атмосфере в данный момент времени гроз;
- «шумановские колебания» – колебания ЭП в атмосфере с частотами 8, 14, 20, 26, 32 Гц и более высоких фиксированных частотах вызванные интерференцией нескольких волн, прошедших вокруг земного шара и оказавшихся в данной точке в одной фазе. Соответствующее явление получило название «резонанс Шумана» и определяется как эффект образования стоячих электромагнитных волн низких и сверхнизких частот между поверхностью Земли и ионосферой. Амплитуда колебаний ЭП обычно составляет  $0,1$  мВ/м, а длительность  $0,3 - 3,0$  с;
- магнитное поле Земли (МПЗ) – собственное магнитное поле планеты Земля, генерируемое внутренними источниками. Основное МПЗ постоянно во времени и обладает высокой пространственной однородностью. Далее приведено подробное описание параметров МПЗ;
- космическое (солнечное и галактическое) радиоизлучение – очень слабое ЭМП, приходящее в виде радиоволн в диапазоне от  $10$  до  $10^6$  МГц от внеземных источников

Согласно изложенной в параграфе 1.1 теории В.И.Вернадского именно этот набор естественных (природных) ЭМП сформировал за время эволюции электромагнитные характеристики организма человека.

Рассмотрим подробно важнейшее природное поле – *магнитное поле Земли*, которое присутствует повсеместно на поверхности земли и по амплитуде существенно превосходит другие естественные поля. По форме основное магнитное поле Земли до расстояний менее трех радиусов Земли близко к полю эквивалентного магнитного диполя (рис. 4). Ось этого диполя наклонена к оси вращения Земли на  $11,5^\circ$ . На такой же угол геомагнитные полюса отстоят от соответствующих географических полюсов. При этом южный геомагнитный полюс находится в северном полушарии. В настоящее время он расположен

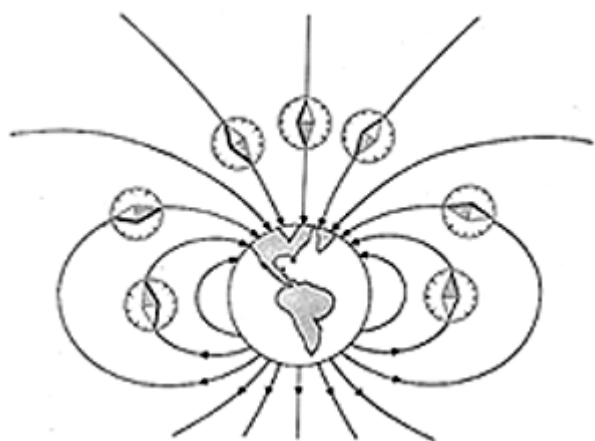


Рис. 4. Дипольная структура МПЗ

недалеко от северного географического полюса Земли в Северной Гренландии; соответственно северный геомагнитный полюс расположен в Антарктиде. Реальные магнитные силовые линии МПЗ в среднем близки к силовым линиям этого диполя, отличаясь от них местными нерегулярностями, связанными с наличием намагниченных пород в коре (магнитными аномалиями). В результате вековых вариаций геомагнитный полюс прецессирует относительно географического полюса с периодом около 1200 лет.

На больших расстояниях МПЗ несимметрично. Под действием исходящего от Солнца потока плазмы (так называемого «солнечного ветра») магнитное поле Земли искажается и приобретает «шлейф» в направлении от Солнца, который простирается на сотни тысяч километров, выходя за орбиту Луны.

Дипольный магнитный момент Земли на 1970 составлял  $8,3 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ , уменьшаясь за десятилетие на несколько десятых долей процента. Установлено, что напряженность МПЗ различна на разных географических широтах и постоянно меняется во времени. На северном геомагнитном полюсе напряженность составляет 48 А/м, на южном – 56 А/м, на магнитном экваторе – 28 А/м. В отдельных местах (например, в районах Курской, Криворожской, Кольской магнитных аномалий, аномалии на Урале и др.) напряженность поля может быть значительно выше. Так, самая высокая напряженность поля Курской магнитной аномалии достигает 120 А/м. Обычно сильные магнитные аномалии связываются с залежами магнетитовых ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и титаномagnetитовых руд (примеси  $\text{TiO}_2$ ).

МПЗ обладает весьма высокой пространственной однородностью: его изменение при перемещении на 1 км составляет менее одной миллионной доли величины основного поля.

МПЗ является векторной величиной. Для характеристики направления МПЗ используют два понятия:

- магнитное наклонение – угол между магнитной силовой линией и горизонтальной плоскостью. На магнитных полюсах Земли, а также в районах крупных магнитных аномалий магнитное наклонение равно  $90^\circ$ ;
- магнитное склонение – угол между географическим и магнитным меридианами в точке земной поверхности. Магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным – если к западу. Значение магнитного склонения указывается на магнитных картах и используется для определения истинного меридиана по показанию магнитного компаса.

Выделяют постоянную и переменные составляющие МПЗ (геомагнитные вариации). Разность между наблюдаемой величиной напряженности МПЗ и средним ее значением за какой-либо длительный промежуток времени, например, месяц или год, называется геомагнитной вариацией. Согласно наблюдениям, геомагнитные вариации непрерывно изменяются во времени, причем такие изменения часто носят периодический характер.

Переменная составляющая МПЗ имеет периодические и непериодические компоненты. Среди периодических компонентов различают вековые, 11-летние, сезонные и суточные вариации. Важно отметить, что постоянная составляющая МПЗ и периодические компоненты переменной составляющей – это магнитные поля, существование которых сопровождало процесс эволюции жизни на Земле и, следовательно, эти поля формировали электромагнитные параметры организма человека.

Непериодические компоненты МПЗ, так называемые геомагнитные пульсации, представляют собой случайные процессы в полосе частот от сотых долей до единиц герц (на частотах характерных для собственных электромагнитных колебаний в организме) с амплитудами до одной тысячной доли основного МПЗ.

Более существенные по интенсивности непериодические изменения МПЗ амплитудой до 1% основного поля называют магнитными бурями. Механизм возникновения магнитной бури изображен на рис. 5.

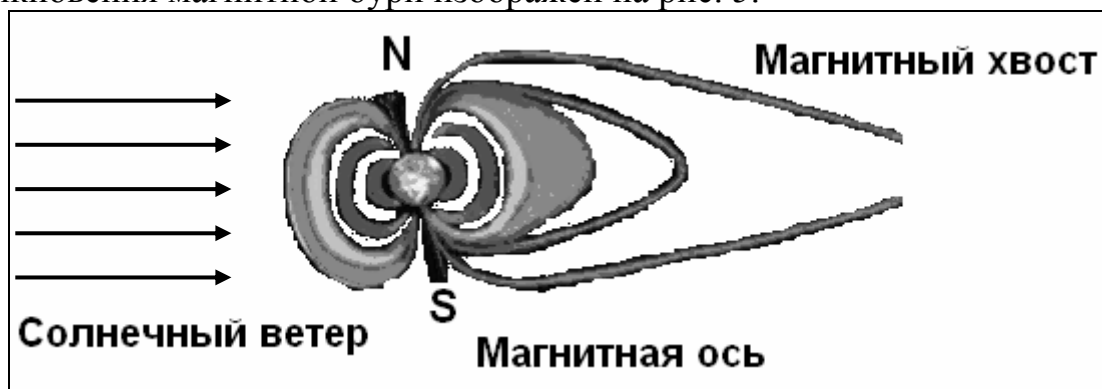


Рис. 5. Взаимодействие «солнечного ветра» и МПЗ.

После солнечной вспышки (солнечной бури) к Земле устремляется дополнительный поток электромагнитного излучения, занимающего широкий диапазон частот. Оно достигает поверхности Земли примерно через 8 минут. Одновременно из солнечной атмосферы выбрасывается поток заряженных высокоскоростных частиц (солнечный ветер») – атомы водорода с небольшой примесью гелия, вследствие ионизации атомов находящиеся в плазменном состоянии. Они достигают орбиты Земли через 0,5 – 2 суток. Под давлением этого потока магнитосфера Земли на дневной стороне сжимается вдвое и даже больше и приближается к поверхности Земли: так начинается магнитная буря (правильнее магнитосферная буря). Магнитосферная буря (ее в соответствии с терминологической традицией мы по-прежнему будем называть магнитной или геомагнитной бурей) является причиной возникновения большого числа физических процессов, приводящих к появлению в атмосфере Земли различных видов ЭМП. Итак, магнитные бури – это следствие солнечных бурь.

Информационное воздействие МПЗ на организм человека проявляется именно в период магнитных бурь – непериодических случайно возникающих явлений изменения МПЗ по сравнению с его привычным значением и привычными периодическими вариациями. Многие из нас были свидетелями ухудшения состояния людей в период магнитных бурь или же сами ощущали проблемы с самочувствием. Существуют и научно-обоснованные статистически достоверные результаты наблюдений состояния здоровья людей под действием магнитных бурь.

Таким образом, влияние магнитных бурь на различные системы организма человека не вызывает сомнений. А теперь вспомним: амплитуда магнитной бури составляет всего 1% от основного поля. Какой другой параметр окружающей среды при изменении на 1% приведет к изменению самочувствия человека? Конечно же, никакой! Человек просто не ощущает таких изменений. Следовательно, реакция организма человека на магнитные бури является важнейшим подтверждением описанного ранее информационного воздействия ЭМП на человека.

Основными антропогенными источниками ЭМП являются:

- транспорт на электрической тяге – электропоезда (в том числе поезда метрополитена), троллейбусы, трамваи, электромобили – является относительно мощным источником ЭМП в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц. Например, амплитуда напряженности МП в пригородных электричках достигает 60 А/м при среднем значении 20 А/м;
- линии электропередачи (ЛЭП) являются источником ЭМП на частоте 50 Гц (промышленной частоте). Электрический ток, проходящий по проводам ЛЭП, создает в прилегающем пространстве магнитное поле, а разность потенциалов проводов является причиной возникновения электрического поля. Уровень магнитного поля зависит от величины протекающего тока и, соответственно, нагрузки линии, которая может существенно изменяться как в течение суток, так и с изменением сезонов года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также

меняются. Уровень электрического поля определяется рабочим напряжением ЛЭП (классом ЛЭП – например ЛЭП 220 кВ) и практически стабилен за все время эксплуатации. Отметим, что большая часть ЛЭП в России построена в период, когда еще не был принят норматив предельно допустимого уровня (ПДУ) по магнитному полю на промышленной частоте для населения. Сегодня этот ПДУ установлен и составляет  $H_{\text{ПДУ}} = 8 \text{ А/м}$  для жилых помещений. Аналогичный ПДУ, рекомендованный независимо друг от друга шведскими и американскими специалистами равен  $0,25 \text{ А/м}$ ;

- бытовая электропроводка также как и ЛЭП является источником ЭМП на частоте 50 Гц. Наибольшую роль здесь играет магнитное поле тока. Опасность этого источника для человека заключается в возможности оказаться на длительное время вблизи него, например, установить кровать у внешней стены квартиры, по другой стороне которой проложен кабель, питающий несколько соседних квартир;
- бытовые электроприборы являются источниками ЭМП в широком частотном диапазоне, определяемой особенностями конкретного прибора. Большинство из них – источники магнитного поля промышленной частоты: пылесос, дрель, миксер, электрическая плита, стиральная машина, электрический чайник. Отдельные бытовые приборы создают ЭМП в других частотных диапазонах:
  - микроволновая печь в диапазоне 2,45 ГГц;
  - электроннолучевой монитор телевизора (компьютера) в диапазоне 2-400 кГц;
  - индукционная печь в диапазоне 20 кГц;
- радиопередающие станции, частотный диапазон и мощность излучения которых определяются их назначением, в том числе:
  - радио- и телестанции, размещение которых предполагает наличие санитарно-защитной зоны (ССЗ) – охраняемой территории вокруг станции, куда невозможен доступ населения. Уровень ЭМП вне ССЗ определяется мощностью передатчика и особенностями антенны. Для радиостанции *ДВ-диапазона* (30 - 300 кГц) в ближней зоне передатчика поле может быть достаточно большим, например, на расстоянии 30 м от антенны передатчика мощностью 500 кВт, работающего на частоте 145 кГц, электрическое поле может составлять 630 В/м, а магнитное – 1,2 А/м. Для радиостанции *СВ-диапазона* (300 кГц - 3 МГц) в ближней и промежуточной зоне на расстоянии 200 м от передатчика напряженность электрического поля может достигать 10 В/м, на расстоянии 100 м – 25 В/м, на расстоянии 30 м – 275 В/м (приведены данные для передатчика мощностью 50 кВт). Для радиостанции *КВ-диапазона* (3 - 30 МГц), передатчики которых часто размещаются в городах (могут быть размещены даже на крышах жилых зданий), на расстоянии 100 м напряженность электрического поля может достигать 44 В/м и магнитного поля – 0,12 А/м (приведены данные для передатчика мощностью 100 кВт). Для

*телевизионных передатчиков*, которые, как правило, располагаются в городах, типичные значения напряженности электрического поля могут достигать 15 В/м на расстоянии 1 км от передатчика мощностью 1 МВт. Все приведенные значения напряженностей электрического и магнитного полей сопоставимы со значениями ПДУ для соответствующих частотных диапазонов;

- базовые станции (БС) систем сотовой связи, появившиеся в России в последние 10-15 лет, работают в диапазоне 900 МГц (1800 МГц) и имеют мощность излучения 10-40 Вт. Антенны БС устанавливаются на высоте 15-100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах) или на специально сооруженных мачтах. Основными особенностями БС с точки зрения их влияния на уровень электромагнитного загрязнения окружающей среды являются большое число БС (в сотни раз превышающее число радиопередающих центров до внедрения сотовой связи) и их размещение на территории жилой застройки. Исходя из технологических требований построения системы сотовой связи, диаграмма направленности (ДН) антенны в вертикальной плоскости представляет собой довольно узкий луч, смещенный вниз от горизонтали на небольшой угол;
- абонентские станции (АС) систем сотовой связи работают в диапазоне 900 МГц (1800 МГц) и имеют мощность излучения до 2 Вт. Основной особенностью АС с точки зрения их влияния на уровень электромагнитного загрязнения окружающей среды являются тот факт, что это первый в истории человечества радиопередатчик, к которому население «может приблизиться» на любое сколь угодно малое расстояние. Фактически человек добровольно прикладывает антенну АС к голове. Оценка вредного воздействия ЭМП АС на человека осложняется тем, что при работе АС голова человека находится в ближней зоне;
- специальные радиопередающие станции (радиолокационные станции, станции спутниковой связи) обычно работают в диапазоне порядка единиц гигагерц и имеют мощные передатчики и узконаправленные антенны. Такие станции могут представлять экологическую опасность только для обслуживающего персонала, особенно в случае их размещения на подвижных объектах ограниченных размеров.
- разнообразные технические объекты (электрическое и электронное оборудование) функционирование которых по основному назначению не связано с генерацией ЭМП, но создающие такие ЭМП (например, сварочный аппарат, система зажигания автомобильного двигателя и т.п.). Частотный диапазон и интенсивность ЭМП, создаваемых такими источниками, определяются в каждом конкретном случае.

Таким образом, антропогенные ЭМП существуют в широком частотном диапазоне и оказывают тепловое и информационное воздействие на организм

человека. При дальнейшем рассмотрении вредного воздействия антропогенных ЭМП основное внимание будет уделено вопросам воздействия на население в бытовых условиях. В этом случае основными источниками антропогенных ЭМП являются ЛЭП и бытовая электропроводка, БС и АС систем сотовой связи, а также микроволновые печи.

### **1.3. Влияние электромагнитного поля на организм человека**

В СССР широкие исследования биологического действия ЭМП были начаты в 60-е годы XX века. Был накоплен большой клинический материал о неблагоприятном действии магнитных и электромагнитных полей, было предложено классифицировать новое заболевание «Радиоволновая болезнь» или «Хроническое поражение микроволнами». В дальнейшем было установлено, что, во-первых, нервная система человека, особенно высшая нервная деятельность, чувствительна к ЭМП, и, во-вторых, что ЭМП обладает так называемым информационным действием при воздействии на человека в интенсивностях ниже пороговой величины теплового эффекта. Результаты этих работ были использованы при разработке нормативных документов. В результате нормативы в СССР были установлены очень жесткими: в СССР ПДУ плотности потока энергии для персонала первоначально был установлен равным  $0,01 \text{ мВт/см}^2$ , а в США –  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Беспрецедентное для научных положений различие в тысячу раз требовало разумных объяснений, которые не могли ограничиваться только областью чистой науки.

Если верить американскому журналисту П. Броудеру, выпустившему в 1977 г. большую книгу популярного характера «Облученная Америка», то выходит, что только в 70-х годах американцы начали изучать влияние ЭМП на деятельность мозга. На суперобложке упомянутой книги заявлено: «Микроволновая радиация может ослепить вас, изменить ваше поведение, вызвать генетические нарушения и даже убить вас. Эту опасность скрыли от вас Пентагон, государственный департамент и электронная индустрия». Журналист нарисовал весьма правдоподобную картину: к жалобам персонала, обслуживающего радиолокационные станции, соответствующие ведомства сперва прислушались и с 1957 г. четыре года подряд собирали конференции военно-морской, военно-воздушной и сухопутной служб. Однако в итоге этих конференций признали только тепловой характер действия микроволн, установили указанный выше ПДУ облучения неионизирующей радиацией, проигнорировали сообщения о возможном нетепловом влиянии на деятельность центральной нервной системы и стали свертывать эти исследования.

Возобновление исследований по электромагнитной биологии в США носило взрывной характер. Отправной точкой возобновления интереса к биологическому действию ЭМП считается Правительственный Акт о радиационном контроле здоровья, принятый Конгрессом в 1968 г. Немедленно ПДУ был снижен до  $5 \text{ мВт/см}^2$ , увеличилось число учреждений, где стали изучать действие ЭМП различных диапазонов.



Следует отметить, что до сегодняшнего времени механизмы действия ЭМП при относительно низком уровне еще мало изучены. Многочисленные исследования в области биологического действия ЭМП позволяют определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервная, иммунная, эндокринная и половая. Эти системы организма являются критическими. Реакции этих систем должны обязательно учитываться при оценке риска воздействия ЭМП на население.

Современная электромагнитная биология считает, что отрицательный эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания.

К настоящему времени в литературе по магнитобиологии имеется большое число результатов наблюдений и экспериментов по определению степени воздействия ЭМП различных частотных диапазонов на отдельные системы организма человека: сердечно-сосудистую систему, систему кровообращения, нервную систему, иммунную систему, репродуктивную систему, на психоэмоциональное состояние человека. При этом в некоторых источниках делаются попытки обосновать механизмы такого воздействия в виде научных гипотез или теорий.

Влияние на сердечно-сосудистую систему проявляется при резком изменении МПЗ, связанном с выбросом Солнцем потоков заряженных частиц, которые при подходе к Земле оказывают действие на магнитосферу и ионосферу Земли. Исследования связи между этим процессом (солнечная и магнитосферная буря) и изменением состояния больных с сердечно-сосудистой патологией проводились во многих научных и лечебных заведениях. В Ялтинском НИИ им. И.М. Сеченова для характеристики солнечной активности использовались данные о радиоизлучении Солнца на частоте 3200 МГц. Информация о возмущенности МПЗ поступала от установленной в Ялте магнитовариационной станции.

За пять лет (1970-1975) было исследовано 1642 больных (445 - гипертонической болезнью, 815 - церебральным атеросклерозом, 582 - ишемической болезнью сердца), возраст большинства больных (84%) превышал 41 год; 63% из них составляли мужчины. Было достоверно установлено, что ухудшение общего состояния больных самым тесным образом связано с солнечными и магнитными бурями. С началом солнечной бури, т.е. в день усиления солнечной активности, увеличивалось число случаев ухудшения состояния больных гипертонической болезнью (у больных существенно увеличивалось давление). Во время геомагнитных бурь ухудшалось коронарное кровообращение, что было очевидно из анализа ЭКГ.

В Минске динамика заболеваемости инфарктом миокарда исследовалась по медицинским документам 2037 больных, которые находились в лечебных стационарах. Анализировались данные о протекании болезни (клинические, лабораторные и электрокардиографические), а также данные патолого-анатомического вскрытия. Они сопоставлялись с данными о солнечных и

геомагнитных бурях, а также метеорологическими данными (всего 15 физических характеристик). Анализ всех этих данных показал, что количество случаев инфаркта миокарда наиболее тесно связано с солнечной активностью и степенью возмущенности МПЗ. Более того, зная наперед, т.е. имея прогноз солнечной активности и геомагнитных бурь, можно достаточно уверенно, с погрешностью не более 20%, прогнозировать количество случаев инфаркта миокарда.

Сопоставление медицинских данных с солнечными, геомагнитными и метеорологическими данными показало следующие их зависимости. В день роста солнечной активности увеличивается количество случаев инфаркта миокарда. Это увеличение наблюдается и в последующие дни. В тот день, когда на Солнце происходит хромосферная вспышка, количество заболеваний растет и становится максимальным на следующий день после вспышки. Напомним, что это время необходимо потоку заряженных частиц, чтобы достичь магнитосферы Земли и вызвать в ней геомагнитную бурю.

Число заболеваний увеличивается не только во время геомагнитной бури, но и за сутки до нее, а также после ее окончания. Дело в том, что воздействие импульсного ЭМП, порожденного вспышкой на Солнце, начинается вскоре после начала вспышки. Это связано с воздействием на атмосферу и ионосферу Земли волнового излучения Солнца, которое достигает Земли всего за 8 минут. Когда же к Земле подходит и корпускулярное излучение Солнца, действие геофизических факторов на организм человека усиливается. Поэтому в это время число инфарктов достигает максимума. Установлено также, что те инфаркты миокарда, которые наступают в периоды солнечных и магнитных бурь, протекают более тяжело, часто сопровождаются осложнениями и заканчиваются смертью.

В институте клинической и экспериментальной медицины АМН СССР в Новосибирске в 1980 г. под руководством академика В.П. Казначеева проводились исследования воздействия солнечных и магнитных бурь на работников умственного труда с заболеваниями сердечно-сосудистой системы (гипертоническая болезнь I - II степени). Это был год максимума солнечной активности. Средний возраст исследуемых составлял 46 лет. В этих исследованиях была доказана причинная связь между геомагнитными возмущениями и гипертоническими кризами у больных гипертонической болезнью.

Подобные исследования проводились также в Свердловском медицинском институте. В период высокой солнечной активности (за меру активности Солнца в данном случае принималась величина потока его излучения в радиодиапазоне) число вызовов «Скорой помощи» было самым высоким; в эти же дни (во время солнечных бурь) число летальных исходов удвоилось по сравнению со средним.

Действие ЭМП на систему кровообращения главным образом происходит на уровне микроциркуляции крови. Прежде чем рассмотреть характер этого действия, кратко опишем свойства крови. Кровь состоит из плазмы и клеточных (форменных) элементов. Плазма на 90-92% состоит из воды. В нее

также входят органические и неорганические вещества, около 0,1% глюкозы и 0,9% солей. Такое соотношение сохраняется практически неизменным.

Клеточные элементы крови – это лейкоциты, тромбоциты и эритроциты. Последние переносят углекислоту и кислород. Концентрация эритроцитов весьма большая: в 1 мм<sup>3</sup> крови человека содержится около 5 млн. эритроцитов. Лейкоциты обеспечивают иммунную оборону организма. Тромбоциты (их называют также кровяными пластинками) влияют на процесс свертывания крови. Таким образом, кровь – это сложная среда, характеризующаяся своими физико-химическими свойствами.

Клетка элемента крови является электрическим «сооружением», по крайней мере, все ее функции (в частности обмен с внешним миром) контролируются электрическими зарядами, электрическим потенциалом. Основные свойства и функции крови также связаны с электричеством. Главный электрохимический параметр крови (параметр  $pH$ ) определяется соотношением числа положительных ионов водорода и отрицательных ионов гидроксидов  $HO$ .

Если положительных зарядов столько же, сколько отрицательных, то в целом кровь является электрически нейтральной. Тогда величина  $pH$  равна 7,0. Если положительных ионов водорода больше, то величина  $pH$  становится меньше, а среда становится слабокислой, и положительный электрический заряд клеток увеличивается. Если же преобладают отрицательные электрические заряды – ионы гидроксидов, то среда становится слабощелочной и увеличивается отрицательный заряд клеток. Сдвиг в соотношении электрических зарядов и в ту и в другую сторону для организма нежелателен; он приводит к серьезным нарушениям в его функционировании. Таким образом, для нормальной работы организма нужна «золотая середина», когда суммарный электрический заряд всех ионов равен нулю. Такие условия названы изоэлектрическим состоянием, при этом величина  $pH$  называется изоэлектрической точкой. Именно при этих условиях происходят многие жизненно важные для организма человека процессы.

При описании характеристик крови используются и другие параметры, характерные для описания электрических систем (диэлектрическая проницаемость, электропроводность форменных элементов крови и плазмы, электрический потенциал между неподвижной и подвижной частями двойного слоя крови у стенки сосуда, получивший название «дзета-потенциала» и др.).

Мы коротко описали электрические свойства крови в статике. В динамике, т.е. в системе движущейся крови, все значительно сложнее. В кровеносном сосуде кровь вблизи стенок сосуда движется медленнее, чем вблизи оси сосуда. Чем дальше от стенки сосуда, тем скорость крови больше. Когда отдельный эритроцит попадает между слоями крови, которые движутся с различными скоростями, его разворачивает так, чтобы обеспечить наилучшую обтекаемость. Эритроцит имеет форму диска с несколько вогнутыми по направлению к оси диска стенками. Каждый эритроцит движется вперед своей узкой стороной. Мало того, установившись радиально (в направлении радиуса сосуда), диск эритроцита начинает вращаться вокруг оси, которая проходит через центр его вогнутых сторон. Таким образом, эритроциты внутри

сосудистого русла перемещаются не поступательно, а катятся. При этом они сближаются своими вогнутыми сторонами, образуя кольцо. Такое расположение эритроцитов устанавливается только при движении крови в сосудах. Движущиеся с кровью эритроциты сортируются по размерам (по возрасту). Самые молодые (самые маленькие эритроциты) располагаются вблизи оси сосуда, где скорость крови максимальна. На периферии, вблизи стенок сосуда движутся наиболее взрослые (крупные) эритроциты. С окончанием срока жизни они захватываются и уничтожаются специальными клетками, расположенными на внутренней стороне кровеносных сосудов.

Описанная динамическая структура крови образуется под действием электрических и магнитных полей. Когда эритроциты вращаются, их электрические заряды создают конвекционные электрические токи; эти токи порождают магнитное поле. Магнитное поле, которое действует между отдельными эритроцитами, располагает их симметрично, как это описано выше. Электрические заряды, которые находятся на эритроцитах, отталкиваются, так как они являются одноименными. Это препятствует соприкосновению и «склеиванию» эритроцитов (это явление называют электрораспором); этому же содействуют и завихрения между отдельными эритроцитами. Таким образом, электрические заряды на эритроцитах и образование вихрей противодействуют образованию тромбов.

Мы напомнили об электрических и магнитных свойствах крови для того, чтобы читатель мог представить себе, насколько система крови подвержена действию внешних электрических и магнитных полей, ведь сама кровь является системой электромагнитной.

Под действием ЭМП изменяются физико-химические характеристики крови. Наиболее уязвимыми для ЭМП являются мембраны клеток. В результате увеличивается свертывающая способность крови, что приводит к тромбгеморрагическим осложнениям. Больные, страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями, наиболее подвержены воздействию ЭМП во время геомагнитных бурь именно в смысле тромбгеморрагических реакций. Исследования, проводившиеся в специализированных медицинских отделениях Еревана в 1979-1980 г.г., показали, что вязкость цельной крови становится наибольшей в день наивысшей геомагнитной активности; только спустя три дня после геомагнитной бури уровень вязкости крови восстанавливается. Исследования изменения дзета-потенциала эритроцитов показали, что во время магнитных бурь снижается потенциал клетки; в свою очередь это обстоятельство обуславливает последующее развитие патологической слипаемости форменных элементов крови. Все это, в конце концов, приводит к капиллярной гипоксии мозга.

Интерес представляют результаты исследований 1995 года, выполненных в Военно-медицинской академии. Воздействием на движущуюся по сосудам кровь низкочастотным синусоидальным и импульсным ЭМП было подтверждено влияние ЭМП на параметры гемодинамики в соответствии с ориентацией сосудистого русла относительно векторов  $E$  и  $H$  этого поля.

Известно, что системы органов кровообращения и органов дыхания тесно связаны между собой. В Ялтинском НИИ физических методов лечения и медицинской климатологии им. И.М. Сеченова в течение более 10 лет исследовалось влияние солнечных и геомагнитных бурь на состояние лиц, страдающих заболеваниями органов дыхания. Выяснилось, в частности, что при усилении импульсного ЭМП естественного происхождения наблюдается снижение показателей жизненной емкости легких.

Большое число исследований, выполненных в России, и сделанные по их результатам обобщения, дают основание отнести нервную систему к одной из наиболее чувствительных систем в организме человека к воздействию ЭМП. На уровне нервной клетки, структурных образований по передаче нервных импульсов, на уровне изолированных нервных структур возникают существенные отклонения при воздействии ЭМП малой интенсивности. Действие ЭМП проявляется прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в ЭМП, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна, имеют склонность к развитию стрессорных реакций. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием электромагнитного излучения с достаточно большой интенсивностью. Такие люди жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в осуществлении психических функций человека, можно ожидать, что длительное повторное воздействие ЭМП с уровнями порядка ПДУ (особенно в дециметровом диапазоне волн) может привести к психическим расстройствам.

Определенные структуры головного мозга имеют повышенную чувствительность к ЭМП. Изменения проницаемости гематоэнцефалического барьера может привести к неожиданным неблагоприятным эффектам. Особую высокую чувствительность к ЭМП проявляет нервная система эмбриона человека.

ЭМП оказывает действие на психоэмоциональное состояние человека в форме влияния на степень выраженности так называемого доминирующего психопатологического синдрома. Об этом свидетельствуют результаты многочисленных исследований, проводившихся синхронно в разных странах в различных географических поясах (например, исследования в Московском НИИ психиатрии и одновременно в США в Бирмингеме и Фрамингене в период с 21 июня по 1 декабря 1977 г.). Воздействие ЭМП на психоэмоциональное состояние наблюдается как у психически больных, так и у здоровых людей. Перечисляя ряд явлений, связанных с периодической деятельностью Солнца, электричеством и магнетизмом Земли, А.Л. Чижевский относит к этому ряду и

психопатические эпидемии, массовые истерии, галлюцинации. В своей книге «Земное эхо солнечных бурь» он пишет: «... поток электронов и протонов, вылетевший из жерла солнечного пятна и пролетающий мимо Земли, вызывает огромные возмущения во всем физическом и органическом мире планеты, вспыхивают огни полярных сияний, Землю охватывают магнитные бури, резко увеличивается число внезапных смертей, заболеваний, случаев сумасшествия, эпилептических припадков, несчастных случаев вследствие шока в нервной системе».

В Австрии и ряде других стран показано, что динамика попыток самоубийств, в общем, соответствует геоэнергетическому календарю. Количество ошибочных решений, принимаемых летчиками, в периоды геофизических возмущений возрастает; при этом отмечается нарастание уровня тревоги и утомления. Учеными ряда стран было доказано, что число несчастных случаев и травматизма на транспорте увеличивается с ростом солнечной активности. За то, что возможная причина этих происшествий находится вне Земли, в космосе, свидетельствует тот факт, что количество дорожно-транспортных происшествий в разных городах увеличивается синхронно вскоре после начала бури на Солнце и в магнитосфере. Суть полученных результатов сводится к тому, что с увеличением солнечной активности нормальное функционирование человеческого организма, в частности его центральной нервной системы, становится затруднительным, увеличивается время реакции организма на внешний световой или звуковой сигнал. У водителей, пешеходов, операторов в это время появляются своего рода заторможенность, медлительность, ухудшается сообразительность, увеличивается вероятность принятия неверных решений. Все это относится к практически здоровым людям.

В настоящее время накоплено достаточно данных, указывающих на отрицательное влияние ЭМП на иммунную систему организма. Результаты исследований ученых России дают основание считать, что при воздействии ЭМП нарушаются процессы иммуногенеза, чаще в сторону их угнетения. Установлено также, что у животных, облученных ЭМП, изменяется характер инфекционного процесса – течение инфекционного процесса отягощается. Возникновение аутоиммунитета связывают не столько с изменением антигенной структуры тканей, сколько с патологией иммунной системы, в результате чего она реагирует против нормальных тканевых антигенов. Влияние ЭМП высоких интенсивностей на иммунную систему организма проявляется в угнетающем эффекте клеточного иммунитета. ЭМП могут способствовать неспецифическому угнетению иммуногенеза, усилению образования антител к тканям плода и стимуляции аутоиммунной реакции в организме беременной женщины.

В настоящее время при выявлении последствий загрязнения окружающей среды состояние репродуктивной системы человека рассматривается как показатель генетического здоровья населения. Далее приводятся результаты исследований, выполненных научными коллективами С.-Петербургского НИИ гигиены труда и профзаболеваний, института акушерства и гинекологии им.

О.А. Отта, института физиологии им. И.П. Павлова, а также некоторыми другими научными организациями. Результаты касаются изучения воздействия ЭМП СВЧ и ВЧ диапазонов на репродуктивную систему женщин-испытательниц СВЧ приборов и мужчин, подвергающихся в процессе профессиональной деятельности воздействию ЭМП ВЧ и СВЧ диапазонов.

Исследования выполнялись в течение нескольких лет, причем уровни ЭМП не превышали предельно допустимых значений. Предпосылкой к изучению воздействия ЭМП малой интенсивности на генеративную функцию женского организма послужили данные заболеваемости с временной нетрудоспособностью 500 лиц, контактирующих с ЭМП СВЧ диапазона. Исследования показали, что у женщин-испытательниц СВЧ приборов достоверно чаще, чем в контрольной группе наблюдались нарушения овариально-менструальной функции. Обращала на себя внимание существенно более высокая частота осложнений беременности (40% и 21% - основная и контрольная группы соответственно).

Среди осложнений беременности первое место занимали поздние и ранние токсикозы (29%), затем самопроизвольное прерывание беременности (22,8%). В структуре осложнений родов ведущее место занимала слабость родовой деятельности. У женщин, контактирующих с СВЧ, выявлены существенные нарушения в состоянии здоровья. Так, у 40% из них диагностированы функциональные расстройства центральной нервной системы. У трети обследованных наблюдалась патология сердечно-сосудистой системы.

Уместно привести и такие сведения: на большом материале учеными показано, что преждевременные роды, токсикозы второй половины беременности имеют место в 1,5 раза чаще в те периоды, когда солнечная активность максимальна, по сравнению с периодами, когда она минимальна. Установлено и другое: чем дальше на север, тем число случаев преждевременных родов и токсикозов больше. Вблизи зоны полярных сияний, где вторгается больше всего заряженных частиц от Солнца, количество таких случаев примерно в 1,5 раза больше, чем в средней полосе.

Подходя к результатам оценки воздействия ЭМП на мужчин, следует отметить, что в более ранней литературе имеются указания на развитие гипо- и импотенции у мужчин, подвергающихся воздействию СВЧ. Исследованиями авторского коллектива, по данным которого излагается настоящий материал, установлено, что у регулировщиков устройств ВЧ диапазона в сыворотке крови существенно понижен в сравнении с контрольным уровень тестостерона и повышен уровень фолликулостимулирующего гормона (ФСГ). В динамике профессионального стажа наблюдались фазовые изменения уровня гормонов, существенное подавление функции семенников (о чем свидетельствует снижение уровня тестостерона), происходящие при контакте с ЭМП свыше 10 лет. Увеличение ФСГ прослеживается при стаже 16 лет. При урогенитальном обследовании 870 мужчин, состоящих в бездетном браке, учеными-медиками также обращено внимание на роль ЭМП в нарушении генеративной функции.

Необходимо отметить, что, к сожалению, практически отсутствуют целенаправленные исследования по оценке здоровья детей, родители которых

подвергались воздействию ЭМП.

Постановка вопроса об экологической безопасности человека, профессионально связанного с электромагнитными излучениями, обусловлена наличием многочисленных сведений, теперь уже бесспорного характера, о неиндифферентности слабых ЭМП для организма и, в первую очередь, для центральной нервной системы. Считается доказанным, что биоэффекты ЭМП разных интенсивностей (термогенных, нетермогенных, слабых) реализуются в биообъектах посредством различных механизмов.

Из общей радиотехники мы знаем, что полный (комплексный) спектр колебаний, т.е. совокупность амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик колебания, полностью адекватен по описанию временному процессу. Применительно к ЭМП, связанным с радиотехническими, электротехническими и другими техническими системами, важнейшими характеристиками являются пространственная структура поля, поляризация, соотношение электрического и магнитного векторов поля (как амплитудно-фазовое, так и пространственное) и некоторые другие характеристики поля.

Полевые параметры ЭМП, воздействующего на биообъект, имеют также существенное значение. Что же касается временных характеристик ЭМП, то биотропных параметров (судя по результатам научных исследований) значительно больше, чем радиотехнических (определяющихся элементарной теорией спектров).

Весьма неопределенной остается проблема индивидуального реагирования человека на ЭМП. Вероятно, индивидуальный характер реакции тесно связан с чувствительностью человека к тем или иным частотам ЭМП. Таким образом, фундаментальной задачей электромагнитной экологии является определение индивидуальной радиочувствительности человека.

В заключение данного параграфа уделим внимание одному из важнейших вопросов современной электромагнитной биологии – вопросу о возможном ущербе для здоровья человека при пользовании сотовым телефоном. Прежде всего, обратим внимание на особенность данного воздействия: в отличие от ЭМП, созданного любым другим СВЧ-источником, в том числе базовой станцией сотовой связи или сотовым телефоном другого говорящего человека, поле собственного мобильного телефона имеет совершенно другую пространственную структуру и фазовые характеристики. Это поле не является радиоволной на расстоянии нескольких сантиметров от антенны мобильного телефона.

Однако, если вести поиск научно-технической информации по вопросу о вредном влиянии сотовой связи, то практически всегда мы будем сталкиваться с оценкой интенсивности излучения в единицах плотности потока энергии [мкВт/см<sup>2</sup>], то есть в единицах, применяемых исключительно для характеристики радиоволн. Как было сказано выше таких волн при облучении головы человека собственным телефоном нет!

В последние десятилетия проводятся массовые исследования по выявлению вредного воздействия ЭМП сотового телефона. Стандартная схема такого исследования «в реальном времени» заключается в том, что голова



испытуемого помещается вблизи включенного телефона, но при этом сам телефон отделен непрозрачной перегородкой. Таким образом, испытуемый не знает, включен телефон или нет, что позволяет ему избежать «помеховых» психологических последствий. Параметры здоровья и самочувствия испытуемого непрерывно регистрируются (например, пульс, электрокардиограмма, электроэнцефалограмма и т.п.) и делаются попытки выявить корреляцию между этими параметрами и фактом включения телефона. Некоторые исследователи в результате таких опытов приходят к выводу о наличии изменений в деятельности головного мозга под действием ЭМП сотового телефона. Но эти изменения носят адаптационный характер и, как только поле выключается, регистрируемые параметры организма восстанавливаются.

Для определения последствий длительного пользования сотовым телефоном необходимо проводить многомесячные (многолетние) эксперименты с регламентируемой длительностью разговоров в течение суток при фиксированной мощности передатчика. Однако, это был бы уже эксперимент над живыми людьми, которые проводятся крайне редко. С другой стороны все мы втянуты в огромный эксперимент по исследованию возможного вредного воздействия сотового телефона как его активные пользователи. Правде в этом эксперименте никто не следит за длительностью разговоров, мощностью передатчика и другими параметрами. Качественные и количественные результаты всеобщего эксперимента мы получим через несколько поколений. На данный момент серьезных причин для беспокойства нет, но полезно соблюдать элементарные правила безопасности при использовании сотового телефона.

На сегодняшний день официально принятый ответ на вопрос о вреде сотового телефона звучит следующим образом: достоверных научных данных о вредном влиянии излучения сотовых телефонов на здоровье человека нет, однако нужно продолжать исследование этой проблемы

#### **1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиозэкологии**

##### ***Изучаемые вопросы:***

- структура ЭМП в дальней, ближней и промежуточной зонах;
- универсальная модель электромагнитного поля;
- постановка и примеры решения обратной задачи электродинамики.

##### **1.4.1. Структура ЭМП в ближней, промежуточной и дальней зонах**

Студенты специальности «Радиотехника» к моменту изучения данной дисциплины уже многократно встречались с уравнениями Максвелла и их решениями для различных типов источников электрического и магнитного полей. Хорошо известно, что при определенном условии решение уравнения Максвелла представляет собой электромагнитную волну. Это условие, называемое условием дальней зоны описывается неравенством  $r \gg \lambda$  – расстояние от источника поля до точки наблюдения должно существенно

превосходить длину волны. Таким образом, в радиотехнике понятия «далеко» и «близко» отличаются от общечеловеческих. Оценка «далеко» или «близко» дается по отношению к длине волны.

Если проанализировать используемые человечеством радиотехнические системы, то выяснится, что все они работают при условии  $r \gg \lambda$ , то есть в радиотехнике автоматически выполняется условие дальней зоны. Поэтому и студенты существенно лучше знакомы с особенностями ЭМП в дальней зоне, чем с другими видами ЭМП. И только при решении задач радиоэкологии условие дальней зоны выполняется не всегда. Например, при рассмотрении влияния на организм человека ЭМП базовой станции сотовой связи мы имеем дело с электромагнитной волной в дальней зоне, но для сотового телефона, работающего на той же длине волны и находящегося в нескольких сантиметрах от головы, условие дальней зоны не выполняется. Другой пример – ЭМП ЛЭП. На частоте 50 Гц длина волны составляет  $\lambda = 6000$  км. Таким образом, организм человека автоматически находится в ближней зоне при условии  $r \ll \lambda$ .

Можно сформулировать и более общее утверждение. Радиопередающие средства создают уровни ЭМП сравнимые с ПДУ только на относительно небольших расстояниях (то есть вблизи себя в общечеловеческом смысле). Если сравнить эти расстояния с длиной волны, то выяснится, что условие дальней зоны не выполняется. Имеет место условие ближней зоны ( $r \ll \lambda$ ) или промежуточной зоны ( $r \approx \lambda$ ).

Далее в данном параграфе рассмотрены особенности ЭМП в дальней, ближней и промежуточной зонах, имеющие существенное значение для анализа экологической опасности ЭМП.

Рассмотрим ЭМП, создаваемое в точке наблюдения  $P$  простейшим источником – электрическим диполем. В электродинамической трактовке диполь (осциллятор) эквивалентен элементу линейного электрического тока  $I$  длиной  $l$ . Слово «элемент», относящееся к току  $I$ , используется для того, чтобы подчеркнуть факт малости линейных размеров по сравнению с длиной волны:  $l \ll \lambda$ . Сферическая система координат, в центре которой помещен дипольный источник, изображена на рис.6.

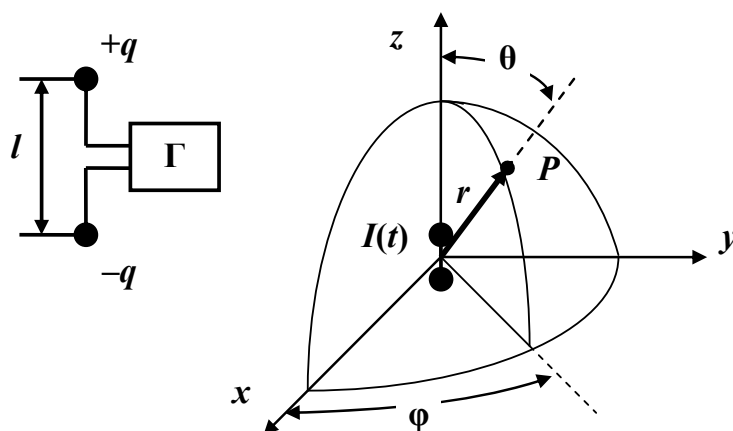


Рис. 6. Электрический диполь в сферической системе координат.

Выбор сферической системы координат  $(r, \varphi, \theta)$  вместо декартовой  $(x, y, z)$  обусловлен центральной симметрией задачи. В результате такого выбора

решение уравнений Максвелла для ЭМП в точке наблюдения  $P$  будет содержать минимальное число ненулевых компонентов векторов электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей.

Воспользуемся готовым решением уравнений Максвелла для выбранного типа источника в свободном пространстве (однородной среде без потерь):

$$\begin{cases} E_r = \frac{I l z_0}{2\pi r^2} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) \cos\theta e^{-jkr} \\ E_\theta = j \frac{I l z_0 k}{4\pi r} \left(1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{k^2 r^2}\right) \sin\theta e^{-jkr} \\ H_\varphi = j \frac{I l k}{4\pi r} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) \sin\theta e^{-jkr} \\ E_\varphi = 0, H_r = H_\theta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $z_0 = 120\pi$  [Ом] – сопротивление свободного пространства,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число. Как и ожидалось, некоторые из компонентов векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  в сферической системе координат равны нулю. Анализ решения (1) проведем последовательно в дальней и ближней зонах.

В дальней зоне при  $kr \gg 1$  вторыми и третьими слагаемыми в скобках можно пренебречь по сравнению с единицей. Получим

$$\begin{cases} E_r = \frac{I l z_0}{2\pi r^2} \cos\theta e^{-jkr} \\ E_\theta = j \frac{I l z_0 k}{4\pi r} \sin\theta e^{-jkr} \\ H_\varphi = j \frac{I l k}{4\pi r} \sin\theta e^{-jkr} \end{cases} \quad (2)$$

Сравнивая в (2) радиальный и тангенциальный компоненты электрического поля при условии  $kr \gg 1$ , можно сделать вывод о том, что  $E_\theta \gg E_r$ . Окончательное решение содержит только два компонента поля

$$\begin{cases} E_\theta = j \frac{I l z_0 k}{4\pi r} \sin\theta e^{-jkr} \\ H_\varphi = j \frac{I l k}{4\pi r} \sin\theta e^{-jkr} \end{cases} \quad (3)$$

Полученное решение (3) позволяет сделать следующие выводы о свойствах ЭМП в дальней зоне:

- ЭМП в дальней зоне представляет собой волну, распространяющуюся в радиальном направлении, что определяется наличием фазового множителя  $e^{-jkr}$ ;
- электромагнитная волна является поперечной: векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  перпендикулярны друг другу и колеблются в плоскости перпендикулярной направлению распространения волны;

- волна переносит активную мощность, что определяется синфазностью векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  ;
- амплитуда волны спадает пропорционально первой степени расстояния, а мощность (плотность потока энергии, нормируемая в радиозоологии) – пропорционально квадрату расстояния;
- соотношение векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  определяется соотношением  $E=z_0H$ ;
- существует понятие диаграммы направленности источника; для дипольного источника она определяется функцией  $f(\theta) = \sin\theta$ .

Еще один менее очевидный вывод состоит в следующем. Из электродинамики известно, что, если заменить рассмотренный электрический диполь магнитным диполем, то результат решения уравнений Максвелла может быть получен с помощью простых манипуляций с решением (3). А именно, следует заменить в решении для электрического диполя  $E$  на  $H$ ,  $H$  на  $E$ , и  $z_0$  на  $1/z_0$  (свойство перестановочной двойственности уравнений Максвелла). Получим для источника в виде магнитного диполя

$$\begin{cases} E_\varphi = j \frac{Ilk}{4\pi r} \sin\theta e^{-jkr} \\ H_\theta = j \frac{Ilk}{4\pi r z_0} \sin\theta e^{-jkr} \end{cases} \quad (4)$$

Как видно из (4) все перечисленные выше свойства электромагнитной волны сохранились и для магнитного диполя. Таким образом, еще одно свойство электромагнитной волны состоит в том, что, измеряя поле в дальней зоне, мы не можем определить тип его источника (электрический или магнитный).

Каким же образом свойства электромагнитной волны могут быть использованы при решении задач радиозоологии, например при контроле уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды? Оказывается, вы можете измерить любой из трех параметров волны:  $E$  или  $H$  или плотность потока энергии, а затем вычислить остальные два параметра. Поэтому для ЭМП в виде электромагнитной волны (в дальней зоне) достаточно установить норматив только по одному из перечисленных параметров поля.

В ближней зоне при  $kr \ll 1$  в решении (1) для электрического диполя можно пренебречь первым слагаемым в скобках по сравнению со вторыми и первым и вторым слагаемыми по сравнению третьими. Получим

$$\begin{cases} E_r = -j \frac{Ilz_0}{2\pi kr^3} \cos\theta \\ E_\theta = -j \frac{Ilz_0}{4\pi kr^3} \sin\theta \\ H_\varphi = \frac{Il}{4\pi r^2} \sin\theta \end{cases} \quad (5)$$

В (5) учтено, что фазовый множитель  $e^{-jkr}$  равен нулю при  $kr \ll 1$ .

Полученное решение (5) позволяет сделать следующие выводы о свойствах ЭМП в ближней зоне:

- ЭМП в ближней зоне не является волной (фазовый множитель отсутствует);
- взаимная ориентация векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  изменяется в пространстве и может быть произвольной;
- ЭМП не создает активной мощности – вектор  $\vec{E}$  отстает по фазе от вектора  $\vec{H}$  на  $\pi/2$ ;
- в ближней зоне существует понятие «тип источника»: электрический или магнитный. В данном случае рассмотрен электрический диполь. Для него соотношение амплитуд электрического и магнитного полей составляет величину  $E_\theta/H_\phi = z_0/kr \gg 120 \pi \text{ Ом}$ , то есть существенно превосходит «стандартное» соотношение этих векторов в электромагнитной волне, что подтверждает «электрическое происхождение» рассматриваемого ЭМП. Если рассмотреть магнитный диполь и снова воспользоваться принципом перестановочной двойственности, то решение уравнений Максвелла будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} E_\phi = \frac{Il}{4\pi r^2} \sin\theta \\ H_r = -j \frac{Il}{2\pi k z_0 r^3} \cos\theta \\ H_\theta = -j \frac{Il}{4\pi k z_0 r^3} \sin\theta \end{cases} \quad (6)$$

и аналогичное соотношение полей будет уже в пользу магнитного поля;

- для дипольного источника амплитуда основного поля, соответствующего типу источника, спадает пропорционально кубу расстояния. Однако для протяженных источников скорость спада поля может быть самой различной. Например, хорошо известно, что магнитное поле бесконечного линейного тока спадает пропорционально первой степени расстояния, а скорость спада поля кругового тока определяется его радиусом (рис.7);
- отсутствует понятие диаграммы направленности источника.

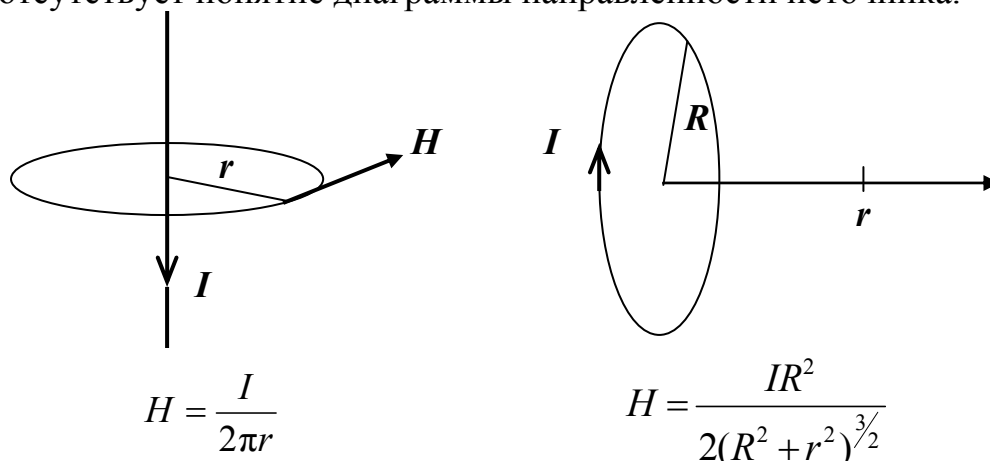


Рис. 7. Магнитное поле пространственно протяженных источников.

Какие полезные выводы для контроля уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды могут быть сделаны для ближней зоны? Оказывается, при отсутствии априорной информации о типе источника вы обязаны измерить по отдельности напряженности электрического и магнитного полей и сравнить каждую из них с соответствующим нормативом. Причем оба эти норматива должны быть законодательно установлены. Кроме того, напрашивается ввод норматива по реактивной мощности ЭМП, который в настоящее время отсутствует.

Рассмотренные два крайних случая соотношения расстояния от источника до точки наблюдения и длины волны, естественно, не исчерпывают все возможные варианты их взаимного расположения. Необходимо дополнить анализ рассмотрением случая  $r \approx \lambda$  (знак « $\approx$ » означает в данном случае величину примерно того же порядка). При этом условии решение (1) уравнений Максвелла для электрического дипольного источника невозможно упростить использованным ранее способом – все слагаемые в скобках являются величинами примерно одного порядка. Тогда для упрощения анализа рассмотрим решение в экваториальной плоскости при  $\theta=90^\circ$ . Получим

$$\begin{cases} E_\theta = j \frac{I l z_0 k}{4\pi r} \left( 1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{k^2 r^2} \right) e^{-jkr} \\ H_\varphi = j \frac{I l k}{4\pi r} \left( 1 + \frac{1}{jkr} \right) e^{-jkr} \end{cases} \quad (7)$$

Определим, как изменяется соотношение магнитной и электрической составляющих ЭМП при перемещении точки наблюдения от источника в бесконечность, то есть при различных значениях  $\xi=kr$ :

$$\frac{H_\varphi}{E_\theta} = \frac{1}{z_0} \cdot \frac{1 - j(1/\xi)}{1 - j(1/\xi) - (1/\xi^2)} = \frac{1}{z_0} \cdot \frac{\xi^2 - j\xi}{\xi^2 - 1 - j\xi}. \quad (8)$$

Полученное соотношение является комплексным числом. Найдем по отдельности его модуль и фазу.

$$\begin{aligned} \text{mod} \left( \frac{H_\varphi}{E_\theta} \right) &= \frac{1}{z_0} \cdot \frac{\xi \sqrt{\xi^2 + 1}}{\sqrt{\xi^4 - \xi^2 + 1}} \\ \text{arg} \left( \frac{H_\varphi}{E_\theta} \right) &= \text{arctg} \frac{1}{\xi^3} \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 8 построен график изменения модуля и фазы рассматриваемого отношения  $H/E$  в зависимости от величины  $\xi$ . График показывает, что параметр претерпевает существенные изменения при перемещении точки наблюдения от источника в бесконечность. В частности, в промежуточной зоне при  $\xi \approx 1,2$  рассматриваемое соотношение имеет максимум. Причем в точке максимума магнитное поле превосходит свое «нормальное» для дальней зоны значение почти в 1,5 раза.

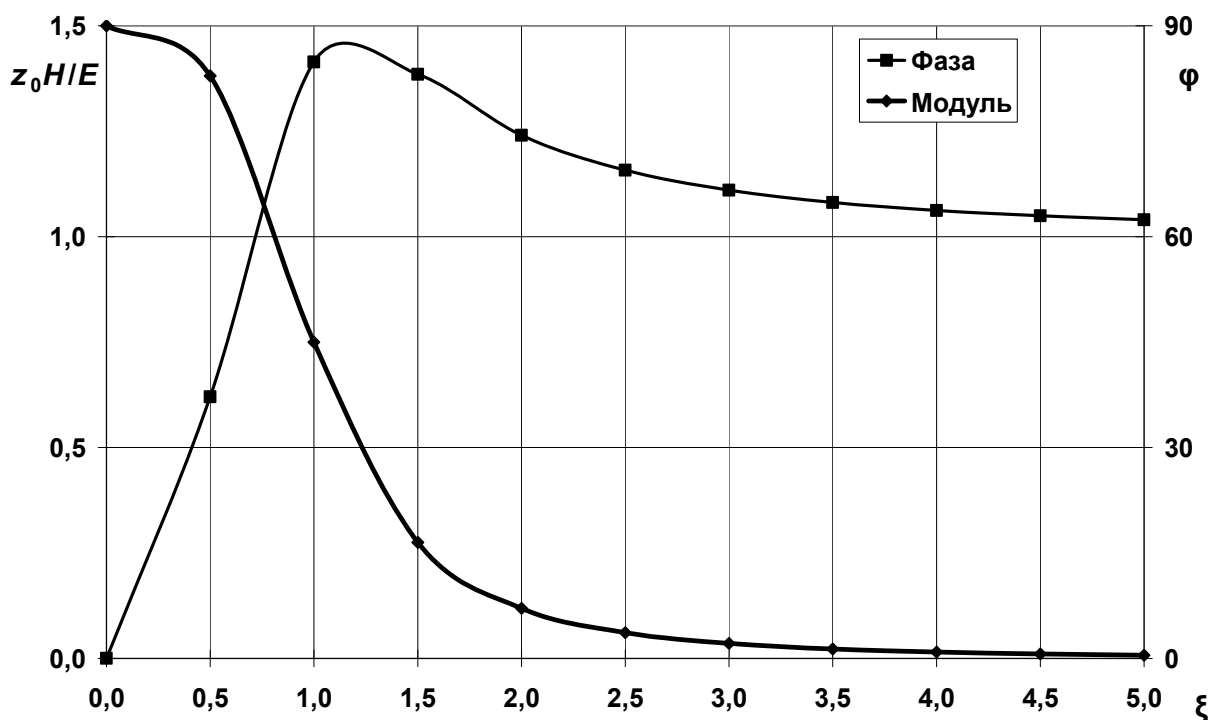


Рис. 8. Изменение соотношения  $H/E$  при удалении от источника ЭМП.

Таким образом, каждое значение  $\xi$  является уникальным с точки зрения совокупности амплитуды и фазы величины  $H/E$ . Следовательно, можно выдвинуть гипотезу о том, что параметр ЭМП является биотропным параметром, то есть существенным для определения степени воздействия ЭМП на организм человека. Устройство для проверки этой гипотезы описано в следующем параграфе.

#### 1.4.2. Универсальная модель электромагнитного поля

Для решения основной научной проблемы радиоэкологии – определения степени и механизмов воздействия ЭМП на организм человека в зависимости от разнообразных значений параметров этого ЭМП и их сочетаний – требуется научиться создавать соответствующие ЭМП. Указанное разнообразие параметров ЭМП относится к его частоте, амплитуде (для дальней зоны), соотношению амплитуд и фаз электрической и магнитной составляющей (для ближней и промежуточной зон). В ЭМП с заданными параметрами нужно поместить живой организм и наблюдать изменения его состояния.

Оказывается на практике реализовать ЭМП с произвольными параметрами сложно, по крайней мере, по двум причинам:

- потребуются источники (излучатели) ЭМП в частотном диапазоне от нуля герц до верхней границы радиочастот;
- для каждой из генерируемых частот потребуется реализовать все возможные значения отношения  $r/\lambda$ .

При решении первой задачи наибольшие трудности будут при создании низкочастотных ЭМП, поскольку эффективность излучения антенны пропорциональна отношению ее линейных размеров и длины волны. Электромагнитные колебания низкой частоты, близкой к биоритмам человека,

уже давно используются для передачи команд боевого управления на подводные лодки, находящиеся в подводном положении. Для этого строят огромные по габаритам и очень дорогостоящие антенны, к которым подключают сверхмощные передатчики: только малую часть мощности передатчика оказывается возможным при этом излучить в пространство. Системы такого назначения обладают еще одной особенностью: используемое передающее антенное устройства является «магнитным излучателем» (вспомните понятие «тип источника»). Ясно, что ЭМП таких специально созданных систем оборонно-стратегического назначения не годится для биологических исследований.

Исследователи по-разному решали вопрос о создании низкочастотных ЭМП. Например использовался конденсатор размерами 1м x 1м x 1м, в котором на частоте 8 Гц проводились исследования при напряженности поля от десятых долей до 80 В/м. В таком эксперименте используется практически постоянное электрическое поле, которое может быть названо электромагнитным лишь в аспекте строгой теории электромагнетизма.

Другие исследователи под низкочастотным ЭМП понимают поле, создаваемое системой конструктивно объединенных проволочных рамок, по которым протекает переменный (синусоидальный, импульсный) электрический ток. В такой системе (часто ее называют клеткой Фарадея) в определенном внутреннем объеме создается достаточно однородное переменное магнитное поле.

Для решения второй задачи для каждой из генерируемых частот потребуется реализовать «путешествие» организма от точки источника в бесконечность.

Оригинальное решение обеих задач предложено в 1980 г. [Пащенко Е.Г. и др. Способ моделирования электромагнитного поля. - А.с. №782505, БИ № 7, 1980]. Оно использует понятие полосковой линии – средства канализации электромагнитных волн на СВЧ, в значительной степени заменивших волноводы.

В мысленном эксперименте возьмем небольшой отрезок полосковой линии такой длины, чтобы не изменить электродинамические характеристики полосковой линии: размеры поперечного сечения отрезка линии должны быть значительно меньше длины линии. При этом условии такая линия будет характеризоваться соответствующим значением волнового сопротивления. Напомним, что волновым сопротивлением длинной линии называется ее входное сопротивление в режиме бегущей волны. Теперь мысленно увеличим геометрические размеры нашего отрезка полосковой линии (мы имеем в виду воздушную полосковую линию, не содержащую внутри диэлектрического заполнения) так, чтобы размеры поперечного сечения линии, умноженные на ее длину, составили существенный объем (например, десятки кубометров), в котором легко разместился бы испытуемый живой организм.

Электродинамический расчет полей внутри подобного отрезка полосковой линии, подключенной одним концом к генератору низкочастотного напряжения, а другим концом – к нагрузке  $Z_n$  (в общем случае комплексной), показывает, что при условии, когда длина линии несоизмеримо меньше длины



волны, соответствующей частоте генератора, структура ЭМП между полосками определяется выражением

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{Z_n}{W} \quad (10)$$

где  $W$  - волновое сопротивление полосковой линии.

Напомним, что мы коэффициент  $120\pi$  определяется значением волнового сопротивления свободного пространства  $z_0$ .

Кратко перечислим характеристики ЭМП в «рабочем объеме» такой (пока еще воображаемой) системы (под рабочим объемом понимается объем пространства внутри системы, в котором пространственная однородность поля достаточно высока – не хуже заданной):

- в практическом приближении амплитудно-фазовая структура ЭМП вдоль длины линии неизменна (приближение тем лучше, чем ниже рабочие частоты);
- амплитудно-фазовые соотношения  $E$  и  $H$  определяются только модулем и аргументом комплексного числа  $Z_n/W$ ;
- при  $Z_n = W$  структура ЭМП соответствует плоской электромагнитной волне от воображаемого излучателя, находящегося бесконечно далеко от точки наблюдения (объема, в котором находится исследуемый объект);
- ЭМП в рабочем объеме (в том числе и в случае  $Z_n \gg W$ ) имеет локальный характер, т.е. за пределами объема, ограниченного произведением площади поперечного сечения линии на ее длину, быстро убывает;
- последнее из перечисленных свойств ЭМП позволяет использовать систему в условиях закрытого помещения.

Последней фразой мы уже перешли от «мысленного эксперимента» по созданию образа источника универсального ЭМП к практическому воплощению. Действительно, такие сооружения были реализованы в 1980-х годах, в частности в Ленинграде в Институте гематологии и переливания крови.

Практически такое устройство в «крупногабаритном» исполнении состоит из верхнего полотна (полоска), подвешиваемого на высоте 10-15 м над поверхностью земли с использованием в качестве опор железобетонных столбов, и нижнего полотна, закопанного на небольшую глубину в землю. Как верхнее, так и нижнее полотна конструктивно выполняются из набора проводов, натянутых параллельно друг другу (рис. 9).

Конструктивной разновидностью описываемого устройства является «комнатный» вариант: нижнее полотно, состоящее из параллельных лент тонкой медной фольги, закладывается под настил пола (например линолеум), а верхнее полотно из параллельных проводов подвешивается к потолку или крепится к стенам комнаты (вариант реализации был использован в упомянутом Институте гематологии и переливания крови). Размеры устройства: высота – 2,5-3,0 м; длина – 15-20 м.

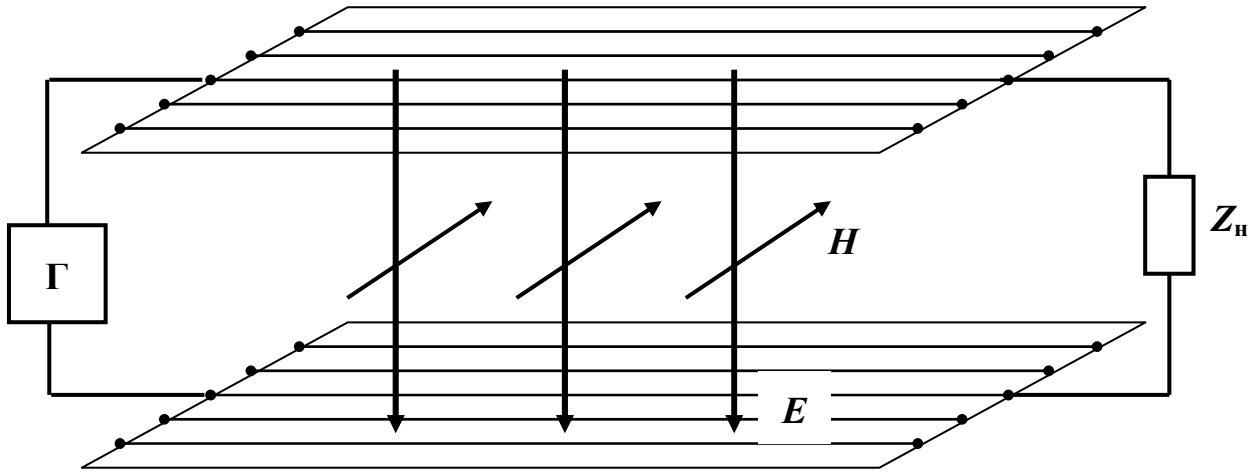


Рис. 9. Универсальная модель ЭМП на базе воздушной полосковой линии.

Поясним влияние  $Z_{\text{н}}$  на поле в рабочем объеме. Очевидно, что при любом значении  $Z_{\text{н}}$  ориентация силовых линий электрического и магнитного полей будет такой (по крайней мере в рабочем объеме), как показано на рис.9. От значения  $Z_{\text{н}}$  зависит соотношение амплитуд и фаз  $E$  и  $H$ . При  $Z_{\text{н}} = R_{\text{н}}$  (нагрузка чисто активная) компоненты ЭМП синфазны, а их амплитудное соотношение можно регулировать так, что

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{R_{\text{н}}}{W} \quad (11)$$

В двух предельных случаях при  $R_{\text{н}} \rightarrow \infty$ , то есть при разомкнутой на конце линии, имеется только переменное электрическое поле (как поле конденсатора), а при  $R_{\text{н}} \approx 0$ , то есть при замкнутой накоротко линии, имеется только переменное магнитное поле.

Теперь представим себе, что за счет выбора  $Z_{\text{н}}$  мы хотим создать в рабочем объеме ЭМП такое же, как ЭМП от электрического диполя на любом заданном расстоянии  $r$  до этого диполя, полностью повторив соотношение составляющих при изменении  $r$  (как по соотношению амплитуд, так и по соотношению фаз), изображенное ранее на рис. 8. Оказывается в таком случае вид комплексной нагрузки  $Z_{\text{н}}$  должен быть таким, как показано на рис. 10.

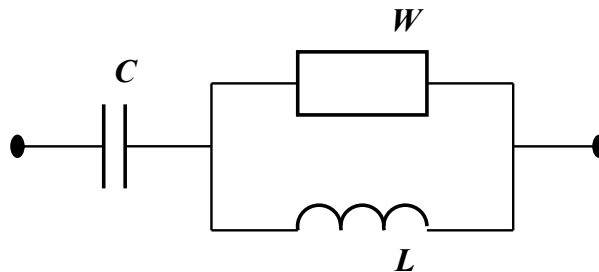


Рис. 10. Комплексная нагрузка полосковой линии.

При этом значения емкости  $C$  и индуктивности  $L$  определяются выбранным исследователем воображаемым расстоянием  $r$  до воображаемого электрического диполя:

$$C = a_0/W, \quad L = a_0W, \quad a_0 = r/c,$$

где  $c$  - скорость света.

Вообще же с помощью комплексной нагрузки  $Z_n$  того или иного вида можно создать ЭМП практически любой структуры, в том числе соответствующей как полю естественного (геофизического, биофизического), так и искусственного (антропогенного) происхождения.

### 1.4.3. Постановка и примеры решения обратной задачи электродинамики

Среди основных проблем радиоэкологии, перечисленных во введении, была названа проблема поиска источника электромагнитного загрязнения. Методы поиска источника загрязнения коренным образом отличаются в зависимости от частотного диапазона источника и, соответственно, вида созданного им ЭМП (поле дальней или ближней зоны). В настоящем параграфе рассматривается задача поиска источника в ближней зоне. Поиск источника в дальней зоне рассмотрен в параграфе 3.3.

Задача поиска источника ЭМП в ближней зоне относится к классу так называемых обратных задач электродинамики. Прямая задача электродинамики, рассмотренная в предыдущем параграфе, заключается в определении компонентов электрического и магнитного полей в любой точке пространства по известным источникам (зарядам и токам). Обратная задача электродинамики состоит в определении параметров источников по результатам измерения компонентов электрического и магнитного полей в одной или нескольких точках пространства. Например, для дипольного источника параметрами являются его положение в пространстве (задача поиска), амплитуда и ориентация в пространстве (задача классификации).

Из предыдущего параграфа должно было сложиться убеждение, что большинство окружающих нас низкочастотных источников являются источниками магнитного типа (прямолинейные или круговые токи). Поэтому конкретизируем обратную задачу следующим образом. Рассмотрим магнитный дипольный источник (рис. 11), характеризующийся параметрами  $\vec{r}$  и  $\vec{M}$  – вектором положения и вектором магнитного момента.

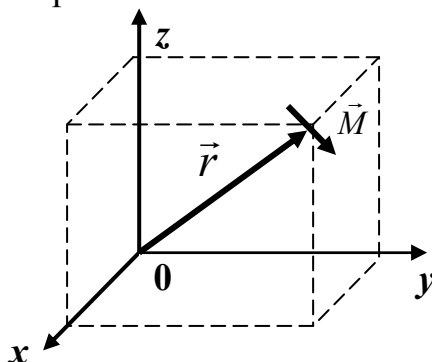


Рис. 11. Параметры магнитного диполя.

Таким образом, в общем случае для одного дипольного источника обратная задача состоит в определении шести неизвестных – трех компонентов  $(r_x, r_y, r_z)$  вектора  $\vec{r}$  и трех компонентов  $(M_x, M_y, M_z)$  вектора  $\vec{M}$ . Из предыдущего параграфа известно, что поле такого источника спадает по кубу расстояния.

Одной из возможных форм записи решения уравнений Максвелла для дипольного источника является следующая:

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{3r_x(r_x M_x + r_y M_y + r_z M_z) - M_x(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)}{4\pi(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)^{5/2}} \\ H_y &= \frac{3r_y(r_x M_x + r_y M_y + r_z M_z) - M_y(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)}{4\pi(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)^{5/2}} \\ H_z &= \frac{3r_z(r_x M_x + r_y M_y + r_z M_z) - M_z(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)}{4\pi(r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)^{5/2}} \end{aligned} \quad (12)$$

Эта форма удобна для последующего решения обратной задачи.

Для решения обратной задачи используются результаты измерения компонентов  $(H_x, H_y, H_z)$  вектора  $\vec{H}$  напряженности магнитного поля. Очевидно, что одной точки измерения будет недостаточно, поскольку при этом может быть составлено только три уравнения типа (12). Точек измерения должно быть минимум две, а возможно и больше. Координаты всех точек измерения известны.

Практически решение обратной задачи в общем виде сводится к решению нелинейной системы уравнений с шестью неизвестными. Такое решение представляет собой сложную задачу, которая может быть решена только численными методами на ЭВМ.

При решении обратных задач возникают некоторые специфические проблемы. В частности, это появление дополнительных ложных решений и низкая устойчивость решения (малые ошибки измерения вектора напряженности приводят к существенно большим ошибкам в определении параметров источника).

Рассмотрение общего случая не является целью данного параграфа. Нам будет достаточно познакомиться со спецификой обратной задачи на простом примере.

Будем полагать, что имеется следующая априорная информация о параметрах источника (рис.12):

- поляризация магнитного момента  $\vec{M}$  источника вертикальная ( $M_x = M_y = 0; M_z = M$ );
- источник расположен в горизонтальной плоскости ( $r_z = 0$ ).

Тогда неизвестными в обратной задаче являются:

- величина магнитного момента источника  $M$ ;
- две координаты источника  $(r_x, r_y)$ , далее –  $(x_{и}, y_{и})$ .

Общее число неизвестных – 3. Поэтому потребуется произвести измерение напряженности поля не менее трех раз. Поскольку направление вектора напряженности магнитного поля вертикально во всей области наблюдения, будем использовать датчики, измеряющие вертикальный компонент  $H_z$  вектора  $\vec{H}$ . Таким образом, потребуется выбрать три точки измерения и провести в каждой из них по одному измерению компонента  $H_z$ .

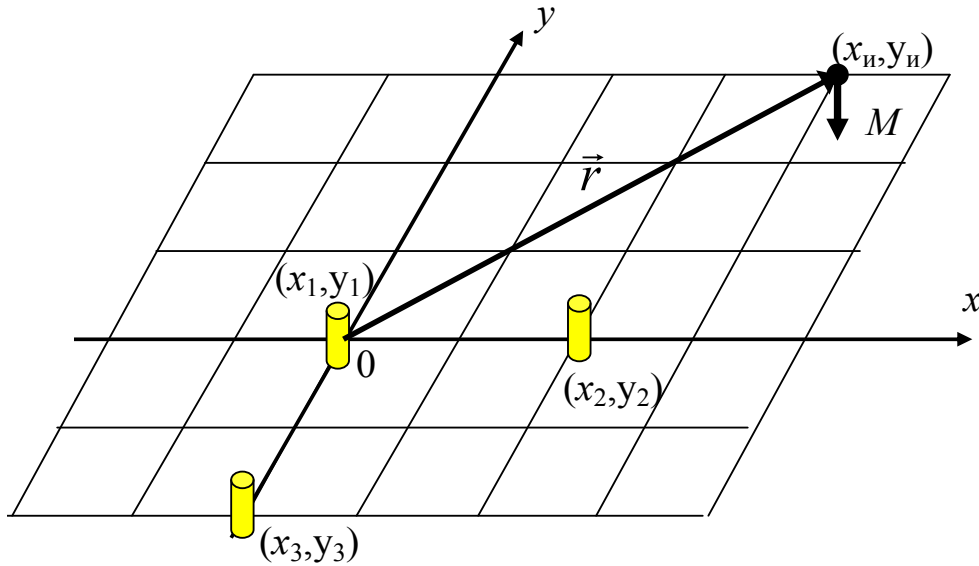


Рис. 12. Расположение источника и датчиков магнитного поля.

При выборе точек измерения логично поступить следующим образом: первую из них поместим в начале координат ( $x_1=0, y_1=0$ ). Вторую сместим на известное расстояние вдоль оси  $x$  ( $x_1, y_2=0$ ), а третью – вдоль оси  $y$  ( $x_3=0, y_3$ ).

Используем формулу (12) для компонента напряженности магнитного поля  $H_z$ , (далее индекс «z» опускается, поскольку поле имеет только один компонент). Для рассматриваемого случая она сильно упростится:

$$H_i = \frac{M}{4\pi(x_i^2 + y_i^2)^{3/2}} \quad (13)$$

где  $i$  – номер датчика.

При заданном на рис. 12 варианте взаимного расположения датчиков результаты измерений определяются по формулам:

$$\begin{aligned} U_1 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi(x_i^2 + y_i^2)^{3/2}} \\ U_2 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi[(x_i - x_2)^2 + y_i^2]^{3/2}} \\ U_3 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi[x_i^2 + (y_i + y_3)^2]^{3/2}}, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $(x_i, y_i)$  – неизвестные координаты источника;  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент преобразования датчика,  $U_1, U_2, U_3$ , – известные результаты измерения.

Чтобы исключить из уравнений (14) неизвестный параметр – модуль магнитного момента источника, составим два отношения

$$\begin{aligned} \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^{2/3} &= \frac{x_i^2 + y_i^2}{(x_i - x_2)^2 + y_i^2} \\ \left(\frac{U_3}{U_1}\right)^{2/3} &= \frac{x_i^2 + y_i^2}{x_i^2 + (y_i + y_3)^2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Уравнения (15) представляют собой систему двух уравнений с двумя неизвестными координатами источника магнитного поля ( $x_{и}$ ,  $y_{и}$ ). Такая система относительно легко решается аналитически, однако возможно появление второго ложного решения.

Аналогичная задача является предметом задания №1 контрольной работы. В методических указаниях к выполнению контрольной работы в рамках данного учебно-методического комплекса приведен пример ее решения.

***Вопросы для самопроверки по разделу 1:***

1. Дайте определение понятия «радиоэкология».
2. В чем состоит основная научная проблема радиоэкологии?
3. Перечислите виды воздействия ЭМП на организм человека.
4. Какой параметр ЭМП определяет вид его воздействия на организм человека?
5. Какие параметры ЭМП определяют степень его воздействия на организм человека при тепловом типе воздействия?
6. В чем заключается суть теории В.И. Вернадского о всеобщей электромагнитной сигнализации в окружающей среде?
7. Перечислите основные природные источники ЭМП.
8. Каковы основные параметры магнитного поля Земли?
9. Что такое магнитное склонение?
10. Что является причиной возникновения магнитной бури?
11. Перечислите основные источники ЭМП в бытовых условиях.
12. Какие системы организма человека подвержены воздействию ЭМП?
13. Каковы основные свойства ЭМП в дальней зоне?
14. Каковы основные свойства ЭМП в ближней зоне?
15. Какое значение имеет понятие «тип источника» при контроле электромагнитного загрязнения окружающей среды?
16. В чем состоит содержание обратной задачи электродинамики?

## Раздел 2. Правовые вопросы радиозэкологии

Более подробная информация по данному разделу содержится в [1, 5].

В данном разделе изучаются три темы:

- Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»
- Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды
- Экологическая экспертиза и экологический контроль

По завершении работы с теоретическим материалом следует ответить на вопросы для самопроверки, а затем выполнить тренировочный тест №2.

По тематике данного раздела выполняются задания № 2-6 контрольной работы, а также задание практического занятия №2.

Контроль знаний осуществляется с помощью контрольного теста №2. При необходимости следует обратиться к электронному учебному пособию или глоссарию.

В результате изучения данного раздела можно максимально набрать 50 баллов (15 баллов по результатам тестирования, 25 баллов за выполнение заданий №№2-6 контрольной работы и 10 баллов за выполнение задания практического занятия №2).

### 2.1. Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды»

*Изучаемые вопросы:*

- состав законодательства в сфере охраны окружающей среды;
- основные понятия Федерального закона «Об охране окружающей среды»;
- основное содержание Федерального закона «Об охране окружающей среды».

#### 2.1.1. Состав законодательства в сфере охраны окружающей среды

Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды в настоящее время носит системный характер и включает следующие правовые акты:

- Конституция Российской Федерации, в которой устанавливается право жить в условиях «благоприятной окружающей среды» (это понятие будет определено далее) и получать информацию о состоянии окружающей среды. Приведем полную редакцию ст.42 Конституции: «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением». Кроме указанных прав, Конституцией установлены и определенные обязанности граждан Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды (ст.78): «Каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам»;

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (2002 г.) – основополагающий документ в сфере охраны окружающей среды. Закон регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации. Закон является комплексным нормативным актом, поскольку регулирует природоохранные отношения в сфере всей природной среды, не выделяя ее отдельные составляющие, охране которых посвящены отдельные законы. Содержание Закона рассмотрено далее в п. 2.1.3;
- Законы об охране отдельных составляющих природной среды (отдельных сред):
  - Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» (1999);
  - «Земельный кодекс Российской Федерации» (2001);
  - «Водный кодекс Российской Федерации» (2006);
  - Федеральный закон «О животном мире» (1995);
  - Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» (1995);
  - Федеральный закон «О континентальном шельфе Российской Федерации» (1995) и т.д.
- Федеральный закон «Об экологической экспертизе» (1995) – отдельный закон, регламентирующий одно из важнейших обязательных мероприятий, предшествующих вводу в эксплуатацию любого хозяйственного объекта;
- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999). Под санитарно-эпидемиологическим благополучием населения понимается состояние здоровья населения, среды обитания человека, при котором отсутствует вредное воздействие факторов среды обитания на человека и обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности;
- комплекс санитарных правил и норм и гигиенических нормативов в области нормирования уровней загрязнения окружающей среды по видам загрязнений;
- Кодекс Российской Федерации «Об административных правонарушениях» (2001), в части гл.8 – «Административные правонарушения в области охраны окружающей природной среды и природопользования» и уголовный кодекс, определяющие виды и объем ответственности за экологические правонарушения.

### **2.1.2. Основные понятия Федерального закона «Об охране окружающей среды»**

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (далее – Закон), как и большинство законов последнего времени, начинается с перечня основных понятий, используемых в законе, и их четкого юридического определения.



Прежде всего, обратим внимание на понятие «окружающая среда». В Законе под окружающей средой понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов (рис. 13). Определения использованных здесь понятий следующие:

- *природная среда (природа)* – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов;
- *компоненты природной среды* – земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле;
- *природный объект* – естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства;
- *природно-антропогенный объект* – природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение;
- *антропогенный объект* – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

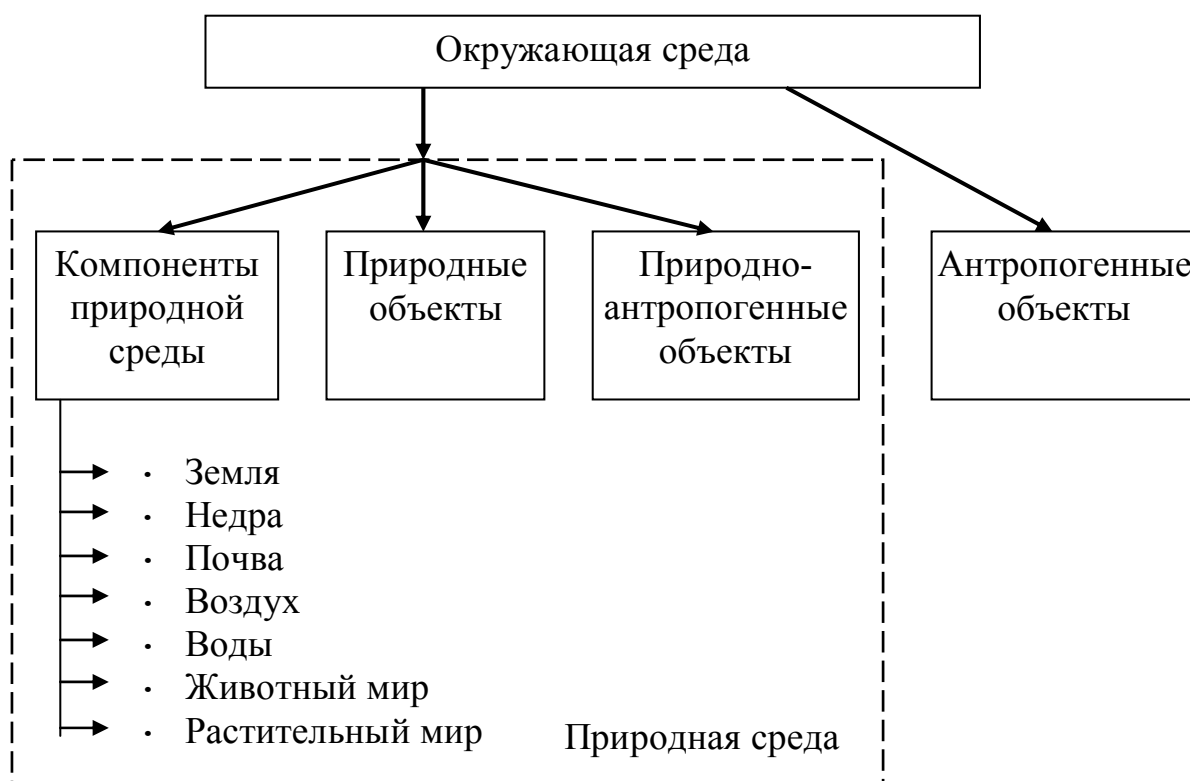


Рис. 13. Структура окружающей среды.

Приведем примеры новых понятий в рамках электромагнитной составляющей окружающей среды. Природные электромагнитные объекты –

это ЭМП естественных источников (МПЗ, «мировые грозы, космическое радиоизлучение»). Разделить природно-антропогенные и антропогенные электромагнитные объекты сложнее. По-видимому, природно-антропогенными следует считать те ЭМП, созданные человеком, которые по своим параметрам близки к природным ЭМП. Остальные ЭМП, созданные человеком, можно отнести к антропогенным объектам.

Приведем еще несколько определений из Закона, с небольшими комментариями, касающимися их электромагнитной трактовки:

- *охрана окружающей среды (природоохранная деятельность)* – деятельность органов государственной власти, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий;
- *качество окружающей среды* – состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью. Качество окружающей среды с электромагнитной точки зрения определяется совокупностью ЭМП с указанием их частотных диапазонов, интенсивностей и длительностей воздействия;
- *благоприятная окружающая среда* – окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов;
- *негативное воздействие на окружающую среду* – воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды;
- *загрязнение окружающей среды* – поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Соответствующий термин в радиоэкологии – электромагнитное загрязнение – связан с поступлением энергии в окружающую среду;
- *нормативы в области охраны окружающей среды* – установленные нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на нее, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие;
- *нормативы качества окружающей среды* – нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда;
- *нормативы допустимого воздействия на окружающую среду* – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями

- воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды;
- *мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг)* – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Мониторинг ЭМП в окружающей среде может рассматриваться как составная часть общего мониторинга.

### **2.1.3. Основное содержание Федерального закона «Об охране окружающей среды»**

Закон включает 15 глав. Рассмотрим их основное содержание, обращая внимание на специфику электромагнитного загрязнения окружающей среды.

В гл.1 «Общие положения» в ст.3 определены основные принципы охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, оказывающей воздействие на окружающую среду (приведены наиболее значимые принципы):

- соблюдение права человека на благоприятную окружающую среду;
- научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды. Данный принцип нуждается в комментарии. До введения Закона в действие подобное сочетание хотя и было, но проходило под эгидой приоритета экономики. Закон не предполагает повернуть данное сочетание в другую сторону, а требует найти и обосновать оптимальное соотношение при учете экономических и экологических интересов для развития страны в целом;
- охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов как необходимые условия обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности;
- платность природопользования и возмещение вреда окружающей среде;
- независимость контроля в области охраны окружающей среды;
- презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности;
- обязательность оценки воздействия на окружающую среду при принятии решений об осуществлении хозяйственной и иной деятельности. Этот и предыдущий принципы определяют обязательность проведения государственной экологической экспертизы любых планируемых к реализации объектов. Вопросам экологической экспертизы в связи с их особой важностью посвящен отдельный закон;
- ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды;
- организация и развитие системы экологического образования, воспитание и формирование экологической культуры;

- международное сотрудничество Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

Гл.2 – «Основы управления в области охраны окружающей среды» в рамках опорного конспекта не рассматривается.

В гл.3 «Права и обязанности граждан, общественных и иных некоммерческих объединений в области охраны окружающей среды» представляют интерес соответствующие перечни прав и обязанностей (ст.11).

Граждане имеют право (помимо прав, установленных Конституцией Российской Федерации):

- создавать общественные объединения, фонды и иные некоммерческие организации, осуществляющие деятельность в области охраны окружающей среды;
- направлять обращения в органы государственной власти и органы местного самоуправления о получении своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей среды в местах своего проживания, мерах по ее охране;
- принимать участие в собраниях, митингах, демонстрациях, шествиях и пикетировании, сборе подписей под петициями, референдумах по вопросам охраны окружающей среды;
- выдвигать предложения о проведении общественной экологической экспертизы и участвовать в ее проведении в установленном порядке;
- обращаться в органы государственной власти и органы местного самоуправления с жалобами, заявлениями и предложениями по вопросам, касающимся охраны окружающей среды, негативного воздействия на окружающую среду, и получать своевременные и обоснованные ответы;
- предъявлять в суд иски о возмещении вреда окружающей среде.

Граждане обязаны:

- сохранять природу и окружающую среду;
- бережно относиться к природе и природным богатствам;
- соблюдать иные требования законодательства.

В гл.4 «Экономическое регулирование в области охраны окружающей среды» перечислены методы экономического регулирования (ст.14). К ним, в частности, относятся:

- разработка и проведение мероприятий по охране окружающей среды в целях предотвращения причинения вреда окружающей среде;
- установление платы за негативное воздействие на окружающую среду;
- установление лимитов на выбросы и сбросы загрязняющих веществ, лимитов на размещение отходов производства и потребления;
- проведение экономической оценки природных объектов и природно-антропогенных объектов;
- проведение экономической оценки воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;
- предоставление налоговых и иных льгот при внедрении наилучших существующих технологий, нетрадиционных видов энергии, использовании вторичных ресурсов и переработке отходов;

- поддержка предпринимательской, инновационной и иной деятельности (в том числе экологического страхования), направленной на охрану окружающей среды;
- возмещение в установленном порядке вреда окружающей среде.

В ст.16 п.2 определены виды негативного воздействия на окружающую среду:

- выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ;
- сбросы загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади;
- загрязнение недр, почв;
- размещение отходов производства и потребления;
- загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий.

Следует обратить внимание на термины «выброс» и «сброс», которые относятся соответственно к загрязнению воздушной и водной среды, а также на термин «электромагнитное загрязнение окружающей среды».

В гл.5 «Нормирование в области охраны окружающей среды» установлены следующие виды нормативов (ст.19):

- нормативы качества окружающей среды,
- нормативы допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности,
- государственные стандарты в области охраны окружающей среды.

При разработке нормативов должны быть проведены (ст.20) соответствующие научно-исследовательские работы по их обоснованию (вспомните основную научную проблему радиоэкологии).

Нормативы качества окружающей среды (ст.21) устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов. 2. К нормативам качества окружающей среды относятся:

- нормативы, установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ;
- нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с показателями уровней радиоактивности и тепла;
- нормативы, установленные в соответствии с биологическими показателями состояния окружающей среды.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду (ст.22) устанавливаются в целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности природопользователей. К ним относятся:

- нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов;
- нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение;

- нормативы допустимых физических воздействий (количество тепла, уровни шума, вибрации, ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей и иных физических воздействий);
- нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды.

Наличие двух перечисленных типов нормативов легко пояснить на примере химического загрязнения водоема. При фиксированном объеме сброса загрязняющего вещества концентрация этого вещества в водоеме зависит от объема водоема, условий перемешивания воды, течения и т.п. Таким образом, нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

Для электромагнитного загрязнения аналогом водоема является окружающее пространство, а его основной характеристикой – дальность от источника ЭМП до точки наблюдения. Таким образом, для электромагнитного загрязнения устанавливаются ПДУ как нормативы допустимого воздействия на окружающую среду.

В гл.6 «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза» установлено (ст.32), что такая оценка проводится в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду. Соответствующая процедура носит название «экологическая экспертиза». Экологическая экспертиза проводится в целях установления соответствия документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, требованиям в области охраны окружающей среды. В связи с особой важностью экологической экспертизы для обеспечения охраны окружающей среды порядок ее проведения установлен отдельным Федеральным законом «Об экологической экспертизе». Содержание этого закона рассмотрено в параграфе 2.3.

В гл.7 «Требования в области охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» приводятся соответствующие требования для различных видов деятельности в области строительства, энергетики, военных и оборонных объектов, объектов сельскохозяйственного назначения, гидротехнических сооружений, транспорта, объектов нефтегазовой отрасли, применения химических и радиоактивных веществ, использования ядерных материалов (в том числе, их отходов).

Гл.8 – «Зоны экологического бедствия, зоны чрезвычайных ситуаций» и гл.9 – «Природные объекты, находящиеся под особой охраной» в рамках опорного концепта не рассматриваются.

В гл.10 «Государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг)» определено (ст.63), что государственный экологический мониторинг осуществляется в целях наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе за состоянием окружающей среды в районах расположения источников антропогенного воздействия, а также в целях обеспечения достоверной информацией, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных

последствий изменения состояния окружающей среды. Указание на проведение экологического мониторинга вблизи источников антропогенного воздействия актуально для электромагнитного мониторинга, поскольку существенные уровни ЭМП, сравнимые с установленными ПДУ, могут наблюдаться только в непосредственной близости от источников ЭМП.

В гл.11 «Контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль)» сказано, что экологический контроль проводится в целях обеспечения исполнения законодательства, соблюдения требований, в том числе нормативов, в области охраны окружающей среды, а также обеспечения экологической безопасности. Содержание этой главы Закона рассмотрено в параграфе 2.3 вместе с вопросами экологической экспертизы.

Гл.12 – «Научные исследования в области охраны окружающей среды» в рамках опорного конспекта не рассматривается.

В гл.13 «Основы формирования экологической культуры» устанавливаются принципы экологического образования: всеобщность и комплексность. В ст.73 обращается внимание на необходимость подготовки в области охраны окружающей среды и экологической безопасности. руководители организаций и специалистов, ответственных за принятие решений, которые оказывают или могут оказать негативное воздействие на окружающую среду.

В гл.14 «Ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды» устанавливаются следующие виды ответственности:

- имущественная;
- дисциплинарная;
- административная;
- уголовная.

В случае причинения вреда окружающей среде виновные должны возместить его в полном объеме. Компенсация вреда окружающей среде, осуществляется добровольно либо по решению суда. Определение размера вреда окружающей среде осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды.

Вред, причиненный здоровью и имуществу граждан негативным воздействием окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности, также подлежит возмещению в полном объеме.

Таким образом, в соответствии с Законом ответственность за экологические правонарушения (эколого-правовая ответственность) предусматривает возложение обязанности претерпевать неблагоприятные последствия, вызванные его совершением. Она выполняет три основных функции:

- стимулирующую к соблюдению норм экологического права;
- компенсационную, направленную на возмещение потерь в природной среде и восстановление здоровья человека;
- превентивную, обеспечивающую предупреждение новых правонарушений.

Основанием возложения эколого-правовой ответственности служит экологическое правонарушение, которое должно содержать три основных элемента:

- виновность;
- противоправность;
- наличие вреда.

Существуют две формы вины – умысел и неосторожность, небрежность.

Некоторые экологические правонарушения могут быть совершены при любой форме вины (загрязнение окружающей среды), другие же – только при умышленной форме вины (незаконная охота), третьи – по небрежности – небрежное обращение с огнем и нарушение правил пожарной безопасности в лесах.

Эколого-правовая ответственность классифицируется по применяемым санкциям, которые существенно зависят от субъекта ответственности. Дело в том, что санкции, применяемые к физическим и юридическим лицам, не однозначны. В частности, юридическое лицо не может быть субъектом уголовной, дисциплинарной, материальной ответственности, поскольку эти виды взыскания ориентированы на гражданина. С другой стороны, некоторые виды ответственности может нести лишь юридическое лицо – возмещение вреда, причиненного работником во время исполнения им своих служебных обязанностей.

Некоторые виды ответственности могут применяться одновременно, например, дисциплинарная ответственность и возмещение причиненного вреда. Другие же – только на альтернативной основе. Это относится к уголовной и административной ответственности. Объективная сторона данных правонарушений может совпадать. Разница состоит лишь в степени ответственности за содеянное.

Все экологические правонарушения подразделяются на две группы: проступки и преступления. Дисциплинарная ответственность за экологический проступок выражается в наложении дисциплинарного взыскания (предупреждение, выговор, строгий выговор) администрацией предприятия, учреждения, организации или вышестоящей в порядке подчиненности организацией на виновного работника за невыполнение своих обязанностей.

По гражданскому праву предприятие, учреждение, организация отвечает за вред, причиненный ее работником во время исполнения своих обязанностей, что, в свою очередь, создает гарантии возмещения вреда потерпевшему независимо от материального состояния гражданина – причинителя вреда. В свою очередь, предприятие, учреждение или организация, возместившая вред за своего работника, имеет право предъявить в суде иск к виновному работнику.

Административная ответственность за экологические правонарушения выражается в применении компетентным органом государства мер административного взыскания. Административным экологическим правонарушением (проступком) признается противоправное виновное действие либо бездействие, посягающее на установленный экологический правопорядок, здоровье и экологическую безопасность населения, причиняющее вред окружающей среде или содержащее реальную угрозу такого причинения, за которое предусмотрена административная ответственность.



Административное правонарушение по своим объективным признакам внешне схоже с преступлением. Поэтому Кодекс «Об административных правонарушениях» предусматривает отсутствие в совершенном нарушении состава преступления. Основные признаки, которые служат разграничением экологического преступления от административного проступка, как правило, даются в Уголовном кодексе Российской Федерации (УК РФ).

Должностные лица и граждане, виновные в совершении экологических преступлений, то есть общественно опасных деяний, посягающих на установленный экологический правопорядок, экологическую безопасность общества и причиняющих вред окружающей природной среде и здоровью человека, несут уголовную ответственность, предусмотренную УК РФ. Наступление уголовной ответственности за экологические преступления регламентируют статьи 246 - 262 УК РФ. В частности, «нарушение правил охраны окружающей среды при проектировании, размещении, строительстве, вводе в эксплуатацию и эксплуатации промышленных, ..., научных и иных объектов лицами, ответственными за соблюдение этих правил, если это повлекло существенное изменение радиоактивного фона, причинение вреда здоровью человека, ... либо иные тяжкие последствия, наказывается лишением свободы на срок до пяти лет с лишением права занимать определенные должности на срок до трех лет» (статья 246 УК РФ).

В гл.15 «Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды» установлено, что Российская Федерация осуществляет международное сотрудничество в области охраны окружающей среды в соответствии с общепризнанными принципами и нормами международного права и международными договорами Российской Федерации.

## **2.2. Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды**

### ***Изучаемые вопросы:***

- основные документы в области нормирования ЭМП;
- нормируемые параметры ЭМП и величины ПДУ;
- принцип «суперпозиции» применительно к нормированию качества окружающей среды.

### **2.2.1. Основные документы в области нормирования ЭМП**

Нормирование физических факторов окружающей среды осуществляется на основании ряда специальных документов, которые имеют общее название – санитарные правила и нормы (СанПиН). Основные требования к нормированию ЭМП отражены в следующих документах:

- СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)». Документ устанавливает ПДУ воздействия на людей электромагнитных излучений в диапазоне частот 30 кГц – 300 ГГц и основные санитарно-гигиенические требования к разработке, изготовлению, приобретению и использованию источников ЭМИ РЧ в процессе работы, обучения, быта и отдыха людей;

- СанПиН 2.2.4.1191—03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». Документ устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих, подвергающихся в процессе трудовой деятельности профессиональному воздействию ЭМП различных частотных диапазонов, ПДУ ЭМП, а также требования к проведению контроля уровней ЭМП на рабочих местах, методам и средствам защиты работающих;
- СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов (ПРТО)». Документ устанавливает гигиенические требования к размещению и эксплуатации стационарных передающих радиотехнических объектов (ПРТО), работающих в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц. Требования СанПиН направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека ЭМП радиочастотного диапазона, создаваемых ПРТО радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиолокации, радилюбительского диапазона (3 - 30 МГц). Требования СанПиН 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;
- СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи». Документ устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к размещению и эксплуатации средств подвижной радиосвязи диапазона частот 27 – 2400 МГц, включая абонентские терминалы спутниковой связи.

Перечисленные документы являются основными и далее будут подробно рассмотрены. Дополнительно можно указать еще ряд СанПиН в области нормирования ЭМП:

- СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
- СанПиН 2.2.4.723-98 «Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях»;
- СанПиН 2.2.4.1329-03 «Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей».

Существенными специализированными понятиями, используемыми в СанПиН, являются: производственные и бытовые условия; персонал и население. Суть перечисленных понятий очевидна. Отметим только, что среди персонала выделяется контингент, профессионально не связанный с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП. Для такого контингента устанавливаются нормативы ЭМП такие же, как для населения. Отметим также, что в понятие бытовых условий включается нахождение человека в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, подвергающихся

воздействию внешнего ЭМП, а также на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

### 2.2.2. Нормируемые параметры ЭМП и величины ПДУ

Рассмотрим нормируемые параметры ЭМП применительно к двум типам источников: источники радиодиапазона и источники на частоте 50 Гц.

Оценка воздействия ЭМП на людей в радиодиапазоне 30 кГц – 300 ГГц осуществляется по следующим параметрам:

- по значениям интенсивности ЭМП. Такая оценка применяется к населению, а также опосредовано к персоналу;
- по энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью ЭМП и временем его воздействия на человека. Такая оценка применяется исключительно к персоналу.

Такое различие нормируемых параметров объясняется особенностями персонала и населения: время нахождения персонала на рабочих местах регламентировано и может административно регулироваться, в отличие от населения, которое находится где угодно и сколь угодно долго.

В диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц интенсивность ЭМП оценивается значениями напряженности электрического поля  $E$ , [В/м] и напряженности магнитного поля  $H$ , [А/м].

В диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц интенсивность ЭМП оценивается значениями плотности потока энергии ППЭ, [мкВт/см<sup>2</sup>]. Возможно, точнее было бы употребить термин «плотность потока мощности», который используется в электродинамике, но термин «плотность потока энергии» определен в СанПиН.

Энергетическая экспозиция (ЭЭ) ЭМП в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц определяется следующим образом:

- энергетическая экспозиция, создаваемая электрическим полем, равна  $ЭЭ\_E = E^2 \cdot T$  и имеет размерность [В<sup>2</sup> · час/м<sup>2</sup>];
- энергетическая экспозиция, создаваемая магнитным полем, равна  $ЭЭ\_H = H^2 \cdot T$  и имеет размерность [А<sup>2</sup> · час/м<sup>2</sup>];
- энергетическая экспозиция, создаваемая ЭМП радиоволны равна  $ЭЭ\_ППЭ = ППЭ \cdot T$  и имеет размерность [мкВт · час /см<sup>2</sup>].

ПДУ энергетической экспозиции для персонала при работе в течение рабочей смены (продолжительностью 8 часов) приведены в табл. 1

Таблица 1

Диапазоны частот, МГц	ПДУ по энергетической экспозиции для персонала		
	ЭЭ $E$ , В <sup>2</sup> · час/м <sup>2</sup>	ЭЭ $H$ , А <sup>2</sup> · час/м <sup>2</sup>	ЭЭ ППЭ, мкВт · час /см <sup>2</sup>
0,03 – 3,0	20000	200	–
3,0 – 30	7000	Отсутствует	–
30 – 50	800	0,72	–
50 – 300	800	Отсутствует	–
свыше 300	–	–	200

Исходя из данных табл. 1 могут быть определены ПДУ по интенсивности ЭМП для персонала в зависимости от времени его нахождения в ЭМП, если это время составляет только часть рабочей смены.

Например, при нахождении в электрическом поле на частоте 50 кГц в течение двух часов его уровень может составлять  $E = 100$  В/м. При нахождении в магнитном поле на частоте 40 МГц в течение двух часов его уровень может составлять  $E = 0,6$  А/м. При нахождении в ЭМП радиоволны на частоте 900 МГц в течение 30 мин. его уровень может составлять ППЭ=400 мкВт/см<sup>2</sup> = 100 В/м. Однако при дальнейшем сокращении времени пребывания персонала в ЭМП установлены пределы увеличения его допустимой интенсивности (табл.2).

Таблица 2

Диапазоны частот, МГц	ПДУ по интенсивности для персонала		
	$E$ , В/м	$H$ , А/м	ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
0,03 – 3,0	500	50	–
3,0 – 30	296	Отсутствует	–
30 – 50	80	3,0	–
50 – 300	80	Отсутствует	–
свыше 300	–	–	1000

В полях, имеющих уровни, указанные в табл. 2, можно находиться не более 0,08 час для электрического и магнитного полей и не более 0,2 час для ЭМП радиоволны.

ПДУ по интенсивности ЭМП для населения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Диапазоны частот, МГц	0,03 – 0,3	0,3 – 3,0	3,0 – 30	30 – 300	свыше 300
Нормируемый параметр	$E$ , В/м				ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
ПДУ	25	15	10	3	10

Отметим, что существующий перечень ПДУ не обладает полнотой. В частности, отсутствуют нормативы по магнитному полю в двух частотных диапазонах для персонала и полностью – для населения во всем радиодиапазоне от 30 кГц до 300 ГГц.

Оценка воздействия ЭМП, создаваемого источниками на частоте 50 Гц (ЛЭП, бытовая электропроводка и др.), на людей осуществляется отдельно по напряженности электрического поля  $E$ , [кВ/м], напряженности магнитного поля  $H$ , [А/м] или индукции магнитного поля  $B$ , [мкТл].

Нормирование ЭМП на частоте 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания:

- ПДУ напряженности электрического поля в течение всей смены (8 часов) установлен равным  $E_{\text{ПДУ}} = 5$  кВ/м;
- при напряженности электрического поля в интервале  $E = 5 \dots 20$  кВ/м включительно допустимое время пребывания  $T$ , [час] рассчитывается по формуле  $T = (50/E) - 2$ , где  $E$  измеряется в кВ/м;

- при напряженности электрического поля в интервале  $E = 20 \dots 25$  кВ/м допустимое время пребывания составляет 10 мин.;
- пребывание в электрическом поле с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается;
- ПДУ напряженности/индукции магнитного поля устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл. 4)

Таблица 4

Время пребывания, час	ПДУ $H$ , [А/м] / $B$ , [мкТл]	
	При общем воздействии	При локальном воздействии
менее 1	1600 / 2000	6 400 / 8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000

Нормирование ЭМП на частоте 50 Гц для населения осуществляется в зависимости от его места нахождения. Это может быть жилое помещение, территория жилой застройки и другие территории (см. табл. 5).

Таблица 5

Место нахождения населения	ПДУ $E$ , кВ/м	ПДУ * $H$ , [А/м] / $B$ , [мкТл]
внутри жилых зданий	0,5	8 / 10
на территории жилой застройки	1,0	40 / 50
в населенной местности вне зоны жилой застройки	5	–
на участках пересечения ЛЭП с автомобильными дорогами	10	–
в ненаселенной местности	15	–
в труднодоступной местности	20	–

\* – ПДУ по магнитному полю имеют статус временных нормативов. Напомним, что в ряде европейских стран ПДУ по индукции магнитного поля на частоте 50 Гц в жилых помещениях составляет 0,25 мкТл.

### 2.2.3. Принцип «суперпозиции» применительно к нормированию качества окружающей среды

К настоящему моменту уже понятно, что окружающая среда характеризуется значениями ряда параметров – факторов загрязнения, которые в совокупности определяют качество окружающей среды (вспомните определение этого понятия из Закона). Для каждого параметра соответствующим СанПиН установлен норматив – ПДУ для физических или ПДК химических воздействий. Возникает вопрос, каким образом оценить качество такой среды или, другими словами, как провести суперпозицию (наложение) отдельных вредных воздействий, чтобы сделать обоснованный вывод о том, является окружающая среда благоприятной или неблагоприятной.

Естественно было бы предположить, что среда может считаться благоприятной при одновременном выполнении условий

$$A_i < A_{i \text{ ПДУ(ПДК)}}, i = 1 \dots N, \quad (16)$$

где  $A_i$  – уровень  $i$ -го вредного воздействия,  $A_{i \text{ ПДУ(ПДК)}}$  – ПДУ (ПДК) этого воздействия,  $N$  – число вредных воздействий.

Однако такой подход неверен. Действительно, если предположить, что по каждому из нескольких одновременно действующих вредных факторов уровень воздействия составляет 90% от соответствующего ПДУ (ПДК), появятся сомнения в правильности подхода, определяемого неравенством (16). Из биологии известно, что реакция организма на внешнее негативное воздействие при относительно невысоком уровне этого воздействия носит адаптационный характер – организм приспосабливается к существованию в заданных внешних условиях. Очевидно, что наличие ряда факторов с уровнем воздействия близким к предельно допустимому исчерпает адаптационные ресурсы организма, и перед очередным вредным фактором организм окажется незащищенным.

Поэтому нормативными документами (СанПиН и др.) установлено, что при определении суммарного действия нескольких источников загрязнения (независимо от вида загрязнения) действие каждого из источников учитывается в долях соответствующего ПДУ (ПДК), а суммирование производится в квадратичном смысле (аналогично суммированию независимых шумов):

$$\alpha = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i}{A_{i \text{ ПДУ}}} \right)^2}. \quad (17)$$

При выполнении условия  $\alpha > 1$  среда является неблагоприятной. Например, при одновременном действии в жилом помещении двух факторов:

- напряженность магнитного поля на частоте 50 Гц равна  $H = 6$  А/м;
- плотность потока энергии на частоте 900 МГц равна ППЭ = 7 мкВт/см<sup>2</sup>,

среда является неблагоприятной, поскольку  $\alpha = 1,03$  (соответствующие ПДУ равны соответственно  $H_{\text{ПДУ}} = 8$  А/м и  $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 10$  мкВт/см<sup>2</sup>).

### 2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль

Экологическая экспертиза и экологический контроль – две процедуры, направленные на достижение единой цели – обеспечение благоприятной окружающей среды. Однако между ними имеется существенное различие. Экологическая экспертиза осуществляется на стадии проектирования объектов хозяйственной и иной деятельности, а экологический контроль – на стадии функционирования объектов. Важность этих процедур для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду подчеркивает наличие отдельного Федерального закона «Об экологической экспертизе» и подробное описание принципов и порядка экологического контроля, приведенное в гл.11 закона «Об охране окружающей среды».

Экологическая экспертиза – установление соответствия документов и (или) документации, обосновывающих намечаемую хозяйственную и иную

деятельность, экологическим требованиям, установленным техническими регламентами и законодательством в области охраны окружающей среды, в целях предотвращения негативного воздействия такой деятельности на окружающую среду.

В Российской Федерации установлены следующие виды экологической экспертизы:

- государственная;
- общественная.

Экологическая экспертиза основывается на следующих принципах:

- презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- обязательности проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта;
- комплексности оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий;
- достоверности и полноты информации, представляемой на экологическую экспертизу;
- независимости экспертов экологической экспертизы;
- научной обоснованности, объективности и законности заключений экологической экспертизы;
- гласности, участия общественных организаций (объединений), учета общественного мнения.

Принцип научной обоснованности и законности ее выводов высвечивает две стороны государственной экологической экспертизы – научную и административно-правовую. Такая экспертиза опирается на соответствующую нормативно-правовую базу, административные методы контроля, государственное принуждение. Одновременно она представляет собой научно-исследовательский процесс и должна проводиться на современном научно-техническом уровне с использованием новейших форм и методов исследований квалифицированными учеными-экспертами. Результатом этого должны быть не только фиксация допущенных нарушений экологических нормативов, но и научно обоснованная оценка их последствий, рекомендации органам, принимающим решения, прогноз наиболее эффективных условий реализации объектов экспертизы.

Принцип независимости государственной экологической экспертизы означает, что неперенными условиями ее эффективности являются организационная и финансовая независимость организующих и реализующих ее органов, нештатный статус экспертов, их надлежащее финансовое, организационное, материально-техническое обеспечение.

Принцип гласности и участия общественности предполагает доступность информации о ходе проведения экспертизы, принятых решениях и их учете органом управления при реализации объекта экспертизы, возможность для общественных организаций и граждан получать такую информацию и доводить до сведения принимающих решения органов свою позицию, обязанность

последних сообщать о принятых решениях, их ответственность за нарушение указанных прав граждан и общественных организаций.

Заключение общественной экологической экспертизы, проводимой научными коллективами, общественными объединениями по их инициативе, становится юридически обязательным после утверждения ее результатов соответствующими органами государственной экологической экспертизы.

Председатель, члены общественных коллективов экспертов несут ответственность за правильность, обоснованность своих экспертных оценок в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Цели общественной и государственной экологической экспертизы совпадают. Однако задачи у них разные. Как правило, общественная экспертиза нацелена на привлечение внимания государственных органов к конкретному объекту, широкое распространение научно обоснованной информации о его потенциальной экологической опасности.

Основанием для проведения общественной экологической экспертизы могут служить решения: местных представительных органов, референдумов, собраний; высших или исполнительных органов общественного объединения согласно их компетенции, определенной в уставе или ином статутном документе; решение общего собрания научного коллектива и т.п. Практика выработала такие организационные формы общественной экологической экспертизы, как предварительное обсуждение общественностью проектов, обсуждение вредных последствий эксплуатации каких-либо объектов, формирование экспертных комиссий и групп из представителей общественности, ученых, деятелей культуры, проведение общественных экологических слушаний.

Экологическая экспертиза радио- и электротехнических объектов заключается в определении соответствия документации на реализацию объекта требованиям, установленным техническими регламентами и законодательством в области охраны окружающей среды в части электромагнитного загрязнения окружающей среды. Основным методом при проведении экологической экспертизы – расчет ЭМП в заданной области пространства, в частности, в местах нахождения людей. Результаты расчета сравниваются с установленными ПДУ и делается вывод об экологической опасности проектируемого объекта.

Примеры расчета ЭМП, созданного средствами сотовой связи, а также ЭМП ЛЭП, составляют содержание заданий №2-4 контрольной работы.

При расчете плотности потока энергии  $|\vec{H}|$  создаваемой точечным излучателем в дальней зоне используется формула

$$|\vec{H}| = \frac{PG(\Theta)}{4\pi r^2},$$

где  $P$  – мощность излучателя (например, базовой станции сотовой связи);  $G(\Theta)$  – коэффициент усиления антенны излучателя в направлении  $\Theta$  на точку наблюдения;  $r$  – расстояние между излучателем и точкой наблюдения.



Например, при  $P = 20$  Вт,  $G(\Theta) = 2$ ,  $r = 30$  м, получим  $|\vec{H}| \approx 0,4$  мкВт/см<sup>2</sup>, что намного меньше  $|\vec{H}|_{\text{пду}} = 10$  мкВт/см<sup>2</sup> предельно допустимого уровня для частоты 900 МГц в бытовых условиях.

При напряженности магнитного поля на частоте 50 Гц, создаваемого бытовой электропроводкой используется формула

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

где  $I$  – величина тока в проводе,  $r$  – расстояние между проводом и точкой наблюдения. Данная формула справедлива для бесконечно протяженного прямолинейного тока, однако может быть применена для оценки уровня магнитного поля в бытовых условиях при  $r \ll l$ , где  $l$  – длина прямолинейного участка электропроводки.

Поскольку кабель электропроводки состоит из двух проводов, токи в которых противоположны, напряженность поля определяется как разность

$$H = \frac{I}{2\pi r} - \frac{I}{2\pi(r + \Delta)} = \frac{I\Delta}{2\pi r^2}.$$

где  $\Delta$  – расстояние между проводами в кабеле.

Например, при  $I = 20$  А,  $r = 0,5$  м,  $\Delta = 5$  мм получим  $H \approx 0,06$  А/м, что намного меньше  $H_{\text{пду}} = 8$  А/м предельно допустимого уровня для частоты 50 Гц в бытовых условиях.

В тех случаях, когда в документации объекта прямо указано минимально допустимое расстояние, на котором может находиться человек, необходимость в расчете ЭМП отпадает.

Экологический контроль решает две задачи. Первая – наблюдение за состоянием природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности. Вторая состоит в проверке выполнения планов и мероприятий по охране природы, оздоровлению окружающей среды, соблюдению требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды.

В Российской Федерации осуществляются следующие виды экологического контроля:

- государственный;
- производственный;
- общественный.

Государственный экологический контроль призван обеспечить соблюдение экологического законодательства, экологических норм, правил и нормативов, выполнение мероприятий по охране окружающей среды всеми государственными органами, предприятиями, организациями, должностными лицами, работниками, а также гражданами. Это означает, что государственный экологический контроль имеет вневедомственный характер, в чем состоит его основное отличие от ведомственного и производственного контроля.

Должностные лица органов государственного экологического контроля в соответствии с их полномочиями имеют право в установленном порядке:

- посещать предприятия, учреждения, организации, включая воинские части, специальные объекты и службы Вооруженных Сил, органов внутренних дел и государственной безопасности, знакомиться с документами, результатами анализов, иными материалами, необходимыми для выполнения их служебных обязанностей;
- проверять работу обезвреживающих устройств, средств их контроля, соблюдение нормативов качества окружающей среды, природоохранительного законодательства;
- назначать государственную экологическую экспертизу, обеспечивать контроль за выполнением ее заключения;
- требовать устранения выявленных недостатков, давать в пределах предоставленных прав указания или заключения по размещению, проектированию, строительству, реконструкции, вводу в эксплуатацию, эксплуатации объектов.

Непременным принципом государственного экологического контроля, от которого зависит его результативность, служит требование о разъединении функций государственного контроля и функций управления эксплуатацией природного ресурса. Орган, занимающийся эксплуатацией природного ресурса, не может от имени государства контролировать сам себя. Ранее этот принцип не соблюдался. Государственный контроль над природой осуществляли министерства и ведомства, многие из которых совмещали государственно-контрольные и эксплуатационные функции.

Производственный экологический контроль осуществляется экологической службой предприятий, учреждений, организаций и ставит своей задачей проверку выполнения планов и мероприятий по охране природы и оздоровлению окружающей среды, соблюдение нормативов качества окружающей природной среды, выполнение требований природоохранительного законодательства.

Порядок организации производственного экологического контроля регулируется положениями, утвержденными предприятиями, учреждениями, организациями. Практически речь идет о самоконтроле предприятия за своей деятельностью в области охраны окружающей среды. Органом производственного экологического контроля является экологическая служба предприятия, учреждения, организации. Особенности производственного контроля является его потенциально высокая оперативность, возможность специализации с учетом специфики производства.

Общественный экологический контроль направлен на проверку выполнения требований законодательства об охране окружающей среды министерствами и ведомствами, предприятиями, учреждениями, организациями, а также должностными лицами и гражданами. Эта задача во многом совпадает с задачей государственного экологического контроля. Однако правовая основа, органы, формы и порядок ее решения имеют специфику.

Общественный экологический контроль осуществляется общественными объединениями и иными некоммерческими организациями в соответствии с их

уставами, а также гражданами в соответствии с законодательством. Эти организации имеют право:

- разрабатывать, утверждать и пропагандировать свои экологические программы, защищать экологические права и интересы населения, развивать экологическую культуру населения, привлекать на добровольных началах граждан к активной природоохранительной деятельности;
- за счет своих средств и добровольного трудового участия населения выполнять работы по охране и воспроизводству природных ресурсов и улучшению окружающей среды, оказывать всемерное содействие государственным органам в борьбе с нарушениями природоохранительного законодательства, создавать общественные фонды по охране окружающей среды и расходовать их на проведение экологических мероприятий;
- рекомендовать своих представителей для участия в государственной экологической экспертизе по вопросам размещения и проектирования объектов, проводить общественную экологическую экспертизу, требовать в административном или судебном порядке отмены решений о размещении, строительстве, эксплуатации экологически вредных объектов, ограничении, приостановлении, прекращении или перепрофилировании их деятельности;
- требовать представления своевременной достоверной и полной информации о загрязнении окружающей среды, мерах ее охраны;
- организовывать собрания, митинги, пикеты, шествия, демонстрации, петиции, сбор подписей, предлагать проведение обсуждения проектов;
- требовать назначения государственной экологической экспертизы, выступать с изложением экологической платформы в средствах массовой информации;
- ставить вопрос о привлечении к ответственности виновных должностных лиц, предъявлять в суде или арбитражном суде иски о возмещении вреда здоровью и имуществу граждан, причиненного экологическими правонарушениями.

Результаты общественного экологического контроля, представленные в органы государственной власти, подлежат обязательному рассмотрению в порядке, установленном законодательством.

Экологический контроль радио- и электротехнических объектов заключается в определении соответствия реально существующего уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды установленным нормативам. Основным методом при проведении экологической экспертизы – измерение ЭМП в заданной области пространства, в частности, в местах нахождения людей. Результаты измерений сравниваются с установленными ПДУ и делается вывод об экологической опасности действующего объекта. При наличии такой опасности разрабатываются и реализуются меры по уменьшению интенсивности ЭМП.

Отметим, что существенную практическую сложность представляет экологический контроль в бытовых условиях. Население, как правило, не имеет возможности произвести измерения ЭМП самостоятельно, хотя бы из-за отсутствия приборов индивидуального пользования. Для контроля ЭМП требуется приглашать специалиста, оснащенного измерительной аппаратурой, что сложно с организационной, а, возможно, и с финансовой точки зрения. Таким образом, важной технической задачей радиоэкологии является разработка портативных и дешевых измерителей ЭМП для населения, как минимум на частотные диапазоны 50 Гц и 900 МГц.

***Вопросы для самопроверки по разделу 2:***

1. Что включается в понятие «окружающая среда»?
2. Охарактеризуйте качество окружающей среды в помещении, где вы находитесь, с электромагнитной точки зрения.
3. Перечислите основные принципы охраны окружающей среды в Российской Федерации.
4. Для чего устанавливаются два типа нормативов: нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на окружающую среду?
5. Каково значение термина «предельно допустимый уровень (концентрация)»?
6. Перечислите основные принципы экологической экспертизы.
7. Перечислите виды экологического контроля.
8. В чем заключается отличие процедур экологической экспертизы и экологического контроля по объектам и методам исследования?
9. Какие операции необходимо произвести при экологическом контроле базовой станции сотовой связи?
10. Какие параметры ЭМП нормируются для персонала, для населения? Почему они различны?
11. Перечислите «белые пятна» в нормировании ЭМП.
12. Каким образом учитывается совместное действие нескольких видов загрязнений при оценке состояния окружающей среды?

### Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды

Более подробная информация по данному разделу содержится в [1, 4].

В данном разделе изучаются четыре темы:

- Задачи электромагнитного мониторинга
- Измерение параметров электромагнитного поля
- Основные принципы и методы радиоразведки
- Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека

По завершении работы с теоретическим материалом следует ответить на вопросы для самопроверки, а затем выполнить тренировочный тест №3.

Контроль знаний осуществляется с помощью контрольного теста №3. При необходимости следует обратиться к электронному учебному пособию или глоссарию.

В результате изучения данного раздела можно максимально набрать 15 баллов (по результатам тестирования).

#### 3.1. Задачи электромагнитного мониторинга

Понятие мониторинг включает систематический сбор информации об объекте исследования и оценку состояния объекта. Если речь идет только об электромагнитных характеристиках объекта исследования, то можно ввести понятие мониторинга ЭМП или электромагнитного мониторинга. Систему мониторинга ЭМП можно представить как комплекс технических средств, включающий:

- датчики ЭМП, размещенные в пространстве определенным образом, например вблизи источников ЭМП или ориентированные в направлении источников ЭМП;
- средства передачи информации от датчиков ЭМП в центр обработки информации;
- средства обработки информации.

Мониторинг ЭМП может быть направлен на решение трех принципиально различных задач. Наиболее близкой с точки зрения изучаемой дисциплины является задача экологического мониторинга ЭМП. Эта задача по своему содержанию сходна с задачей экологического контроля ЭМП и состоит в измерении ЭМП в выбранных точках пространства, сравнении результатов измерения с нормативами ПДУ и принятии решения о соответствии показателей качества окружающей среды экологическим нормативам.

Другие две задачи мониторинга ЭМП не связаны с экологией. Вторая задача электромагнитного мониторинга – это задача анализа электромагнитной обстановки. Под электромагнитной обстановкой понимается совокупность электромагнитных процессов в данной области пространства в частотном и временном диапазонах. Это определение очень похоже на определение качества окружающей среды в электромагнитном смысле.

Анализ электромагнитной обстановки является одной из проблем обеспечения так называемой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Речь идет о возможности работы данного радиоэлектронного средства в реальной помеховой обстановке, создаваемой другими работающими радиоэлектронными средствами.

Связь первой и второй задач электромагнитного мониторинга еще более очевидна, если обратиться к определению понятия «электромагнитная совместимость», данному в законе «О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств» (1999). Электромагнитная совместимость технических средств – способность технических средств функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты. Таким образом, ЭМП в окружающей среде являются, с одной стороны, помехами для радиоэлектронных средств, а, с другой стороны, оказывают биологическое (можно также употребить термин «помеховое») воздействие на человека.

Третья задача электромагнитного мониторинга – задача *радиомониторинга* или *радиоразведки*. Эта задача относится к классу специальных задач и состоит в извлечении полезных сведений об интересующих объектах в результате анализа ЭМП. Указанные полезные сведения могут относиться к факту работы некоторого радиотехнического средства (например, облучение вашего самолета со стороны радиолокационной станции противника), классификационным характеристикам работающего радиотехнического средства, представлять собой информационное текстовое или речевое сообщение, переданное по радиоканалу, и т.п.

На рис.14 представлены три перечисленные задачи электромагнитного мониторинга и их основные характеристики.

Важно отметить, что, несмотря на качественное подобие задач экологического мониторинга ЭМП и радиоразведки, между ними имеется существенное различие, характеризующееся количественным показателем. Поясним это утверждение следующей оценкой. При экологическом мониторинге ЭМП в дальней зоне, например на частоте выше 300 МГц, ПДУ плотности потока энергии составляет  $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$ . Пересчитаем этот показатель в напряженность электрического поля, используя сопротивление свободного пространства  $z_0 = 120\pi \text{ Ом}$ . Получим амплитуду вектора напряженности электрического поля  $E \approx 8,5 \text{ В/м}$ . Эта амплитуда на 4-5 порядков выше, чем амплитуда электрического поля, характерная, например, для систем передачи информации, с которыми имеет дело радиоразведка. Такое несопоставимое различие в интенсивности регистрируемых полей приводит к существенным принципиальным различиям в методах и аппаратуре электромагнитного мониторинга и радиоразведки.

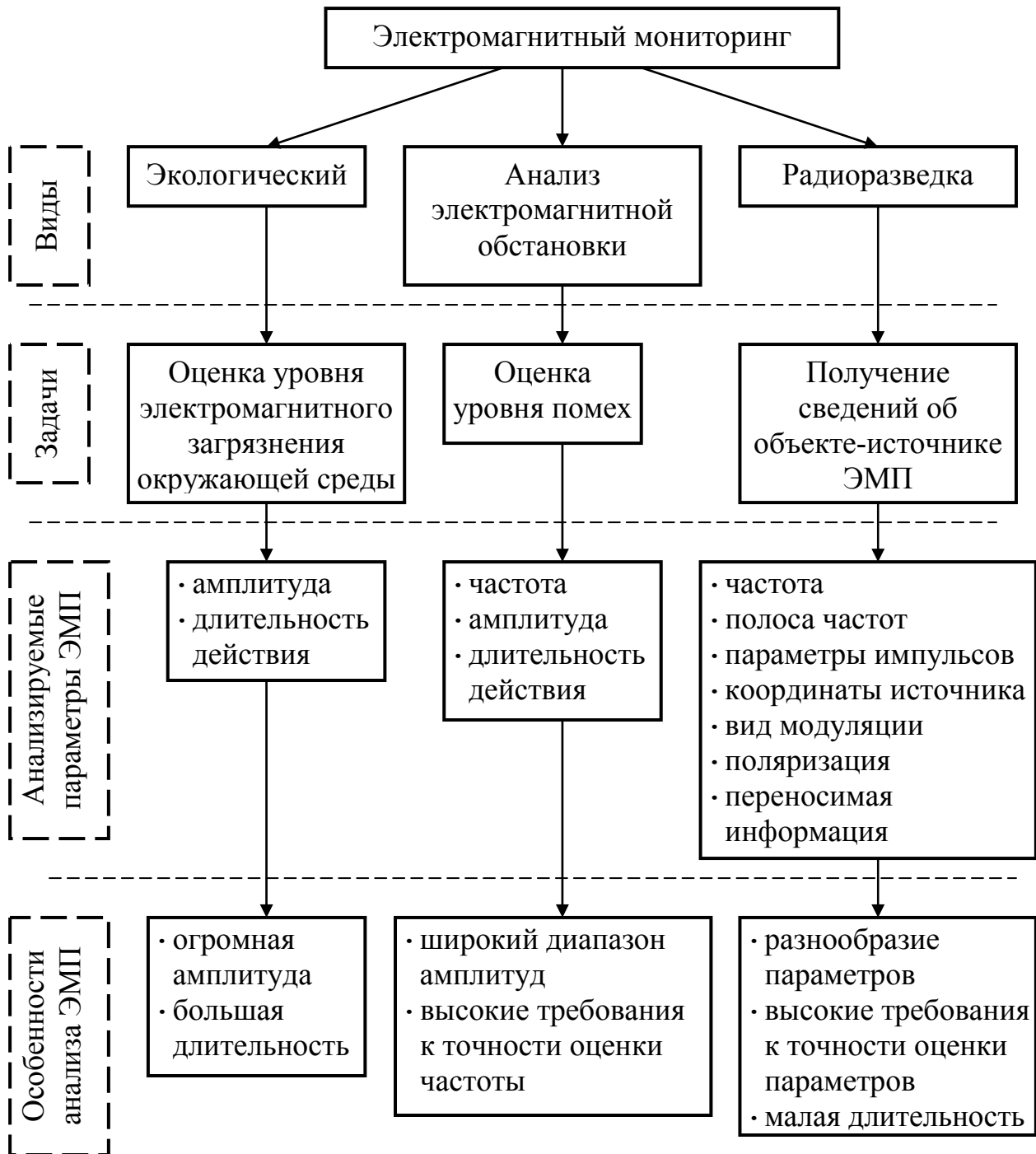


Рис. 14. Структура задач электромагнитного мониторинга.

В настоящей главе в параграфе 3.2 будут рассмотрены принципы и технические средства измерения параметров ЭМП, которые могут быть использованы для решения всех трех задач электромагнитного мониторинга. Один из параграфов (параграф 3.3) целиком посвящен теме радиоразведки как задаче смежной с электромагнитным экологическим мониторингом, которая, кстати, не рассматривается ни в одной из дисциплин учебного плана специальности «Радиотехника».

## 3.2. Измерение параметров электромагнитного поля

### *Изучаемые вопросы:*

- преобразователи параметров ЭМП в электрический сигнал;
- методы измерений параметров ЭМП;
- приборы для измерения параметров ЭМП.

### 3.2.1. Преобразователи параметров ЭМП в электрический сигнал

В настоящее время измеряемые величины ЭМП, как правило, предварительно преобразуются в электрические (напряжение, ток). Для этого используются первичные преобразователи, действие которых основано на ряде физических явлений и законов: явлении электромагнитной индукции, модуляции магнитного состояния, гальваномагнитных эффектах, явлении ядерного и электронного парамагнитного резонанса, магнитооптических эффектах, эффекте Джозефсона и др.

Классификация преобразователей магнитного поля (магнитной составляющей ЭМП) по используемому физическому явлению представлена на рис.15. Нужно отметить, что каждый из четырех указанных видов преобразователей включает в себя несколько типов преобразователей, отличающихся друг от друга по какому-либо иному признаку.

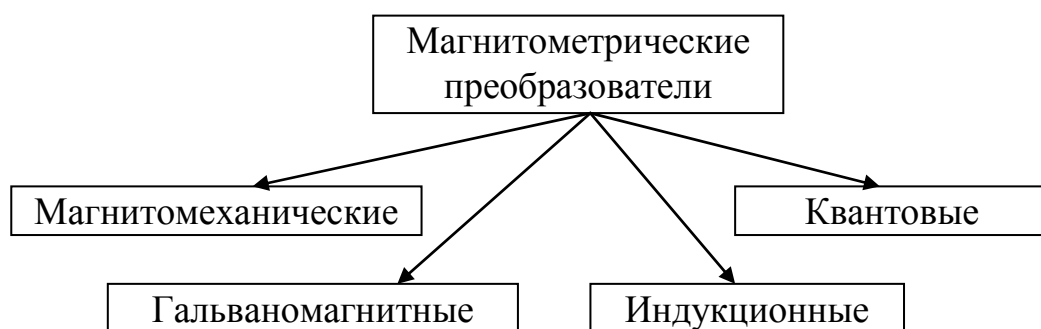


Рис. 15. Виды преобразователей магнитного поля.

Наиболее простым и давно известным видом преобразователей являются магнитомеханические, принцип действия которых основан на повороте магнитной стрелки в измеряемом магнитном поле. Современные магнитомеханические преобразователи представляют собой высокотехнологичные приборы с оптическим отсчетом угла поворота магнитной стрелки.

Преобразователи, принцип действия которых основан на использовании физических явлений, возникающих при воздействии магнитного поля на движущийся заряд, называют гальваномагнитными. Некоторые из них рассмотрены далее.

Принцип действия индукционных преобразователей, независимо от конструктивных особенностей и способов применения, основан на законе электромагнитной индукции. Основные виды таких преобразователей рассмотрены далее.



Группу преобразователей, работа которых основана на взаимодействии микрочастиц с магнитным полем, называют квантовыми. В рамках опорного конспекта этот тип преобразователей подробно не рассматривается.

Действие магнитного поля на движущиеся заряды в твердом теле приводит к искривлению их траектории, перераспределению удельной плотности заряженных частиц и их скоростей. Следствием этого является возникновение ряда эффектов, называемых гальваномагнитными. В настоящее время известно четыре гальваномагнитных эффекта (два поперечных и два продольных), но используются в технике магнитных измерений только два из них: эффект Холла и эффект Гаусса.

Принцип действия преобразователей Холла основан на поперечном эффекте Холла, который состоит в возникновении поперечной разности потенциалов, пропорциональной магнитной индукции и току, протекающему по проводнику.

Конструктивно преобразователь Холла представляет собой тонкую пластину, выполненную из полупроводникового материала (германия, арсенида галлия, сурьмянистого индия и др.), наклеенную на жесткую подложку и снабженную двумя парами электродов - токовыми и холловскими, расположенными взаимно перпендикулярно.

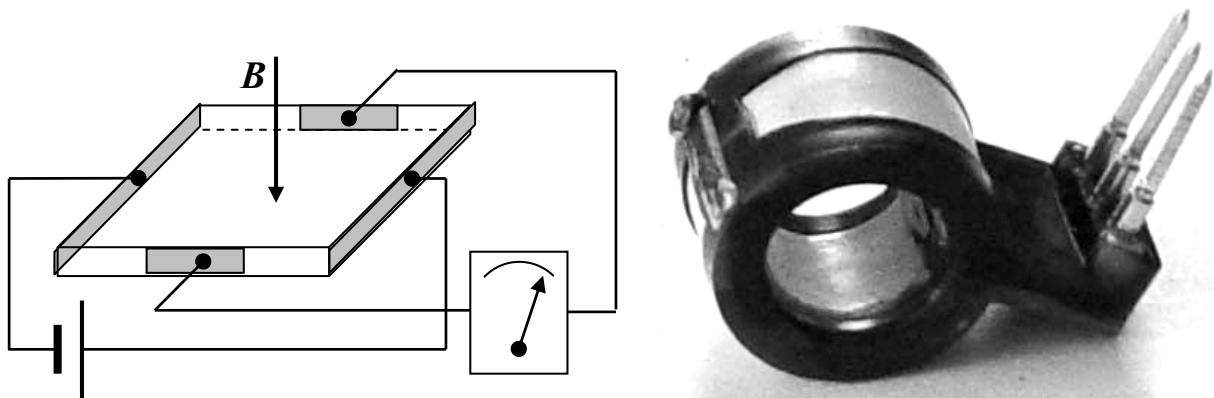


Рис. 16. Эффект Холла и его реализация в виде датчика.

Преобразователи Холла позволяют измерять магнитную индукцию как в постоянных, так и в переменных магнитных полях в широком диапазоне частот частотой до нескольких мегагерц (имеют малую инерционность). Малые размеры датчика делают возможными измерения в узких местах – щелях, зазорах от 0,1 мм. К недостаткам преобразователей Холла следует отнести невысокую чувствительность, а также сильную зависимость постоянной Холла (коэффициента преобразования датчика) от температуры.

Принцип действия магниторезистивных преобразователей основан на эффекте Гаусса, заключающемся в изменении внутреннего сопротивления полупроводника под действием магнитного поля. Как и преобразователи Холла, магниторезистивные преобразователи представляют собой тонкую полупроводниковую пластину (материал - антимонид и арсенид индия) с двумя электродами, наклеенную на изолирующую подложку.

Отличительной особенностью этих преобразователей является наблюдаемая в широком диапазоне измерения магнитной индукции квадратичная зависимость функции преобразования. Это свойство может считаться достоинством преобразователей, и оно используется при создании компараторов магнитной индукции постоянных и переменных магнитных полей. Основным недостатком магниторезистивных преобразователей – сильная зависимость функции преобразования от температуры.

Индукционные преобразователи, работа которых основана на использовании закона электромагнитной индукции, делятся на два вида: пассивные и активные.

В пассивных индукционных преобразователях преобразование напряженности переменного магнитного поля в ЭДС индукции происходит без дополнительных затрат энергии за счет энергии самого магнитного поля. Пассивные преобразователи выполняются в виде катушки, внутрь которой с целью увеличения чувствительности может быть помещен сердечник из ферромагнитного материала.

ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}}$  на выходе пассивного преобразователя зависит от площади катушки  $S$ , числа витков  $N$  в ней, эффективной магнитной проницаемости материала сердечника  $\mu_{\text{эфф}}$ , а также пропорционально частоте  $f$  и амплитуде напряженности измеряемого поля  $H$ :

$$\varepsilon_{\text{инд}} = 2\pi f \mu_0 \mu_{\text{эфф}} S N H .$$

Ввиду наличия линейной зависимости коэффициента преобразования от частоты, пассивные индукционные преобразователи могут быть использованы только для измерения напряженности переменного магнитного поля в диапазоне от единиц герц в сильных полях, характерных для задачи экологического мониторинга, до десятков мегагерц в слабых полях, характерных для задачи радиоразведки. Достоинством пассивных преобразователей является их конструктивная простота и надежность.

Задача измерения напряженности постоянного магнитного поля может быть решена с помощью активных индукционных преобразователей. Для работы такого преобразователя требуется дополнительная энергия от какого-либо источника. В настоящее время применяется лишь один из видов активных преобразователей, называемый ферромодуляционным или феррозондом.

Действие феррозонда основано на изменении магнитного состояния ферромагнитного сердечника под воздействием двух магнитных полей разных частот. На рис. 17 схематически показаны два варианта конструкций феррозондов.

В простейшем варианте феррозонд (стержневой одноэлементный) состоит из ферромагнитного сердечника и находящихся на нем двух катушек: катушки возбуждения ( $w_{\text{в}}$ ), питаемой переменным током, и измерительной (сигнальной) катушки ( $w_{\text{и}}$ ). Сердечник феррозонда выполняется из материалов с высокой магнитной проницаемостью.

На катушку возбуждения от специального генератора подается переменное напряжение, обычно с частотой порядка десятков килогерц. В отсутствие

измеряемого магнитного поля сердечник под действием переменного магнитного поля ( $H_{\sim}$ ), создаваемого током в катушке возбуждения, перемагничивается по симметричному циклу. Изменение магнитного поля, вызванное перемагничиванием сердечника по симметричной кривой, индуцирует в сигнальной катушке ЭДС, изменяющуюся по гармоническому закону.

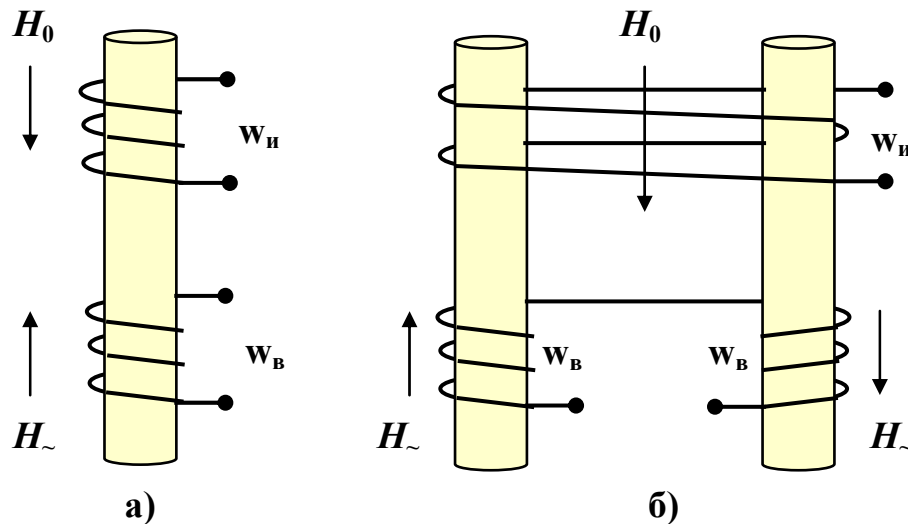


Рис. 17. Варианты конструкций феррозондов: а – одноэлементный стержневой; б – дифференциальный с разомкнутым сердечником.

Если одновременно на сердечник действует измеряемое постоянное или медленно меняющееся магнитное поле ( $H_0$ ), то кривая перемагничивания меняет свои размеры и форму и становится несимметричной. При этом изменяется величина и гармонический состав ЭДС в сигнальной катушке. В частности, появляются четные гармонические составляющие ЭДС, величина которых пропорциональна напряженности измеряемого поля и которые ранее отсутствовали при симметричном цикле перемагничивания.

Дифференциальный феррозонд, как правило, состоит из двух сердечников с обмотками, которые соединены так, что нечетные гармонические составляющие практически компенсируются. Тем самым упрощается измерительная аппаратура и повышается чувствительность феррозонда.

Феррозонды имеют высокую чувствительность и конкурентоспособны по этому параметру особенно в диапазоне частот ниже 10 Гц.

Основные недостатки феррозондов: медленный дрейф нуля и наличие специфических шумов – шумов перемагничивания.

Для измерения напряженности электромагнитного поля УКВ-диапазона используются измерительные антенны как составной элемент датчика ЭМП.

По своему назначению они являются преобразователями электромагнитного поля в электрический сигнал, а по принципу действия - индукционными преобразователями.

К измерительным относятся антенны, основные технические характеристики которых регламентированы с определенными погрешностями. Измерительные

антенны разрабатывают как самостоятельные приборы широкого применения, которые могут работать с различными измерителями и источниками сигналов.

Используются различные по конструкции измерительные антенны: штыревые, рамочные, рупорные, дипольные. Некоторые примеры реализации измерительных антенн приведены на рис. 18.

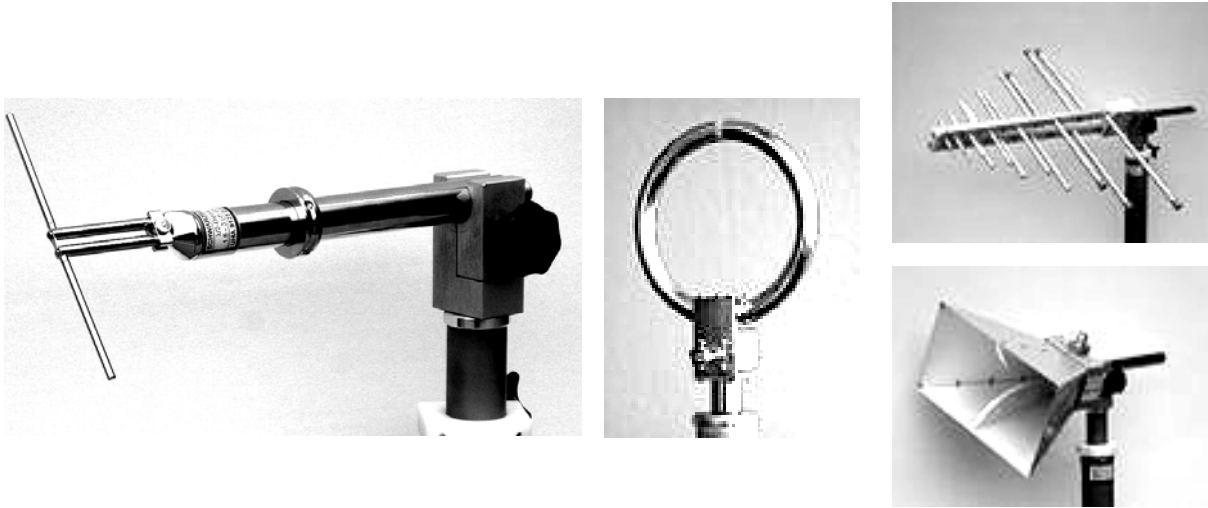


Рис. 17. Варианты конструкций измерительных антенн.

### 3.2.2. Методы измерений параметров ЭМП

Мы будем рассматривать классификацию методов измерений по способу сравнения измеряемой величины с единицей. По этому признаку методы измерений разделяют на две группы (рис. 18):

- методы непосредственной оценки (методы прямого преобразования);
- методы сравнения с мерой.

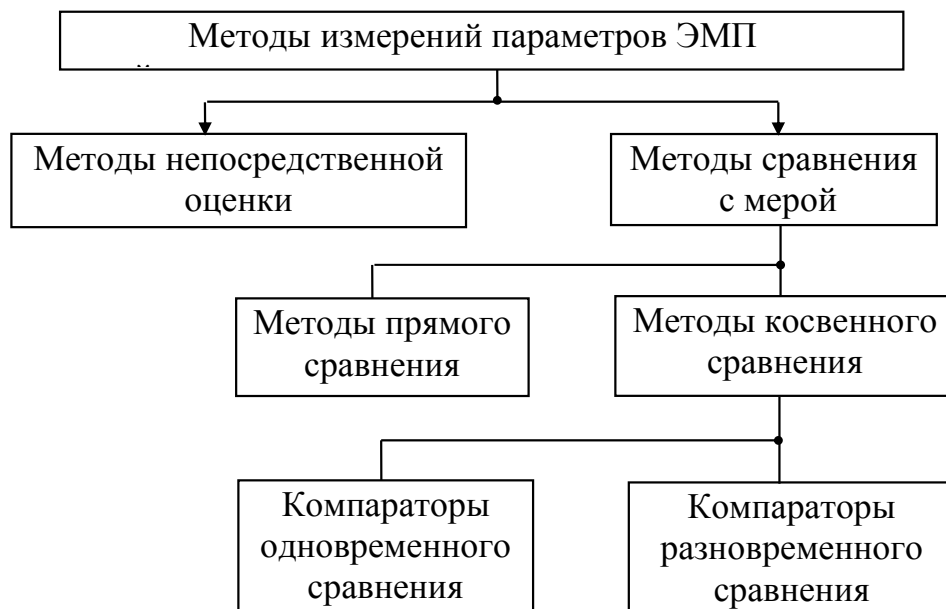


Рис. 18. Классификация методов измерения параметров ЭМП.

Метод непосредственной оценки состоит в определении значения измеряемой величины непосредственно по отсчетному устройству прибора прямого действия. Если такого прибора не существует или он не позволяет

провести измерения с требуемой точностью, используются методы сравнения с мерой.

Методы сравнения с мерой разделяют на методы прямого и косвенного сравнения.

Метод прямого сравнения (иначе называемый методом уравнивания) заключается в компенсации воздействия измеряемой величины действием эталонной величины, параметры которой известны или могут быть точно установлены. Например, это может быть компенсация действия напряженности измеряемого магнитного поля с помощью специально созданного эталонного поля с регулируемыми параметрами.

Метод косвенного сравнения основан на сравнении каких-либо проявлений (например, для ЭМП – эффектов ЭДС Холла, ЭДС индукции и др.), пропорциональных измеряемой величине, и образцовой величины, создаваемой мерой.

Отметим, что метод прямого сравнения в основном применяется при измерении параметров относительно небольших магнитных полей ( $B < 0,01$  Тл). Наоборот, метод косвенного сравнения применяется для точного определения параметров средних и сильных электромагнитных полей, для которых отсутствуют точные меры.

Средства измерения, работающие по методу косвенного сравнения, называют также компараторами. Компараторы разделяются на компараторы одновременного и разновременного сравнения.

В компараторах одновременного сравнения применяют два идентичных по принципу действия и параметрам преобразователя, один из которых помещают в исследуемое электромагнитное поле, а другой – в поле, создаваемое многозначной мерой.

При использовании разновременного компарирования один и тот же преобразователь помещается поочередно в исследуемое и образцовое поле.

### 3.2.3. Приборы для измерения параметров ЭМП

Рассмотрим несколько примеров применения перечисленных методов измерения с помощью тех или иных преобразователей ЭМП в электрический сигнал.

Методом непосредственной оценки на базе индукционного преобразователя реализован в магнитоэлектрическом веберметре. Веберметр (рис. 19) представляет собой чувствительный измерительный механизм магнитоэлектрической системы, без механического противодействующего момента, работающий в апериодическом режиме при большой степени успокоения. К рамке измерительного механизма подключена измерительная катушка (ИК) (т.е. индукционный преобразователь). Токоподводы практически не создают противодействующего момента рамке. Большая степень успокоения достигается за счет замыкания рамки на малое сопротивление измерительной катушки.

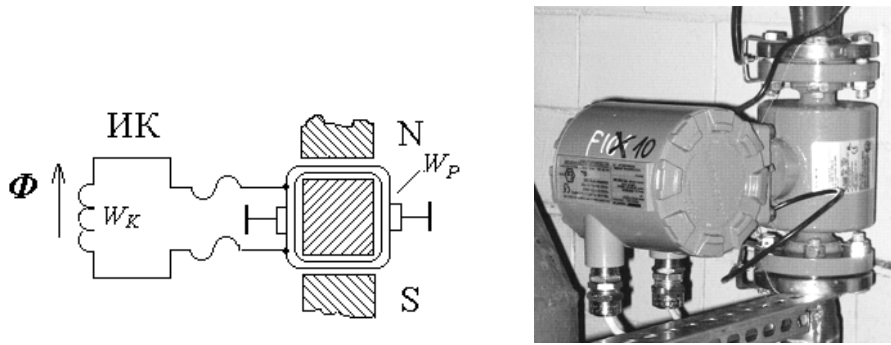


Рис.19. Магнитоэлектрический веберметр: структурная схема и внешний вид.

Измерительная катушка помещается в измеряемое поле. Затем удаляется из поля. Удаление измерительной катушки из поля приводит к появлению ЭДС, связанной с измеряемым магнитным потоком  $\Phi$  следующим образом:

$$\Phi w_k = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon_{\text{инд}} dt, \quad (18)$$

где  $\varepsilon_{\text{инд}}$  - ЭДС, наведенная в измерительной катушке;  $w_k$  - число витков измерительной катушки. Значение интеграла от ЭДС в (18) измеряется электрическими средствами и, затем, вычисляется значение магнитного потока  $\Phi$ . Далее, по значению магнитного потока нетрудно определить напряженность магнитного поля по формуле

$$H = \frac{\Phi}{\mu_0 S},$$

где  $S$  - площадь витка измерительной катушки.

Примером использования метода непосредственной оценки является серийно выпускаемый прибор - измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50 (рис.20). Измеритель ПЗ-50 предназначен для измерения напряженности электрического и магнитного поля на частоте 50 Гц и применяется для контроля ПДУ электрического и магнитного поля.



Рис.20. Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50.

Измеритель укомплектован двумя съемными антеннами для измерения электрической и магнитной составляющих ЭМП. Динамический диапазон прибора: по электрическому полю - 0,01 - 180 кВ/м; по магнитному полю - 0.01 - 1800 А/м. Используется цифровой отсчет результата измерения.

Рассмотрим другой пример – измерение напряженности поля в СВЧ-диапазоне методом непосредственной оценки с помощью измерительной антенны и измерительного приемника (рис.21).



Рис.21. Структура измерителя напряженности поля

Как видно, измерительный приемник имеет структуру приемника супергетеродинного типа, поскольку он должен иметь большую чувствительность и высокую селективность.

Чувствительность приемника и наибольшая мощность сигнала, при которой обеспечивается линейность преобразования, обуславливают пределы измерения по уровню входного сигнала. А полоса пропускания приемника определяет ширину спектра измеряемых сигналов и селективность приемника. Поскольку эти два фактора противоречивы, то обычно в измерительных приемниках имеются две переключаемые полосы пропускания: широкая и узкая.

Промышленность выпускала целый ряд измерительных приемников, предназначенных в комплекте с измерительными антеннами для измерения напряженности ЭМП, перекрывающий частотный диапазон от 255 МГц до 37,5 ГГц. Далее приведены характеристики двух таких приемников, которые можно приобрести в настоящее время.

Измеритель плотности потока энергии ЭМП ПЗ-33 обеспечивает обнаружение и контроль биологически опасных уровней плотности потока энергии электромагнитных излучений. Измеритель предназначен для измерения ППЭ в режиме непрерывной генерации при проведении контроля уровней ЭМП на соответствие требованиям норм по электромагнитной безопасности. В качестве датчика ППЭ используется всенаправленная широкополосная антенна с телескопической рукояткой.

Программное обеспечение работы измерителя ПЗ-33 предоставляет широкие потребительские возможности для пользователей:

- определение энергетической экспозиции за время измерения;
- проведение серий измерений с запоминанием их результатов;
- возможность сопряжения с персональным компьютером по стандартному RS232-интерфейсу.

Измеритель обладает постоянной чувствительностью во всем рабочем диапазоне и при любом направлении прихода волны.

Технические характеристики ПЗ-33:

- рабочий диапазон частот – 0,3 - 18,5 ГГц;
- динамический диапазон по ППЭ СВЧ-излучения – 1 - 100 мкВт/см<sup>2</sup>;
- относительная погрешность измерения –  $\pm 2$  Дб;

- ресурс автономной работы – не менее 10 час;
- масса – не более 650 г;
- габариты – 210x100x60 мм.

Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-31 обеспечивает обнаружение и контроль биологически опасных электромагнитных излучений с целью принятия мер по защите от них населения. Измеритель обеспечивает измерение следующих параметров ЭМП:

- ППЭ радиоволны в диапазоне частот от 300 МГц до 40 ГГц;
- напряженности электрического поля в диапазоне частот от 10кГц до 300 МГц;
- напряженности магнитного поля в диапазоне частот от 10кГц до 30 МГц;
- дополнительно ППЭ радиоволны при селективном измерении в диапазонах частот сотовой связи 0,9 – 1,0 ГГц и 1,8 – 2,0 ГГц.

Измеритель ПЗ-31 может быть подключен к персональному компьютеру через стандартный RS232-интерфейс. При этом обеспечивается возможность ввода ПДУ напряженности электрического (магнитного) поля, ППЭ и энергетической экспозиции по всем трем перечисленным параметрам, визуальное и звуковое оповещение пользователя при превышении ПДУ, индикация результатов измерения в единицах В/м, А/м, мкВт/см<sup>2</sup>, В<sup>2</sup>·час/м<sup>2</sup>, А<sup>2</sup>·час/м<sup>2</sup>, мкВт·час/см<sup>2</sup> или в процентах от установленных ПДУ.

Реализацию метода прямого сравнения рассмотрим на примере тесламетра с преобразователем Холла для измерения индукции постоянных магнитных полей (рис.22).

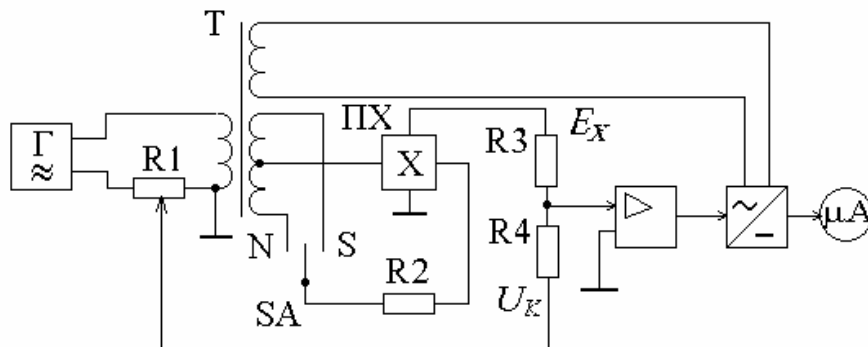


Рис. 22. Тесламетр с преобразователем Холла

Преобразователь Холла (ПХ) питается переменным током частотой 1000 Гц от встроенного генератора  $\Gamma$  через разделительный трансформатор  $T$ . Напряжение компенсации  $U_k$ , снимаемое с резистора  $R1$ , и ЭДС Холла  $E_x$  подаются в противофазе через резисторы  $R3$  и  $R4$  на вход усилителя. С выхода усилителя напряжение, пропорциональное сумме  $E_x$  и  $U_k$ , поступает на фазочувствительный выпрямитель. Момент компенсации определяют при помощи микроамперметра с двусторонней шкалой, подключенного к выходу фазочувствительного выпрямителя, а измеренное значение магнитной индукции отсчитывают по шкале резистора  $R1$ . Угол сдвига фаз между  $E_x$  и  $U_k$  должен быть равен  $180^\circ$ , что является необходимым условием компенсации и обеспечивается выбором фазы тока в преобразователе Холла в зависимости от



направления исследуемого поля. Для этого переключатель SA ставят в положение S или N, соответствующее направлению поля.

Промышленностью были выпущены приборы с преобразователями Холла: тесламетр Ш1-8 – для измерения индукции постоянных полей и миллитесламетр Ф4356 – для измерения магнитной индукции переменных полей в диапазоне частот 20 Гц...20 кГц.

В качестве примера реализации метода косвенного сравнения рассмотрим измерение параметров ЭМП с помощью магниторезистивных преобразователей. Прибор представляет собой компаратор одновременного

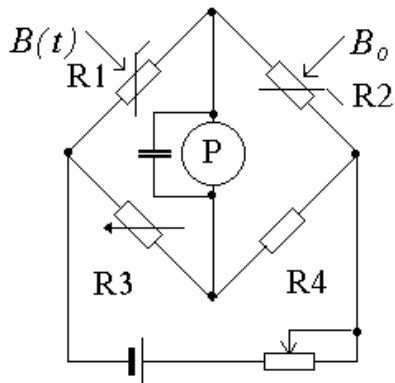


Рис.23 .Схема компаратора одновременного сравнения

сравнения, в котором используются два идентичных магниторезистора с начальными сопротивлениями  $R_{1(0)}$  и  $R_{2(0)}$ . Преобразователи включены в мостовую цепь постоянного тока (рис.23).

Предварительно мост уравнивается с помощью резистора  $R3$ . Затем один преобразователь помещается в измеряемое переменное поле  $B(t)$ , а другой преобразователь  $R_{2(0)}$  – в постоянное поле  $B_0$ . Изменяя  $B_0$ , добиваются повторного равновесия моста.

Метод косвенного разновременного сравнения реализуется с помощью специальных приборов – компараторов, выпускавшихся отечественной промышленностью в качестве измерителей напряженности ЭМП. Структурно такой компаратор состоит из антенны, приемного устройства, регистрирующего устройства и источника эталонного сигнала, используемого для калибровки регистрирующего устройства (рис.24). В зависимости от способа ввода в компаратор эталонного сигнала можно указать две его разновидности: эталонный сигнал может подаваться на антенну компаратора (сравнение по полю), а может вводиться непосредственно во входную цепь приемного устройства (как это показано на схеме).

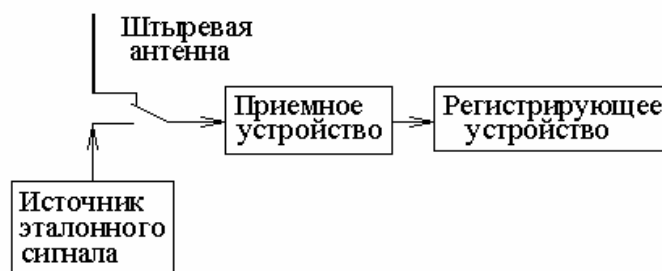


Рис. 24. Компаратор разновременного сравнения.

В компараторе используется штыревая вертикальная антенна, следовательно, компаратор измеряет электрическую составляющую ЭМП, которая определяется из простого соотношения  $E = \varepsilon_{ш} / h_{ш}$ , где  $\varepsilon_{ш}$  – ЭДС, наводимая измеряемым полем в штыре,  $h_{ш}$  – действующая высота штыревой антенны. Отметим, что это соотношение справедливо при малой по сравнению

с длиной волны высоте (длине) штыря, и следовательно, такой компаратор не пригоден для измерений в УКВ-диапазоне.

### **3.3. Основные принципы и методы радиоразведки**

#### ***Изучаемые вопросы:***

- задачи радиоразведки, последовательный и параллельный поиск источников излучений;
- принцип работы панорамного приемника;
- беспойсковые методы обнаружения сигналов, многоканальный приемник;
- анализаторы спектра;
- радиопеленгаторы.

#### **3.3.1. Задачи радиоразведки, последовательный и параллельный поиск источников излучений**

Первой задачей при радиоразведке является обнаружение неизвестного излучения. Термин «неизвестное излучение» в данном случае означает, что неизвестны все его параметры. Следовательно, это излучение сначала надо найти в исследуемом частотном диапазоне и во всем возможном телесном или плоском угле.

Порядок поиска излучения должен быть следующим: сначала определяется его несущая частота, а затем направление прихода. После этого можно переходить к более тонкому анализу структуры излучения.

Поскольку при поиске излучения в частотной области направление на источник еще не известно, приемные устройства должны работать с ненаправленными антеннами.

Различают последовательный и параллельный способы определения, как частоты, так и направления прихода неизвестного излучения.

Специальное радиоприемное устройство, обеспечивающее обнаружение излучения с применением последовательной перестройки по диапазону частот, называется панорамным приемником. Панорамные приемники одновременно с обнаружением излучения позволяют определить и несущую частоту сигнала.

Определение направления на некоторый объект из точки наблюдения называется пеленгацией. Пеленгацией или пеленгованием в радиоразведке называется определение этого направления путем измерения угла между меридианом, проходящим через точку наблюдения, и направлением на обзореваемый объект. Этот угол называется азимутом. Соответственно, радиопеленгацией называется процесс определения направления на источник излучения радиоволн.

Радиопеленгование осуществляется с помощью устройств, называемых радиопеленгаторами. В этом случае говорят не «азимут», а «радиопеленг».

Основным элементом пеленгатора, позволяющим разделять в пространстве радиосигналы, приходящие от различных источников, является антенна с узкой диаграммой направленности (ДН) в одной или в двух плоскостях. Вторым важнейшим элементом пеленгатора является радиоприемник.

Когда несущая частота источника уже определена, приемник заранее настраивается на эту частоту, а затем с помощью узконаправленной антенны пеленгатора осуществляется поиск этого источника в пространстве. Отметим, что для выполнения этой операции в принципе может быть использован тот же панорамный приемник, с помощью которого определялась несущая частота источника.

Поисковый способ пеленгации позволяет определять направление на источник излучения путем последовательного просмотра пространства. Определение пеленга источника требует при этом некоторого времени. В этом случае применяется вращающаяся остронаправленная антенна, а на выходе приемника устанавливается электронно-лучевой индикатор, в котором линия развертки перемещается синхронно с вращением антенны (один поворот антенны на  $360^\circ$  – один период развертки луча), образуя координатную шкалу. Пеленг на источник излучения определяется угловым положением остронаправленной антенны, при котором сигнал источника на выходе пеленгатора достигает максимальной величины. Нужно отметить, что, учитывая конструктивную сложность и, следовательно, высокую стоимость вращающихся антенн с узкой ДН, вращение антенн стремятся заменять вращением ДН, например, с помощью фазированных антенных решеток.

Рассмотренный метод определения направления на источник называется поисковым. Однако радиопеленгование, как и обнаружение сигнала по частоте, может осуществляться беспойсковым методом. Беспойсковый метод позволяет определить направление на источник излучения практически мгновенно при любом расположении источника относительно антенны пеленгатора. В простейшем случае беспойсковое определение направления на источник может быть осуществлено с помощью многоканального пространственно-избирательного устройства. Прием сигналов в нем производится одновременно большим количеством антенн с приемниками, причем антенны имеют узкие ДН, которые в совокупности перекрывают  $360^\circ$  в горизонтальной плоскости.

После определения несущей частоты излучения неизвестного источника и его радиопеленга можно приступить к анализу тонкой структуры принятого сигнала. Например, может быть поставлена задача определения характера излучения (непрерывное или импульсное, регулярное или эпизодическое); ширины и вида (непрерывный, дискретный и т.д.) частотного спектра этого излучения; вида модуляции и ее параметров.

### **3.3.2. Принцип работы панорамного приемника**

Панорамный приемник – это наиболее распространенный вид разведывательного приемника с последовательным поиском сигнала. Его упрощенная функциональная схема приведена на рис.25. Панорамный приемник содержит элементы обычного супергетеродинного приемника: усилитель высокой частоты (УВЧ), смеситель (См), гетеродин (Г) и усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Дополнительными элементами здесь являются генератор развертки (ГР) и электронно-лучевой индикатор (ЭЛИ).

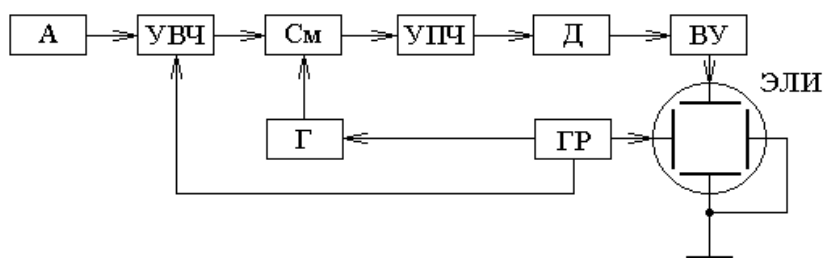


Рис. 25. Функциональная схема панорамного приемника.

Генератор развертки – это, как правило, генератор пилообразного напряжения, под воздействием которого происходит отклонение по оси X луча ЭЛИ и синхронная перестройка приемника по диапазону частот.

Панорамные приемники обладают широкими возможностями. Они обеспечивают:

- наблюдение за работой большого числа радиоизлучателей в заданной полосе частот;
- определение загрузки диапазона частот радиоэлектронными средствами;
- определение относительной интенсивности поля в точке приема от различных излучателей;
- контроль за работой отдельных радиоэлектронных средств;
- определение вида радиоизлучений.

Отечественная промышленность выпускала группу панорамных измерительных приемников – П5-26, П5-27 и П5-28, которые обеспечивают проведение измерений в полосе частот 1,0 – 7,0 ГГц в лабораторных, производственных и полевых условиях.

Эти приемники представляют собой высокочувствительные, высокостабильные супергетеродинные приемники с двойным преобразованием частоты и калиброванным внутренним усилением. Номиналы промежуточных частот: первая – 125 МГц, вторая – 30 МГц.

Все три приемника аналогичны по конструктивному и схемному решению; имеют по три полосы пропускания: 0,1, 1,0 и 5,0 МГц. Чувствительность приемников имеет порядок  $10^{-12}$  Вт.

В открытой печати не найдены описания отечественных панорамных приемников для ДВ-, СВ- и КВ- диапазонов. Поэтому рассмотрим их особенности на примере приемника Eddystone EP-961. Приемник EP-961 работает по методу последовательного анализа. Приемник построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Диапазон частот приемника от 10 кГц до 60 МГц перекрывается с помощью трех высокочастотных блоков: А (0,01 - 0,8 МГц), Б (0,5 - 36,5 МГц) и В (36,5 - 60 МГц) и двух блоков промежуточной частоты: один - для блока А (вторая ПЧ = 70 кГц) и другой - для блоков Б и В (вторая ПЧ = 500 кГц).

Первый преобразователь является панорамным, а преселектор имеет широкую полосу частот, перекрывающую весь диапазон частот соответствующего блока.

Разрешающая способность приемника составляет примерно 1 кГц. Полоса обзора определяется диапазоном качания и меняется от 10 кГц до 15 МГц.

Динамический диапазон приемника – всего 40 дБ, что оправдывается его широкополосностью. Инструментальная чувствительность – 5...10 мкВ, реальная же значительно ниже.

### 3.3.3. Беспойсковые методы обнаружения сигналов, многоканальный приемник

Для обнаружения излучений малой длительности в сравнительно небольшом диапазоне частот применяют многоканальные приемники прямого усиления, т.е. работающие по параллельному (беспойсковому) методу анализа. Структурная схема такого приемника приведена на рис.26.

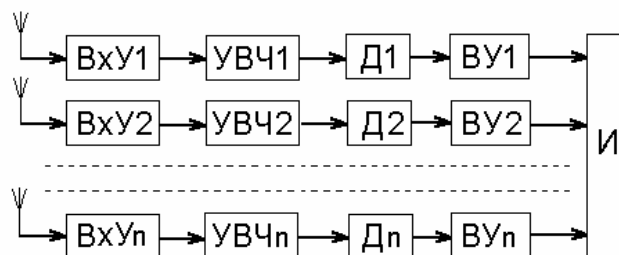


Рис. 26. Многоканальный приемник.

Приемник представляет собой совокупность идентичных одноканальных приемников, перекрывающих заданную полосу обзора и обеспечивающих необходимую разрешающую способность, а также требуемую точность отсчета частоты. Каждый канал состоит из входного устройства (ВхУ), УВЧ, детектора (Д) и видеоусилителя (ВУ). Понятно, что чем более высокие требования предъявляются к точности отсчета частоты и разрешающей способности приемника, тем больше каналов он должен иметь. Основное преимущество такого приемника – весьма высокая скорость анализа.

В современных средствах радиотехнической разведки находят применение приемники беспойскового обнаружения, преобразующие частоту принимаемого излучения в другую физическую величину, которую легче индцировать и в дальнейшем обрабатывать.

Примером такого устройства может служить акустооптический приемник на ячейке Брэгга (рис. 27). Ячейка Брэгга представляет собой оптически прозрачный кристалл ниобата лития или двуокиси теллура, на одной стороне которого установлен пьезоэлектрический преобразователь. При поступлении с выхода приемника 2 на преобразователь 3 анализируемых радиосигналов в ячейке Брэгга 6 возбуждаются акустические волны, которые поглощаются на противоположной от преобразователя стороне кристалла. Бегущая акустическая волна «модулирует» коэффициент преломления кристалла, образуя бегущую дифракционную решетку. Ячейка Брэгга освещается параллельным когерентным лазерным пучком, формируемым излучателем 1 и линзой 7 и падающим под углом Брэгга по отношению к направлению распространения акустической волны. В результате акустооптического взаимодействия в ячейке лазерный луч отклоняется, причем величина угла отклонения прямо

пропорциональна частоте анализируемого радиосигнала. Отклоненные лазерные лучи фокусируются линзой 4 на линейной матрице фотодетекторов (на базе приборов с зарядовой связью) 5, где световая энергия преобразуется в электрические заряды и накапливается в элементах матрицы. Электронное устройство считывания преобразует заряды в выходное напряжение, которое обрабатывается для дальнейшего анализа и индикации.

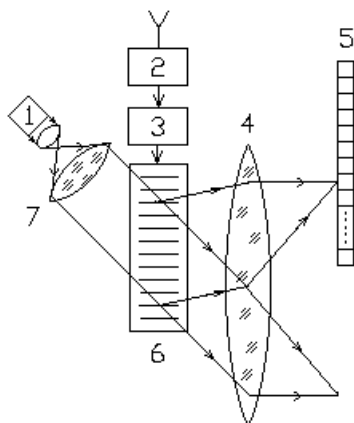


Рис. 27. Оптическая часть приемника на ячейке Брэгга.

Ячейки Брэгга работают в диапазоне от 50 МГц до 2 ГГц, с шириной мгновенной полосы частот до октавы и обеспечивают формирование до 2 тысяч отклоненных на разные углы лазерных лучей, т.е. позволяющие определять до 2 тысяч различных частот.

### 3.3.4. Анализаторы спектра

Для исследования амплитудного спектра сигнала применяются специальные приборы – анализаторы спектра. В большинстве случаев анализатор спектра работает совместно со стандартным приемником. Наиболее широко используются анализаторы спектра последовательного типа, реже – параллельного типа.

Анализатор спектр можно подключать как к выходу УПЧ приемника, так и к его низкочастотному выходу. Поскольку схема, конструкция и метод анализа, используемые в анализаторах, определяются видом анализируемых сигналов, универсальных анализаторов спектра не существует. Наибольшее распространение получили супергетеродинные анализаторы спектра (рис.28).

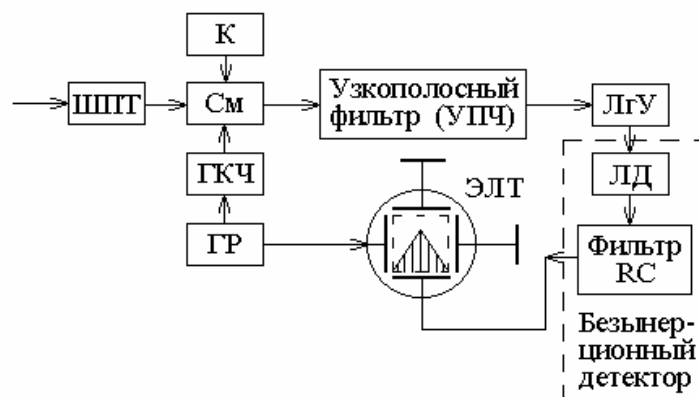


Рис. 28. Супергетеродинный анализатор спектра.

В анализаторе спектра испытуемый сигнал поступает через широкополосный тракт (ШПТ) на смеситель (См). К смесителю подводится также напряжение от генератора качающейся частоты (ГКЧ) с частотой  $f_{ГКЧ}$ . Линейное изменение частоты  $f_{ГКЧ}$  во времени производится изменением напряжения генератора развертки (ГР). Частоты составляющих спектра входного сигнала переносятся последовательно на промежуточную частоту  $f_{ПР}$  (частоту настройки УПЧ). Перестройка частоты генератора эквивалентна перемещению спектра исследуемого сигнала относительно частоты УПЧ. Селективный УПЧ последовательно выделяет составляющие спектра. Они усиливаются и детектируются в линейном детекторе (ЛД). Благодаря синхронной развертке луча ЭЛТ отклики каждой спектральной составляющей последовательно воспроизводятся на его экране. При этом горизонтальная развертка ЭЛТ соответствует оси частот spectroграммы. Таким образом, изображение на экране ЭЛТ точно соответствует амплитудному спектру сигнала. В анализаторах спектра применяют ЭЛТ с длительным временем послесвечения.

В состав анализатора спектра может входить логарифмический усилитель (ЛГУ). Он дает возможность наблюдать составляющие спектра сигнала, отличающиеся в 100, 1000 и более раз. Калибратор (К) предназначен для формирования на экране ЭЛТ опорных частотных меток, по которым производят отсчет частот. Важным параметром анализатора спектра является его динамический диапазон, в котором с требуемой точностью обеспечивается воспроизведение амплитуд спектральных составляющих.

### 3.3.5. Радиопеленгаторы

Основой радиопеленгации является направленный радиоприем. Пеленгование осуществляется обычно поворотом диаграммы направленности (ДН) антенной системы, выполняемым либо путем вращения самой антенны радиопеленгатора (например, рамочной антенны), либо путем сложения по определенному, заранее предусмотренному закону ЭДС, наведенных в отдельных элементах, входящих в состав неподвижной антенной системы радиопеленгатора (например, секторные пеленгаторы).

Основными методами пеленгования являются амплитудный и фазовый. Применяются и смешанные методы: фазово-амплитудный и амплитудно-фазовый.

Простейшим способом реализации амплитудного метода является использование направленной антенны и ее вращение в горизонтальной плоскости. При совпадении направления ДН антенны с направлением на источник излучения получим максимум напряжения на выходе приемника.

Очевидно, что точность такого метода пеленгования определяется узостью и крутизной ДН антенны вблизи максимума. Однако наибольшая крутизна ДН антенны наблюдается вблизи минимума (сравните скорость изменения функции  $\cos x$  при  $x = 0$  и  $x = \pi/2$ ). Минимум ДН может быть также сформирован как разность ДН двух идентичных антенн, развернутых друг относительно друга на некоторый угол в горизонтальной плоскости. Используя этот факт, а также то,

что при малых уровнях сигнала ухо человека обладает наибольшей чувствительностью, можно реализовать так называемый слуховой радиопеленгатор по минимуму сигнала.

Простейшим и методически важным способом реализации фазового метода радиопеленгации является использование двух вертикальных ненаправленных антенн А и В, разнесенных на расстояние  $d$  (рис.29).

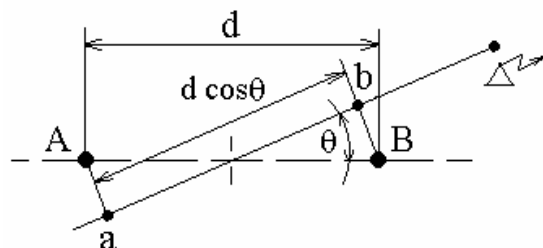


Рис. 29. Фазовый метод радиопеленгации.

Если волна достигает антенн А и В не одновременно, то мгновенные значения ЭДС, наводимых в антеннах, будут различны, т.е. между ними возникает разность фаз  $\varphi$ . Эта разность фаз в свою очередь определяется разностью хода волны между точками А и В (длиной отрезка  $ab$ ) и равна  $d \cos \theta$ . На длине отрезка набег фазы волны составит

$$\varphi = 2\pi d \cos \theta / \lambda .$$

где  $\theta$  – угол между направлением прихода волны и линией, соединяющей антенны. Следовательно, при изменении угла  $\theta$  разность фаз между ЭДС в антеннах А и В будет изменяться по косинусоидальному закону.

Если далее применить фазовый детектор с характеристикой  $U_{\text{вых}} = \sin \varphi$  и использовать малый разнос антенн по сравнению с длиной волны  $d \ll \lambda$ , то величину результирующей ЭДС можно считать прямо пропорциональной значению угла  $\varphi$ . Тогда и результирующая ЭДС при изменении угла  $\theta$  будет изменяться по косинусоидальному закону.

Горизонтальная ДН имеет в полярных координатах вид восьмерки, образованной двумя касающимися друг друга окружностями. Нуль приема совпадает с направлением, перпендикулярным линии, соединяющей антенны, так как в этом случае волна достигает обеих антенн одновременно.

### 3.4. Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека

Если вернуться в начало курса, то можно вспомнить, что в определении радиоэкологии, наряду с оценкой влияния электромагнитного загрязнения окружающей среды на организм человека, упомянуто и обратное влияние ЭМП человека на окружающую среду, в том числе и на других людей.

Мы уже неоднократно упоминали о том, что электромагнитный портрет человека сформировался в результате эволюции под действием ЭМП естественного происхождения. Основными внешними проявлениями электромагнитной активности организма являются электрические и магнитные поля, сопровождающие деятельность органов человека – сердца, головного мозга, мышц и т.п. Следует обратить внимание на раздельное упоминание



электрических и магнитных полей, поскольку речь идет о весьма низкочастотных полях, которые наблюдаются в ближней зоне источника – некоторого органа организма человека. Регистрация собственной электрической и магнитной активности организма является одним из диагностических факторов, широко используемых в медицине.

Каждый человек на себе испытал процесс измерения электрических потенциалов в различных точках на поверхности организма, связанных с работой сердца – снятие электрокардиограммы (ЭКГ). ЭКГ представляет собой запись в виде функции времени разности потенциалов, возникающих в результате работы сердца и проводящихся на поверхность тела. Типичная запись ЭКГ представлена на рис.30.

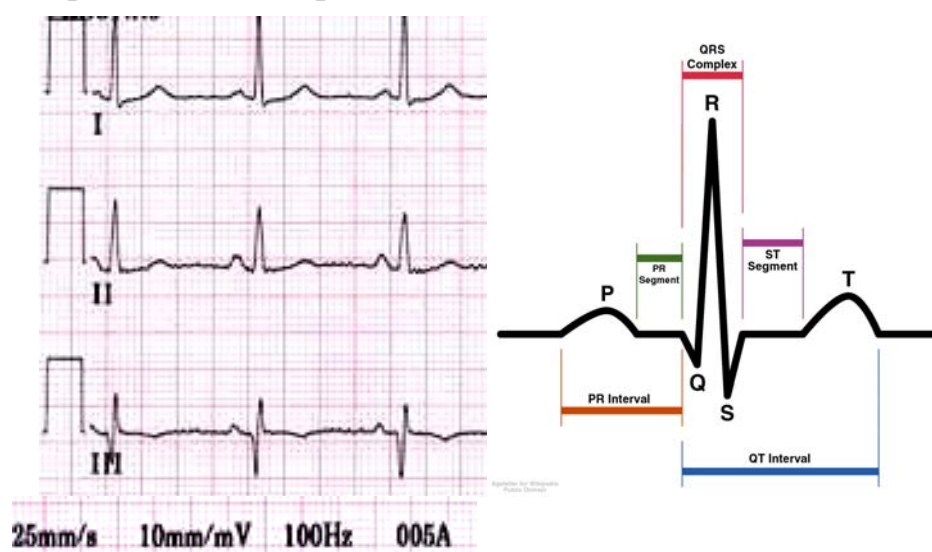


Рис. 30. ЭКГ в трех основных отведениях и форма нормальной ЭКГ.

Амплитуда ЭКГ составляет величину порядка единиц милливольт, что вполне достаточно для ее четкой регистрации. Частота повторения импульсов сердца составляет примерно 1 Гц, однако, как видно из формы импульса, спектр ЭКГ имеет и более высокочастотные составляющие. Для подавления дрейфа постоянной составляющей и влияния сетевых наводок используются специальные фильтры.

Аналогичная процедура измерения электрических потенциалов в области головного мозга – снятие электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Расположение электродов на голове пациента и типичная запись ЭЭГ представлены на рис.31.

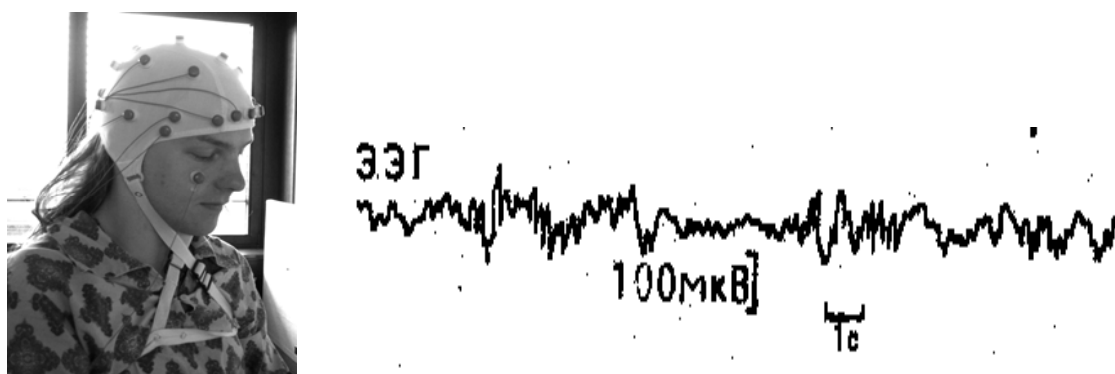


Рис. 31. Процесс снятия ЭЭГ и типичный вид ЭЭГ.

Спектр ЭЭГ лежит в пределах от 10 до 100 Гц, амплитуда составляет величину порядка 100 мкВ, т.е. на порядок ниже, чем у ЭКГ. Используется классификация частот ЭЭГ по некоторым основным диапазонам, которым присвоены названия букв греческого алфавита (альфа – 8-13 Гц, бета – 14-40 Гц, тета – 4-6 Гц, дельта – 0,5-3 Гц, гамма – выше 40 Гц и др.). Считается, что каждый такой «ритм» соответствует некоторому определённом состоянию мозга и связан с определёнными церебральными механизмами. Для компьютерного анализа ЭЭГ используется аналого-цифровое преобразование с частотой дискретизации 250 Гц.

Принципиальным недостатком ЭКГ и ЭЭГ является расположение электродов на коже человека, а не на самом объекте исследования – сердце или головном мозге. Вследствие этого могут быть потеряны существенные диагностические признаки работы сердца и мозга.

Попыткой устранить данный недостаток является переход к измерению магнитного поля сердца и головного мозга. Соответствующие приборы получили названия магнитокардиограф и магнитоэнцефалограф. Эти приборы регистрируют поля биотоков, протекающих непосредственно в исследуемых органах – сердце и головном мозге. Таким образом, можно ожидать повышения информативности результатов измерения по сравнению с регистрацией электрических потенциалов на поверхности организма.

Цену усилий, предпринимаемых в попытках измерить биомагнитные поля, можно оценить хотя бы по тому факту, что, как теперь известно, магнитное поле сердца человека составляет примерно миллионную часть МПЗ, а магнитное поле мозга еще в 100 раз слабее. Сравнение с МПЗ необходимо потому, что именно МПЗ (в частности его переменные составляющие) является помехой при измерении биомагнитных полей. Таким образом, для записи магнитокардиограммы (МКГ) и магнитоэнцефалограммы (МЭГ) необходимо, во-первых, создать очень чувствительный датчик, а, во-вторых, осуществить подавления помехового воздействия МПЗ.

Особый интерес представляет измерение магнитного поля мозга, поскольку это открывает путь к изучению особенностей работы различных отделов мозга, оценки психоэмоционального состояния человека, диагностике заболеваний мозга. На этом пути приходится преодолевать и наибольшие трудности в связи с ничтожно малым уровнем измеряемого магнитного поля. На рис.32 приведена запись МЭГ, из которой амплитуда сигнала МЭГ может быть оценена как  $5 \cdot 10^{-12}$  Тл или примерно  $4 \cdot 10^{-6}$  А/м.

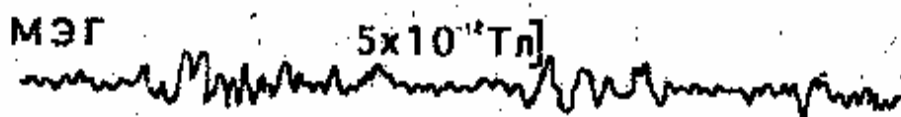


Рис. 32. Типичный вид МЭГ.

Можно констатировать, что задача измерения магнитного поля мозга в настоящее время находится на переднем крае научно-технических и технологических достижений в области измерения параметров ЭМП. Для измерения магнитного поля мозга используются сверхпроводниковые

квантовые интерференционные датчики (СКВИД-магнитометры), использующие эффект квантования магнитного потока и требующие для своей работы обеспечения сверхнизких температур. Для этого датчики помещаются в жидкий гелий.

Проблема борьбы с помехами от МПЗ, которая ранее решалась методами экранирования, не очень эффективными на низких частотах, в последнее время решается совсем иным путем: на основе магнитометров были созданы приборы, измеряющие пространственную производную магнитного поля, т.е. градиентометры. Такие приборы чувствительны лишь к магнитным полям, амплитудная структура которых сильно зависит от координат. Пространственная же производная практически однородного магнитного поля Земли, включая его переменную составляющую, близка к нулю. Иными словами, градиентометр чувствителен лишь к магнитным полям от близко расположенных источников магнитного поля, пространственная структура которых быстро изменяется от точки к точке, т.е. эффективно реагирует только на магнитное поле мозга.

Магнитоэнцефалографы в настоящее время уже реализованы в виде промышленно выпускаемых установок, предлагаемых на рынке. Например, на сайте компании Neuromag's Ltd. (Финляндия) представлена система записи МЭГ (рис.33), включающая 102 измерительных модуля, размещаемых в шлеме – герметичной полусфере, заполненной жидким гелием. Каждый модуль состоит из четырех планарных магнитометров, выполненных с использованием технологии напыления витков, расположенных крестообразно. Магнитометры могут подключаться попарно встречно, что позволяет измерить две пространственных производных магнитного поля. Усреднение сигналов всех четырех магнитометров позволяет измерить компонент вектора напряженности магнитного поля. Общее число измерительных каналов составляет, таким образом, 306.

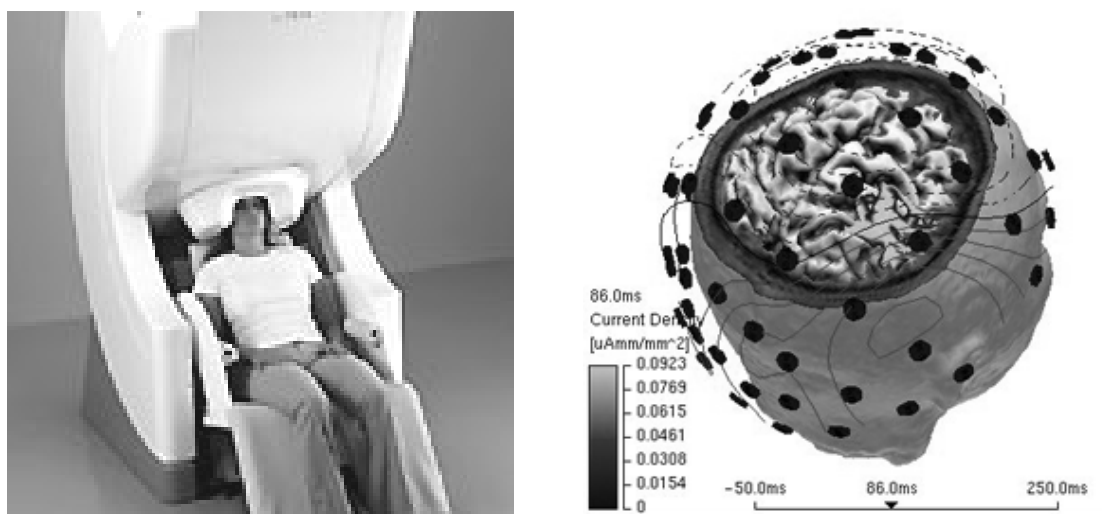


Рис. 33. Установка для записи МЭГ и расположение измерительных модулей вокруг головы пациента.

Столь большое число измерительных каналов объясняется необходимостью решения по результатам измерений обратной квазистатической задачи по

определению параметров источника магнитного поля. При этом чаще других используется дипольная модель источника, хотя возможна интерпретация поля и как результат действия нескольких дипольных источников.

### ***Вопросы для самопроверки по разделу 3:***

1. В чем состоит отличие задач экологического мониторинга ЭМП и радиоразведки?
2. Что является ограничением для применения пассивных индукционных преобразователей при измерении низкочастотных магнитных полей?
3. Какие виды преобразователей могут использоваться для измерения постоянного магнитного поля?
4. Перечислите основные типы измерительных антенн.
5. Приведите примеры приборов, реализующих метод непосредственной оценки при измерении параметров магнитного поля и радиоволны.
6. Приведите пример прибора, реализующего метод прямого сравнения при измерении параметров магнитного поля.
7. Опишите принцип действия компаратора одновременного сравнения.
8. Как называется прибор, обеспечивающий поиск сигнала по частоте?
9. Каковы преимущества и недостатки беспойского метода определения частоты неизвестного сигнала?
10. Как реализуется беспойсковый метод определения направления на источник излучения?
11. Какова цель использования анализаторов спектра в радиоразведке?
12. Что такое радиопеленг?
13. Как можно определить пеленг на источник излучения при использовании двух ненаправленных антенн?
14. Как устроен слуховой радиопеленгатор по минимуму сигнала?
15. Что представляет собой электрокардиограмма, каковы параметры сигнала, записанного на ней?
16. Чем обусловлено стремление перейти от регистрации электрических к магнитным полям при исследовании ЭМП организма человека?
17. Что представляет собой магнитоэнцефалограмма, каковы параметры сигнала, записанного на ней?

### **Заключение**

Освоение в рамках данной дисциплины экологического подхода к разработке радиоэлектронной аппаратуры будет полезным в практической работе радиоинженера. Учет возможного вредного влияния ЭМП на окружающую среду и, в частности, человека на стадиях проектирования и эксплуатации радиотехнических объектов позволит избежать возможного электромагнитного загрязнения окружающей среды.

В результате изучения данной дисциплины будет сформирована экологическая культура использования радио- и электронной аппаратуры, а также другой техники в бытовых условиях. Полученные знания позволят рационально разместить технику в квартире, оценить влияние

близкорасположенных внешних источников ЭМП (ЛЭП, базовых станций) на электромагнитную обстановку в жилом помещении. Наконец, может быть сформировано разумное отношение к использованию сотового телефона.

Кроме того, изученный материал поможет вам при написании раздела по обеспечению безопасности жизнедеятельности в дипломном проекте, посвященном разработке любого радиотехнического устройства.

### **Глоссарий (краткий словарь основных терминов и положений)**

*Антропогенный объект* – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

*Биотропный параметр ЭМП* – параметр ЭМП, существенный для определения степени его воздействия на организм человека.

*Благоприятная окружающая среда* – окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов.

*Выброс* – загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами.

*Информационное воздействие* – вид воздействия низкочастотных ЭМП, связанный с нарушением электромагнитной сигнализации организма и внешней среды, выработанной за период эволюции человечества.

*Ионизирующее воздействие* – вид воздействия ЭМП (радиации), связанный с разрушением живой клетки квантом ЭМП, обладающим достаточной энергией.

*Качество окружающей среды* – состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью.

*Клеточные элементы крови* – лейкоциты, тромбоциты и эритроциты.

*Магнитная буря* – хаотическое изменение амплитуды магнитного поля Земли в пределах 1% основного поля, вызванное взаимодействием потока заряженных частиц, идущего от Солнца, и магнитосферы Земли.

*Магнитное поле Земли* – собственное магнитное поле планеты Земля, генерируемое внутренними источниками и имеющее дипольную структуру.

*Магнитное склонение* – угол между географическим и магнитным меридианами в точке земной поверхности.

*Металлотерапия* – методика лечения, основанная на использовании магнитного поля постоянного магнита.

*Мировые грозы* – суммарное ЭМП в некоторой точке, представляющее собой суперпозицию ЭМП всех грозовых процессов, протекающих в данный момент в атмосфере Земли.

*Население* – все люди за исключением работников предприятий, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП.

*Обратная задача электродинамики* – определение параметров источников по результатам измерения компонентов электрического и магнитного полей.

*Панорамный приемник* – устройство, реализующее метод последовательного поиска неизвестного сигнала по частоте.

*Пеленгация* – определение направления на некоторый объект из точки наблюдения.

*Персонал* – работники предприятий, профессионально связанные с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП.

*Природно-антропогенный объект* – природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение;

*Природный объект* – естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства;

*Радиоразведка* – извлечение полезных сведений об интересующих объектах в результате анализа созданных ими ЭМП.

*Радиоэкология* – это наука о взаимных влияниях организма (человека, животного или растения) как электромагнитной системы и окружающей электромагнитной среды.

*Сброс* – загрязнение водной среды вредными веществами.

*Суперпозиция* – наложение нескольких ЭМП при их одновременном действии.

*Тепловое воздействие* – вид воздействия ЭМП радиочастот, связанный с протеканием индукционных токов в проводящих тканях организма человека, вызванных действием внешнего ЭМП.

*УВЧ-терапия* – методика лечения, основанная на воздействии на организм больного энергией электромагнитных колебаний с длиной волны от 1 до 10 м.

*Экологическая экспертиза* – установление соответствия документов, обосновывающих намечаемую хозяйственную и иную деятельность, экологическим требованиям, установленным законодательством в области охраны окружающей среды, в целях предотвращения негативного воздействия такой деятельности на окружающую среду.

*Экологический контроль* – наблюдение за состоянием природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности.

*Электро- и магнитокардиограмма* – запись электрического потенциала (напряженности магнитного поля) как функции времени, генерируемого в результате деятельности сердца.

*Электро- и магнитоэнцефалограмма* – запись электрического потенциала (напряженности магнитного поля) как функции времени, генерируемого в результате деятельности головного мозга.

*Электромагнитная обстановка* – совокупность электромагнитных процессов в данной области пространства в частотном и временном диапазонах.

*Эффект Джозефсона* – эффект квантования магнитного потока в сверхпроводнике.

### 3.3. Учебное пособие

В качестве учебного пособия рекомендуется использовать [1, 2].

### 3.4. Методические указания к проведению практических занятий

Практические занятия состоят в решении ряда расчетных задач. Задания на практические занятия студент получает у преподавателя, либо на учебном сайте СЗТУ. Студенты, обучающиеся с применением элементов ДОТ, выполняют задания практических занятий на учебном сайте СЗТУ.

По теме 1.4. (Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиоэкологии) на практическом занятии №1 решаются обратные задачи магнитостатики по определению местоположения источника электромагнитного загрязнения дипольной модели. По теме 2.3 (Экологическая экспертиза и экологический контроль) на практическом занятии №2 проводятся расчеты уровней ЭМП, создаваемого стандартными бытовыми и промышленными источниками, оценивается состояние окружающей среды в бытовых условиях при действии нескольких источников загрязнения.

Для подготовки к практическим занятиям следует изучить соответствующие разделы опорного конспекта.

На практических занятиях дополнительно может проводиться измерение уровня магнитного поля промышленной частоты в учебной аудитории.

## 4. Блок контроля освоения дисциплины

### 4.1. Общие указания

Блок контроля освоения дисциплины включает:

➤ ***Задание на контрольную работу и методические указания к выполнению контрольной работы***

По дисциплине предусмотрено выполнение одной контрольной работы. Контрольная работа содержит задачи, относящихся к вопросам анализа электромагнитных полей для целей радиоэкологии, проведения экологической экспертизы объектов-источников электромагнитного поля, а также к общим вопросам нормирования вредного воздействия на окружающую среду. Порядок выбора индивидуальных заданий приводится в разделе «Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению».

➤ ***Блок тестов текущего контроля***

Приводятся три тренировочных теста текущего контроля по разделам 1, 2 и 3 дисциплины. Для самоконтроля правильности ответов на стр. 114 приведены ответы на вопросы тренировочных тестов.

После завершения работы с тренировочным тестом студент получает аналогичный контрольный тест. Время ответа и число попыток ответа для контрольного теста ограничены.

➤ ***Блок итогового контроля***

Изучение дисциплины завершается сдачей экзамена. Вопросы для подготовки к экзамену приведены в данном разделе.

Для студентов, обучающихся с применением ДОТ, допускается сдача экзамена по результатам общего контролирующего теста по дисциплине. Общий контролирующий тест по дисциплине сформирован из вопросов тестов по разделам дисциплины и содержит 30 заданий.

#### 4.2. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению

Контрольная работа состоит из шести задач. Выбор варианта в каждой задаче осуществляется по последней цифре шифра студента. Для решения всех задач приведены необходимые теоретические сведения.

**Задача 1.** Определить местоположение источника электромагнитного загрязнения при следующих условиях (рис. 34):

- источник – магнитный диполь с неизвестным магнитным моментом  $M$ ;
- источник работает на частоте  $f=50$  Гц;
- поляризация магнитного момента источника вертикальная;
- источник и датчики магнитного поля расположены в горизонтальной плоскости;
- магнитные оси датчиков ориентированы вертикально;
- координаты датчиков в системе координат, связанной с датчиками: датчик №1 –  $(0, 0)$ , датчик №2 –  $(0, 4)$ , датчик №3 –  $(2, -2)$ ;
- напряжения на выходах датчиков приведены в табл. 6.

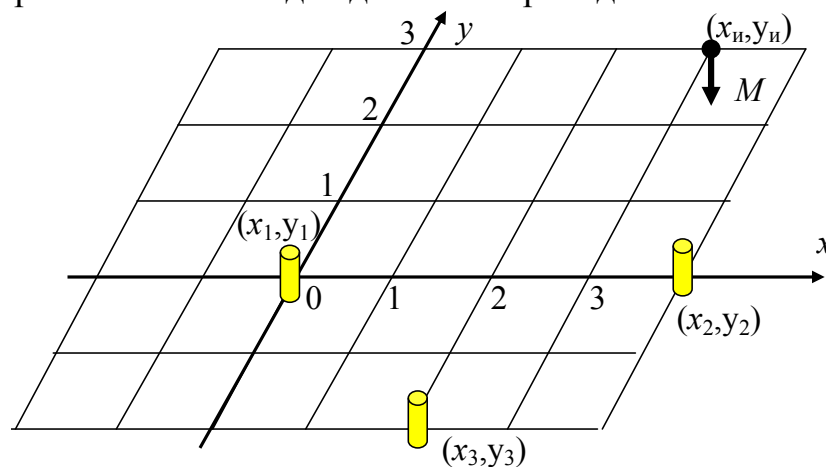


Рис. 34. Постановка обратной задачи.

Таблица 6

№ варианта	Результаты измерений, мкВ		
	$U_1$	$U_2$	$U_3$
1.	2,52	0,40	0,40
2.	1,24	0,44	0,31
3.	0,60	0,40	0,23
4.	0,89	0,89	0,37
5.	0,26	0,35	0,15
6.	0,44	1,24	0,31
7.	0,23	0,60	0,18
8.	0,21	0,37	0,14
9.	0,40	0,60	0,23
0.	0,31	0,31	0,16



**Пример решения задачи 1.** Пусть результаты измерения равны  $U_1= 1,04$  мкВ,  $U_2= 2,52$  мкВ,  $U_3= 0,60$  мкВ.

Используем формулу для расчета напряженности магнитного поля  $H$ , созданного в плоскости  $xoy$  дипольным источником с вертикальной поляризацией магнитного момента

$$H_i = \frac{M}{4\pi(x_i^2 + y_i^2)^{3/2}} \quad (1)$$

где  $i$  – номер датчика.

При заданном на рис. 34 варианте взаимного расположения датчиков результаты измерений определяются по формулам:

$$\begin{aligned} U_1 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi(x_{\text{и}}^2 + y_{\text{и}}^2)^{3/2}} \\ U_2 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi[(x_{\text{и}} - 4)^2 + y_{\text{и}}^2]^{3/2}} \\ U_3 &= k_{\text{пр}} \frac{M}{4\pi[(x_{\text{и}} - 2)^2 + (y_{\text{и}} + 2)^2]^{3/2}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $(x_{\text{и}}, y_{\text{и}})$  – неизвестные координаты источника в системе координат, связанной с датчиками;  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент преобразования датчика [В·м/А].

Чтобы исключить из уравнений (2) неизвестный параметр – модуль магнитного момента источника, составим два отношения

$$\begin{aligned} \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^{2/3} &= \frac{x_{\text{и}}^2 + y_{\text{и}}^2}{(x_{\text{и}} - 4)^2 + y_{\text{и}}^2} \\ \left(\frac{U_3}{U_1}\right)^{2/3} &= \frac{x_{\text{и}}^2 + y_{\text{и}}^2}{(x_{\text{и}} - 2)^2 + (y_{\text{и}} + 2)^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Подставив вместо  $U_i$  в (3) результаты измерений (студенты должны использовать данные из табл. 6), получим систему двух уравнений (4) с двумя неизвестными координатами источника магнитного поля

$$\begin{cases} \frac{x_{\text{и}}^2 + y_{\text{и}}^2}{(x_{\text{и}} - 4)^2 + y_{\text{и}}^2} = 1,80 \\ \frac{x_{\text{и}}^2 + y_{\text{и}}^2}{(x_{\text{и}} - 2)^2 + (y_{\text{и}} + 2)^2} = 0,69 \end{cases} \quad (4)$$

Приводим каждое из уравнений к общему знаменателю. После несложных преобразований получим

$$\begin{cases} 0,80x_{\text{и}}^2 + 0,80y_{\text{и}}^2 - 14,4x_{\text{и}} + 28,8 = 0 \\ 0,31x_{\text{и}}^2 + 0,31y_{\text{и}}^2 + 2,76x_{\text{и}} - 2,76y_{\text{и}} - 5,52 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Умножим первое из уравнений (5) на коэффициент равный (0,31/0,8) и вычтем из первого уравнения второе. Получим

$$-8,34x_{\text{и}} + 2,76y_{\text{и}} + 16,68 = 0,$$

откуда

$$y_{и} = 3x_{и} - 6. \quad (6)$$

Подставим полученное выражение (6) в первое уравнение системы (5). Получим уравнение относительно  $x_{и}$

$$0,8x_{и}^2 + 7,2x_{и}^2 - 28,8x_{и} + 28,8 - 14,4x_{и} + 28,8 = 0$$

или, после преобразований,

$$8x_{и}^2 - 43,2x_{и} + 57,6 = 0,$$

которое имеет два решения  $x_{и} = 3$  и  $x_{и} = 2,4$ . Соответственно из (6)  $y_{и} = 3$  и  $y_{и} = 1,2$ . Таким образом, получено одно верное решение для координат источника – (3, 3), которое соответствует положению источника магнитного поля на рис. 34, и одно ложное решение – (2,4, 1,2). Наличие ложного решения весьма характерно для обратных задач вообще и для обратных задач электродинамики в частности. Ложное решение может быть отброшено при наличии априорной информации о положении источника магнитного поля.

**Задача 2.** В жилом доме действуют несколько неблагоприятных факторов виды и интенсивность которых приведены в табл. 7. Указаны доли ПДУ (ПДК) для неэлектромагнитных типов загрязнений и непосредственно уровни для электромагнитных загрязнений. Определить, является ли среда благоприятной.

Таблица 7

№ варианта	Концентрация химического загрязнения, в долях ПДК	Уровень шума, в долях ПДУ	Плотность потока мощности ЭМП на частоте 900 МГц, мкВт/см <sup>2</sup>	Напряженность ЭП на частоте 50 Гц, В/м	Напряженность МП на частоте 50 Гц, А/м
1.	0,5	0,6	6	200	-
2.	0,4	0,2	7	-	4
3.	0,5	0,4	-	300	6
4.	0,6	0,5	5	100	5
5.	0,7	0,3	3	150	4
6.	0,3	0,4	6	-	7
7.	0,5	0,5	-	350	4
8.	0,4	0,3	8	200	-
9.	0,2	0,2	9	100	3
0.	0,3	0,4	7	200	5

**Указание к решению задачи 2.** При определении суммарного действия нескольких источников загрязнения (независимо от вида загрязнения) действие каждого из источников учитывается в долях соответствующего ПДУ (ПДК), а суммирование производится в квадратичном смысле (аналогично суммированию независимых шумов):

$$\alpha = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i}{A_{i \text{ ПДУ}}} \right)^2}$$

где  $A_i$  – уровень  $i$ -го вредного воздействия,  $A_{i \text{ ПДУ}}$  – ПДУ этого воздействия.

При выполнении условия  $\alpha > 1$  среда является неблагоприятной.

**Задача 3.** Рассматривается задача определения допустимой продолжительности работы персонала в ЭМП, которая определяется исходя из норматива энергетической экспозиции. В табл. 8 указаны частотный диапазон, интенсивность и длительность воздействия ЭМП, величина норматива энергетической экспозиции соответствующего параметра ЭМП, а также формулировка задания.

Таблица 8

№ вар.	Частота	Вид электромагнитного загрязнения	Норматив по энергетической экспозиции (ЭЭ)	Длительность нахождения в ЭМП	Задание
1.	100 кГц	$E = 500$ В/м	$\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}}} = 20000$ $(\text{В/м})^2 \cdot \text{час}$	1 час	Можно ли работать заданное время?
2.	40 МГц	$E = 80$ В/м	$\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}}} = 800$ $(\text{В/м})^2 \cdot \text{час}$	-	Сколько времени можно работать?
3.	400 МГц	ППЭ* = 500 мкВт/см <sup>2</sup>	$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}} = 200$ $(\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{час}$	-	Сколько времени можно работать?
4.	50 Гц	$E = 10$ кВ/м	- **	-	Сколько времени можно работать?
5.	50 Гц	$E = 20$ кВ/м	- **	30 мин.	Можно ли работать заданное время?
6.	500 кГц	$H = 20$ А/м	$\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПДУ}}} = 200$ $(\text{А/м})^2 \cdot \text{час}$	45 мин.	Можно ли работать заданное время?
7.	50 МГц	$H = 0,5$ А/м	$\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПДУ}}} = 0,72$ $(\text{А/м})^2 \cdot \text{час}$	-	Сколько времени можно работать?
8.	900 МГц	ППЭ = 1000 мкВт/см <sup>2</sup>	$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}} = 200$ $(\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{час}$	-	Сколько времени можно работать?
9.	30 кГц	$E = 50$ В/м	$\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}}} = 20000$ $(\text{В/м})^2 \cdot \text{час}$	8 час	Можно ли работать заданное время?
0.	100 кГц	$H = 10$ А/м	$\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПДУ}}} = 200$ $(\text{А/м})^2 \cdot \text{час}$	3 часа	Можно ли работать заданное время?

\* - ППЭ – плотность потока энергии;

\*\* - допустимое время  $T$  в часах пребывания в таком электрическом поле определяется по формуле  $T = (50/E) - 2$ , где  $E$  - напряженность поля, кВ/м.

**Указание к решению задачи 3.** При необходимости следует обратиться к п. 2.2.2 опорного конспекта.

**Задача 4.** Проверить выполнение норматива по интенсивности ЭМП, создаваемого базовой станцией (БС) системы сотовой связи в точке  $M$  на верхнем этаже жилого дома (рис. 35) на частоте  $f = 900$  МГц. Параметры БС и расположения источника излучения и точки  $M$  приведены в табл. 9.

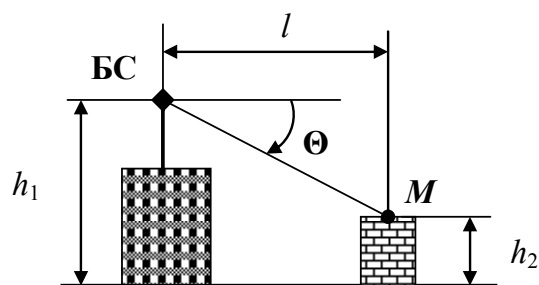


Рис. 35. Взаимное положение базовой станции и жилого помещения.

Таблица 9

№ варианта	Мощность $P_{БС}$ , Вт	Диаграмма направленности в вертикальной плоскости *	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$l$ , м
1.	20	$G(\Theta)=2\cos^2\Theta$	20	15	30
2.	30	$G(\Theta)=(\pi/2)\cos\Theta$	25	15	20
3.	40	$G(\Theta)=2\cos^2(\Theta - \pi/20)$	30	20	30
4.	40	$G(\Theta)=(\pi/2)\cos(\Theta - \pi/20)$	20	10	20
5.	20	$G(\Theta)=2\cos^2(\Theta - \pi/15)$	25	10	30
6.	20	$G(\Theta)=(\pi/2)\cos(\Theta - \pi/15)$	30	15	20
7.	30	$G(\Theta)=2\cos^2\Theta$	30	10	30
8.	40	$G(\Theta)=(\pi/2)\cos\Theta$	20	20	20
9.	40	$G(\Theta)=2\cos^2(\Theta - \pi/20)$	25	20	30
0.	20	$G(\Theta)=(\pi/2)\cos(\Theta - \pi/20)$	30	25	20

\* - горизонтальное направление соответствует  $\Theta=0$ .

**Указание к решению задачи 4.** Для расчета плотности потока энергии  $|\vec{P}|$  следует применить формулу

$$|\vec{P}| = \frac{PG(\Theta)}{4\pi r^2},$$

где  $r$  – расстояние между БС и точкой наблюдения, и, далее, сравнить полученное значение с ПДУ плотности потока энергии для населения на частоте 900 МГц.

**Задача 5.** Проверить выполнение норматива по интенсивности ЭМП на частоте  $f=900$  МГц, создаваемого одновременно работающими  $N$  абонентскими станциями (АС) сотовой связи мощностью  $P_{АС}$  каждая, расположенными относительно точки наблюдения  $M$  как показано на рис. 36. Параметры расположения источников излучения приведены в табл. 10.

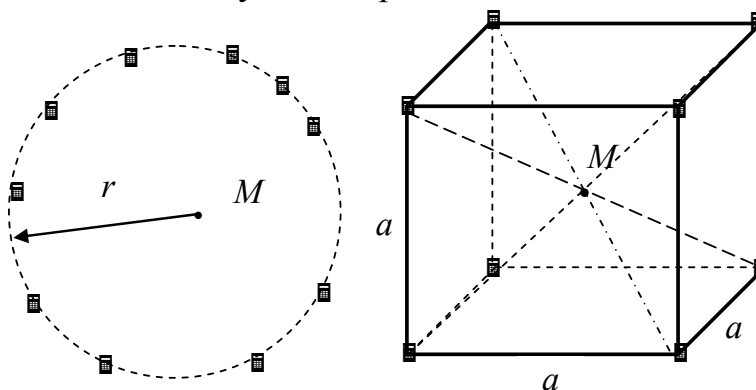


Рис. 36. Расположение сотовых телефонов – источников ЭМП.

Таблица 10

№ варианта	Вариант расположения	Число АС	Мощность $P_{АС}$ , Вт	$r$ , м	$a$ , м
1.	Круговое	10	0,20	8	-
2.	В вершинах куба	8	0,20	-	5
3.	Круговое	15	0,15	10	-
4.	В вершинах куба	6	0,25	-	6
5.	Круговое	20	0,15	7	-
6.	В вершинах куба	8	0,25	-	4
7.	Круговое	12	0,25	10	-
8.	В вершинах куба	6	0,25	-	4
9.	Круговое	20	0,10	5	-
0.	В вершинах куба	8	0,25	-	6

**Указание к решению задачи 5.** Для расчета плотности потока энергии  $|\vec{H}|$ , создаваемой одним источником следует применить формулу

$$|\vec{H}|_i = \frac{P_i}{4\pi r_i^2},$$

где  $r_i$  – расстояние между  $i$ -ой АС и точкой наблюдения. Суммарное действие нескольких однотипных источников определяется в квадратичном смысле:

$$|\vec{H}|_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N (|\vec{H}|_i)^2}$$

Полученное значение плотности потока энергии следует сравнить с ПДУ для населения на частоте 900 МГц.

**Задача 6.** Проверить выполнение норматива по напряженности магнитного поля для населения на частоте  $f = 50$  Гц, создаваемого ЛЭП, проходящей в жилом квартале, в точке  $M$  (рис. 37). Параметры ЛЭП и расположения точки  $M$  относительно ЛЭП приведены в табл. 11.

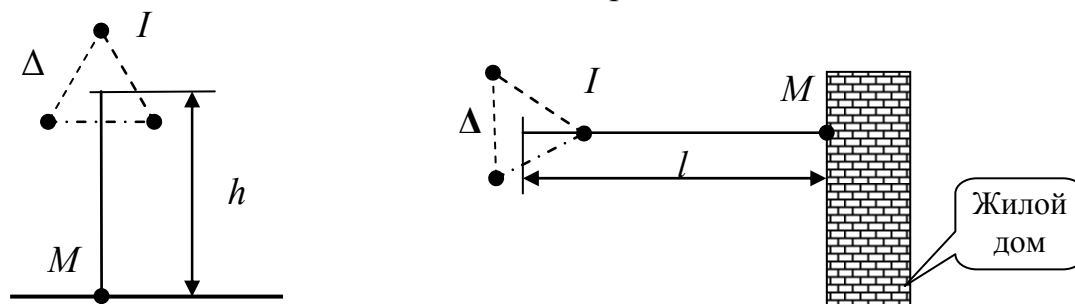


Рис. 37. Взаимное расположение проводов ЛЭП и точки наблюдения.

Таблица 11

№ варианта	Вариант расположения точки $M$	Ток в проводах ЛЭП, А	$\Delta$ , м	$h, l$ , м
1.	Под ЛЭП	2000	7	10
2.	На уровне проводов ЛЭП	2000	7	30
3.	Под ЛЭП	1000	5	8

4.	На уровне проводов ЛЭП	1000	5	20
5.	Под ЛЭП	2000	8	12
6.	На уровне проводов ЛЭП	2000	10	25
7.	Под ЛЭП	1000	4	8
8.	На уровне проводов ЛЭП	1000	4	20
9.	Под ЛЭП	500	5	5
0.	На уровне проводов ЛЭП	500	5	15

**Указание к решению задачи 6.** Поскольку токи в проводах ЛЭП сдвинуты по фазе на  $120^\circ$ , точный расчет напряженности магнитного поля затруднен. Следует провести приближенный расчет, заменив предварительно три провода ЛЭП эквивалентной двухпроводной линией (рис. 38).

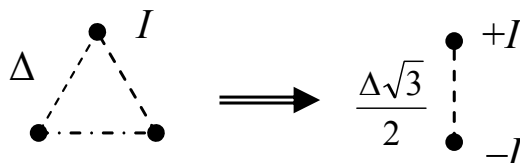


Рис. 38. Модель ЛЭП для упрощенного расчета ЭМП.

Расчет напряженности магнитного поля одиночного бесконечно длинного проводника с током производится по формуле

$$H = \frac{I}{2\pi r},$$

где  $r$  – расстояние между проводом и точкой наблюдения.

### 4.3. Текущий контроль

#### Тренировочные тесты

#### Тест № 1 (по разделу 1)

- Тип воздействия ЭМП с частотой  $f = 1$  Гц на живые клетки организма человека носит название**
  - Ионизирующий.
  - Информационный.
  - Тепловой.
  - Радиационный.
- Интенсивность теплового воздействия ЭМП на организм человека определяется**
  - Только частотой ЭМП.
  - Амплитудой и частотой ЭМП.
  - Только амплитудой ЭМП.
  - Частотой ЭМП и видом модуляции сигнала.
- Источник ЭМП, расположенный на расстоянии 10 м от точки наблюдения находится**
  - В дальней зоне.
  - В промежуточной зоне.
  - В ближней зоне.
  - Вблизи от точки наблюдения.
- Постоянная составляющая магнитного поля Земли составляет**
  - Единицы А/м.
  - Десятки А/м.
  - Сотни А/м.
  - Десятые доли А/м.
- Геомагнитная буря на Земле, возникающая после вспышки на Солнце,**

**является следствием**

- A. Электромагнитного импульса. В. Ударной волны.  
C. Выброса заряженных частиц. D. Светового излучения.

**6. Описывая ЭМП в ближней зоне, можно отметить следующее его свойство:**

- A. ЭМП представляет собой волну.  
B. Векторы электрического и магнитного полей синфазны.  
C. Векторы электрического и магнитного полей сдвинуты на угол  $\pi/2$ .  
D. Амплитуды векторов электрического и магнитного полей связаны соотношением  $E/H = 120 \pi$  Ом.

**7. Автором гипотезы об информационном воздействии ЭМП на организм человека является**

- A. Чижевский. В. Вернадский. C. Максвелл. D. Шеннон.

**8. Современная электромагнитная биология отвечает на вопрос о вреде пользования мобильным телефоном следующим образом:**

- A. Пользование мобильным телефоном опасно для здоровья.  
B. Пользование мобильным телефоном безопасно для здоровья.  
C. Пользование мобильным телефоном опасно для здоровья только в сочетании с другими вредными воздействиями на организм человека.  
D. Не существует научно обоснованных доказательств вреда, связанного с использованием мобильного телефона.

**9. В ближней зоне существует понятие «тип источника» ЭМП (электрический или магнитный). Поэтому при контроле электромагнитного загрязнения окружающей среды**

- A. Необходимо переместиться в дальнюю зону.  
B. Необходимо контролировать по отдельности величину электрического и магнитного полей.  
C. Необходимо контролировать только величину электрического поля.  
D. Необходимо контролировать только величину магнитного поля.

**10. Сущность обратной задачи электродинамики состоит в**

- A. Определении параметров источника ЭМП по результатам измерения ЭМП в одной или нескольких точках пространства.  
B. Определении величин, обратных напряженностям электрического и магнитного полей:  $1/E$  и  $1/H$ .  
C. Решении уравнений Максвелла.  
D. Расчете ЭМП по заданным параметрам источников ЭМП.

### **Тест № 2 (по разделу 2)**

**1. Магнитное поле Земли является**

- A. Природным объектом. В. Природно-антропогенным объектом.  
C. Антропогенным объектом. D. Компонентом природной среды.

**2. СанПиН «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» регламентирует уровни ЭМП в частотном диапазоне**

- A. 30 кГц – 300 ГГц.                      В. 3,0 Гц – 300 ГГц.  
 С. 300 МГц – 300 ГГц.                    D. КВ и УКВ.
- 3. ПДУ по плотности потока энергии для населения на частоте 900 МГц составляет**
- A. 10 мкВт/см<sup>2</sup>.      В. 5 мкВт/см<sup>2</sup>.      С. 10 мВт/см<sup>2</sup>.      D. 1000 мкВт/см<sup>2</sup>.
- 4. С точки зрения установления ПДУ ЭМП выделены следующие категории людей:**
- A. Мужчины, женщины, дети.                      В. Взрослые и дети.  
 С. Население и персонал.                              D. Городские и сельские жители.
- 5. Единицей измерения энергетической экспозиции, создаваемой магнитным полем, является**
- A. [В<sup>2</sup> · час/м<sup>2</sup>].      В. [А<sup>2</sup> · час/м<sup>2</sup>].      С. [мкВт · час/см<sup>2</sup>].      D. [Вт/м<sup>2</sup>].
- 6. Учет совместного действия нескольких неблагоприятных факторов окружающей среды проводится следующим образом:**
- A. Проверяется условие превышения ПДУ отдельно по каждому фактору.  
 В. Складываются доли соответствующих ПДУ по каждому из факторов и сумма сравнивается с единицей.  
 С. Складываются квадраты долей соответствующих ПДУ по каждому из факторов и сумма сравнивается с единицей.  
 D. ПДУ по отдельным факторам корректируются в зависимости от присутствия других факторов.
- 7. ПДУ по энергетической экспозиции электрического поля на частоте 40 МГц для персонала составляет 800 В<sup>2</sup>·час/м<sup>2</sup>. Следовательно, в поле с напряженностью 20 В/м можно находиться**
- A. 8 часов.                      В. 4 часа.                      С. 2 часа.                      D. 1 час.
- 8. При описании качества окружающей среды в данном помещении с электромагнитной точки зрения можно сказать:**
- A. Уровни всех полей и излучений ниже соответствующих ПДУ.  
 В. В помещении наблюдается неблагоприятная окружающая среда.  
 С. В помещении наблюдается благоприятная окружающая среда.  
 D. На частоте 50 Гц напряженность электрического поля равна  $E=100$  В/м, плотность потока энергии на частоте 900 МГц равна 3 мкВт/см<sup>2</sup> и т.д..
- 9. Сравнивая понятия «экологическая экспертиза» и «экологический контроль» можно сказать, что**
- A. Понятие «экологический контроль» более широкое, включает понятие «экологическая экспертиза».  
 В. Понятие «экологическая экспертиза» более широкое, включает понятие «экологический контроль».  
 С. Это эквивалентные понятия.  
 D. Это разные понятия.
- 10. Методом определения параметров ЭМП при экологической экспертизе является**





С. Измерить соотношение амплитуд сигналов в антеннах.

Д. Измерить разность частот сигналов в антеннах.

**9. Спектр электрокардиограммы человека занимает полосу частот**

А. 0,1 – 1,0 Гц.      В. 1,0 – 5,0 Гц.      С. 0,01 – 0,1 Гц.      Д. 5,0 – 20 Гц.

**10. Для реализации магнитоэнцефалографии не требуется**

А. Создавать датчика магнитного поля с очень высокой чувствительностью.

В. Подавлять помехи, вызванных действием магнитного поля Земли.

С. Обрабатывать результаты, полученные с помощью многоканальной магнитоизмерительной аппаратуры.

Д. Устанавливать качественный контакт магнитного датчика с кожной поверхностью.

**Ответы на вопросы тренировочных тестов**

№ теста	Раздел	Номера вопросов / Номера правильных ответов										
		Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1	Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Ответ	B	B	D	B	C	C	B	D	B	A
2	Раздел 2	Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Ответ	A	A	A	C	B	C	C	D	D	B
3	Раздел 3	Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Ответ	A	D	B	B	D	B	C	B	B	D

**4.4. Итоговый контроль**

**Вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Радиоэкология»**

1. Структура научных, технических и правовых задач радиоэкологии.
2. Исторические этапы развития радиоэкологии.
3. Классификация видов воздействия ЭМП на организм человека.
4. Механизм и характеристики ионизирующего воздействия ЭМП на организм человека.
5. Механизм и характеристики теплового воздействия ЭМП на организм человека.
6. Механизм и характеристики информационного воздействия ЭМП на организм человека.
7. Электрические, магнитные и электромагнитные поля естественного происхождения.
8. Основные характеристики магнитного поля Земли, магнитные бури и механизм их возникновения.
9. Источники электрических, магнитных и электромагнитных полей антропогенного происхождения.
10. Теория В.И. Вернадского о роли естественного ЭМП в процессе эволюции жизни на Земле.
11. Влияние ЭМП на различные системы организма человека.
12. Учет структуры ЭМП в ближней, промежуточной и дальней зонах при решении задач радиоэкологии.

13. Универсальная модель ЭМП.
14. Постановка и решение обратной задачи электродинамики.
15. Основные понятия закона «Об охране окружающей среды».
16. Принципы охраны окружающей среды в Российской Федерации.
17. Принципы, основные задачи и виды экологической экспертизы, порядок проведения государственной экологической экспертизы.
18. Экологическая экспертиза радиотехнических объектов.
19. Основные задачи и виды экологического контроля.
20. Экологический контроль радиотехнических объектов.
21. Нормирование вредных воздействий на окружающую среду, понятие предельно допустимого уровня (концентрации).
22. Нормируемые параметры ЭМП для персонала и населения, их предельно допустимые уровни в различных частотных диапазонах.
23. Принцип «суперпозиции» применительно к нормированию качества окружающей среды.
24. Соотношение задач экологического мониторинга, электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и радиоразведки.
25. Понятия электромагнитной обстановки и радиочастотного ресурса.
26. Структура измерителя параметров ЭМП.
27. Типы измерителей электрического и магнитного полей.
28. Классификация методов измерений по способу сравнения измеряемой величины с единицей.
29. Типы преобразователей параметров ЭМП и их основные характеристики.
30. Измерители плотности потока мощности, их структура и особенности.
31. Компараторы как измерители напряженности ЭМП.
32. Последовательный и параллельный методы поиска источников излучений.
33. Принцип работы панорамного приемника.
34. Особенности панорамных приемников для ДВ, СВ и КВ диапазонов.
35. Беспойсковые методы обнаружения сигналов и измерения их несущей частоты.
36. Функциональная схема многоканального приемника.
37. Анализаторы спектра: принцип работы, функциональные схемы приборов последовательного и параллельного типа.
38. Радиопеленгаторы: классификация и принцип действия.
39. Человек как электромагнитная система: параметры электрических и магнитных полей сердца, головного мозга и других органов.
40. Измерение электрических и магнитных полей сердца и головного мозга.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ИНФОРМАЦИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1. Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2. Виды учебной работы</b> .....	<b>4</b>
1.2.1. Объем дисциплины и виды учебной работы .....	4
1.2.2. Перечень видов практических занятий и контроля .....	5
<b>2. РАБОЧИЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Рабочая программа</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Тематический план дисциплины</b> .....	<b>8</b>
2.2.1. Тематический план дисциплины для студентов очно- заочной формы обучения .....	8
2.2.2. Тематический план дисциплины для студентов заочной формы обучения .....	9
<b>2.3. Структурно-логическая схема дисциплины</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4. Временной график изучения дисциплины</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5. Практический блок</b> .....	<b>11</b>
2.5.1. Практические занятия (очно-заочная форма обучения) .....	11
2.5.2. Практические занятия (заочная форма обучения) .....	12
<b>2.6. Балльно-рейтинговая система оценки знаний</b> .....	<b>12</b>
<b>3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1. Библиографический список</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2. Опорный конспект</b> .....	<b>14</b>
Введение .....	14
Раздел 1. Теоретические основы радиоэкологии .....	20
1.1. Виды воздействия электромагнитного поля на организм человека .....	20
1.2. Электромагнитные поля в окружающей среде .....	25
1.3. Влияние электромагнитного поля на организм человека .....	32
1.4. Особенности анализа электромагнитных полей для решения задач радиоэкологии .....	41
Раздел 2. Правовые вопросы радиоэкологии .....	55
2.1. Законодательство Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды» .....	55
2.2. Нормирование электромагнитного загрязнения окружающей среды .....	65
2.3. Экологическая экспертиза и экологический контроль .....	70
Раздел 3. Электромагнитный мониторинг окружающей среды .....	77
3.1. Задачи электромагнитного мониторинга .....	77
3.2. Измерение параметров электромагнитного поля .....	80
3.3. Основные принципы и методы радиоразведки .....	90
3.4. Экспериментальные исследования электромагнитного поля человека .....	96
Заключение .....	100
Глоссарий .....	101

3.3. Учебное пособие .....	103
3.4. Методические указания к проведению практических занятий ...	103
<b>4. БЛОК КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>103</b>
4.1. Общие указания .....	103
4.2. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению .....	104
4.3. Текущий контроль .....	110
4.4. Итоговый контроль .....	114

Митрофанов Александр Михайлович

Радиоэкология

Учебно-методический комплекс

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2009 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 8.01.07.953.П.005641.11.03  
от 21.11.2003 г.

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16
Б.кн.-журн. П.л. Б.л.	Изд-во СЗТУ
Тираж	Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет  
Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации  
университетов России  
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.5