

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра общей гигиены, экологии  
и радиационной медицины**

**В. Н. БОРТНОВСКИЙ**

# **ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Учебно-методическое пособие  
для студентов 2, 3, курсов всех факультетов  
медицинских вузов**

**Гомель  
ГомГМУ  
2012**

УДК 613.168+574(07)

ББК 51.201+51.268

Б 82

**Рецензенты:**

кандидат биологических наук, доцент,  
заведующий кафедрой медицинской и биологической физики  
Гомельского государственного медицинского университета

***В. А. Игнатенко;***

заведующая лабораторией физических факторов  
Гомельского областного центра гигиены,  
эпидемиологии и общественного здоровья

***И. К. Власова***

**Бортновский, В. Н.**

Б 82 Эколого-гигиенические основы электромагнитной безопасности:  
учеб.-метод. пособие для студентов 2, 3 курсов всех факультетов меди-  
цинских вузов / В. Н. Бортновский. — Гомель: ГомГМУ, 2012. — 36 с.  
ISBN 978-985-506-456-6

В пособии представлены сведения об основных терминах, физической харак-  
теристике электромагнитных полей, статического электричества, лазерного излу-  
чения, их основных источниках в промышленности и медицине. С современных  
позиций рассматриваются различные аспекты биологического влияния неионизи-  
рующего излучения, гигиеническая регламентация при облучении персонала, ме-  
тоды измерения и расчета интенсивности излучений, изложены профилактиче-  
ские мероприятия и принципы защиты.

Пособие предназначено для студентов лечебного, медико-диагностического и  
факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран.

Утверждено и рекомендовано к изданию Центральным учебным научно-  
методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный  
медицинский университет» 28 июня 2012 г., протокол № 5.

УДК 613.168+574(07)

ББК 51.201+51.268

ISBN 978-985-506-456-6

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный  
медицинский университет», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Физические факторы электромагнитной природы .....	5
2. Электрические поля промышленной частоты.....	20
3. Электростатические поля .....	23
4. Магнитные поля .....	24
5. Электрический ток .....	27
6. Лазерное излучение.....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Многие годы считалось, что наибольшую опасность для человечества представляют ионизирующие излучения. Научные исследования последних десятилетий, не умоляя последствий от ионизирующих излучений, показывают, что электромагнитная радиация может оказаться столь же опасной для человеческой популяции, как и атомная. И если атомная радиация распространена лишь локально (в зонах хранения ядерных запасов, на атомных электростанциях и т. д.), то электромагнитная радиация распространяется повсеместно. Наибольшей опасности от электромагнитной радиации подвергается население крупных промышленных городов и районов.

Известно, что окружающая электромагнитная среда формируется из трех групп полей: а) поля естественного происхождения; б) собственных полей человека; в) полей, порождаемых его практической деятельностью. Между полями групп а) и б) многовековая связь, к которой человеческий организм адаптирован. Поля группы в) в десятки и сотни раз значительно перекрывает их частотный диапазон. Качественные и количественные характеристики электромагнитной среды, в которой протекает жизнедеятельность человека, подробно рассмотрены в современной литературе.

Несмотря на существенное снижение объема промышленного производства, энергопотребление остается на высоком уровне и вызывает значительную электромагнитную радиацию в среде обитания человека. Так, в домашних условиях человек подвержен воздействию электромагнитных приборов (например, от разветвленной системы электропроводки, электрической плиты, стиральной машины, кухонных электроприборов, телевизора, электроутюга, фена, радиотелефона и т. д.). Каждый из них излучает поле определенной интенсивности и частотного диапазона, но, взаимодействуя друг с другом, они создают суммарное поле, многократно превышающее уровни фоновых (естественных) электромагнитных полей по соответствующим частотам, к которым человеческий организм далеко не безразличен. К этому следует добавить и то обстоятельство, что стены помещений, как правило, содержат металлические конструкции, которые, являясь для электромагнитных полей экранами, приводят к его искажению. За последние годы бытовое потребление электрической энергии увеличилось за счет использования в быту новых многофункциональных приборов и устройств.

Если человек выходит из дома, то он может попасть под еще более значительную электромагнитную радиацию. Вдоль многих улиц города проходят высоковольтные линии электропередач, троллейбусные линии. Многочисленными экранами электромагнитных полей и одновременно проводящими электрический ток служат подземные коммуникации города (кабельные трассы, газовые и очистные трубопроводы), рельсовые пути, свалка металлолома и другие.

Не лучше обстоят дела и на рабочих местах, особенно если они связаны с энергоемкими производствами. Наряду с электромагнитными полями первоисточников (первичными), мы вынуждены считаться и с вторичными электромагнитными полями, возникающими в результате переизлучения, дифракций и интерференции. Существенно изменяется и частотный диапазон этих полей по сравнению с первичными полями. К существенному перераспределению полей приводят и не одинаковые по габаритам (высоте, площади и массе) городские строения, в каркасах которых содержится значительное количество электропроводящих и магнитопроводящих материалов. Следует учитывать и то обстоятельство, что электромагнитные параметры окружающей человека среды (электрическая проводимость, магнитная и электрическая проницаемости) изменяются под влиянием все той же производственной деятельности.

Все эти обстоятельства требуют от врачей умения оценивать возможное вредное воздействие различных видов неионизирующих излучений и проводить широкий комплекс профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья профессионалов и населения. Для этого они должны знать особенности биологического действия и регламентации неионизирующих излучений, методов и средств защиты от их воздействия. Все эти вопросы нашли отражение в настоящем пособии.

## **1. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ**

В современных условиях научно-технического прогресса в результате развития различных видов энергетики, промышленности в целом, физические факторы электромагнитной природы приобретают одно из ведущих мест в экологической значимости среди других факторов окружающей среды. Поэтому сейчас в полной мере можно говорить о так называемом электромагнитном «загрязнении», и эта проблема переходит в разряд глобальных, стоящих перед человечеством. В отличие от других факторов окружающей среды, электромагнитный фактор вследствие использования его физических свойств в производстве и быту невозможно заменить на какой-либо другой, менее вредный.

Проблема неблагоприятного влияния неионизирующих излучений на профессионалов, население и экосистемы приобрела в настоящее время исключительную актуальность. На современном этапе в систему жизнедеятельности человека вовлекается большое количество новых технологий, современных средств связи и информации, систем передвижения, обработки и анализа информации, средств дистанционного управления и т. п. Новые методы и средства диагностики и лечения, основанные на использовании современных физических принципов, широко внедряются в медицине. В этой обстановке все большее число людей подвергаются постоянному или фракционированному воздействию электромагнитного излу-

ния различной интенсивности и широкого диапазона частот, магнитных и электрических полей, включая лазерное излучение.

В целом общий фон физических факторов электромагнитной природы состоит из источников естественного (электрические и магнитные поля Земли, радиоизлучения Солнца и галактик) и искусственного (антропогенного) происхождения (радиотехнические объекты, телевизионные и радиостанции, линии электропередачи, электробытовая техника и другие).

Уровень естественного электромагнитного фона на несколько порядков ниже уровней электромагнитных полей, создаваемых антропогенными источниками. Хотя электромагнитные излучения космического, земного и околоземного пространства и играют определенную роль в организации жизненных процессов на Земле и в ряде случаев выявлялась их биологическая значимость, в рамках данного пособия будут рассматриваться физические поля электромагнитной природы только антропогенного происхождения. С этими полями каждый из нас сталкивается повседневно, как в быту, так и в процессе трудовой деятельности, они сопутствуют нашей жизни. Поэтому вполне правомочна постановка вопроса о создании так называемого «электромагнитного популяционного комфорта», оптимизации электромагнитных условий жизнедеятельности.

По своим физическим характеристикам и особенностям генераций физические поля электромагнитной природы можно сгруппировать и подразделить на электромагнитные излучения радиочастот и микроволн (ЭМИ РЧ и МКВ), электрические поля промышленной частоты (ЭП ПЧ), электростатические поля (ЭСП), магнитные поля (МП) и электрический ток (ЭТ), лазерное излучение.

### **1.1. Электромагнитные излучения радиочастот и микроволн**

Электромагнитное поле — это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами. ЭМП, являясь видом материи, обладает массой, энергией и импульсом, который перемещается в пространстве в виде электромагнитных волн. Кванты энергии ЭМП определенного диапазона частот очень низки и не способны вызвать ионизацию атомов и молекул веществ. Этот участок электромагнитного спектра от  $5 \times 10^{13}$  до  $10^{21}$  Гц представлен неионизирующим электромагнитным излучением. Распространение ЭМП осуществляется в виде электромагнитных волн.

Радиочастоты и микроволны (РЧ и МКВ) являются составной частью неионизирующего спектра электромагнитных излучений (ЭМИ) в частотном диапазоне от 30 кГц до 300 ГГц. Основными параметрами ЭМИ являются длина волны ( $\lambda$ ) и частота ( $f$ ), которая связана с длиной волны обратной зависимостью (для условий распространения волны в воздухе):

$$f = c/\lambda,$$

где  $c$  — скорость света, равная около  $3 \times 10^8$  м/с. Частоты колебаний ЭМИ измеряются в герцах (Гц): 1 килогерц (кГц) =  $10^3$  Гц, 1 мегагерц (МГц) =  $10^6$  Гц, 1 гигагерц (ГГц) =  $10^9$  Гц.

## 1.2. Источники

Источниками ЭМИ РЧ и МКВ, могущими создавать в местах проживания населения уровни излучения, превышающие естественный электромагнитный фон окружающей среды, являются: наземные радиолокационные станции (радарные установки), телевизионные и радиостанции, системы сотовой и мобильной связи, электробытовая аппаратура (микроволновые печи, экраны телевизоров, видеотерминалы персональных компьютеров) и ряд других.

## 1.3. Единицы измерений, методы, аппаратура

Поле РЧ и МКВ характеризуются тремя основными параметрами: напряженностью электрического поля ( $E$ ), напряженностью магнитного поля ( $H$ ) и плотностью потока энергии (ППЭ). Оценка интенсивности РЧ и МКВ различных диапазонов неодинакова. В диапазоне РЧ-излучения менее 300 МГц (по рекомендации Международной организации IRPA/INIRC «Международный комитет по неионизирующим излучениям Международной ассоциации по радиационной защите» — менее 10 МГц) интенсивность излучения выражается напряженностью электрической и магнитной составляющих и определяется в вольтах на метр (В/м) и амперах на метр (А/м). В диапазоне МКВ, т. е. выше 300 МГц интенсивность, или ППЭ выражается в ваттах на  $m^2$  (Вт/ $m^2$ ).

Электрическое поле от антенны имеет три зоны: ближнюю — зона индукции, или зона несформированной волны (имеется магнитная и электрическая составляющие); промежуточную, или интерференционную (происходит наложение магнитных и электрических полей) и дальнюю, или зону сформированной волны (таблица 1).

Таблица 1 — Определение зон излучения от различных типов антенн

Зоны излучения	Для параболических и круглых антенн	Для других типов антенн
Ближняя (Рб.з., м)	$R_{б.з.} = L^2/4\lambda$	$R_{б.з.} = L_1 \times L_2/4\lambda$
Промежуточная (Рп.з., м)	Размер зоны: $R_{п.з.} = R_{д.з.} - R_{б.з.}$	
Дальняя (Рд.з., м)	$R_{д.з.} = L^2/\lambda$	$R_{д.з.} = L_1 \times L_2/\lambda$

*Примечания:*  $L$  — диаметр антенны, м;  $L_1, L_2$  — горизонтальный и вертикальный размеры раскрыва антенны, м;  $\lambda$  — длина волны излучения, м.

Гигиеническая оценка электромагнитной обстановки должна начинаться с учета радиоизлучающих источников и их основных технических характеристик: количественный и качественный учет всех источников РЧ

и МКВ и их расположения, места возможных утечек, время работы излучателя или время нахождения человека вблизи работающего излучателя, излучаемая мощность (импульсная или средняя), коэффициент усиления антенны, площадь раскрытия антенны, диаграмма излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях, сектор обзора антенны и ее высота над поверхностью Земли. В контроль за гигиенической обстановкой РЧ и МКВ входит расчетное и инструментальное определение ППЭ.

Расчет интенсивности ЭМИ необходим для получения предварительных данных, дающих представление о степени соответствия уровня электромагнитного фона нормируемым величинам, в том числе и для более оперативного и целенаправленного инструментального анализа. Расчетный метод оценки применяется в основном от антенн. Методика проведения расчета для различных зон излучения представлена в таблице 2.

Таблица 2 — Метод проведения расчета ППЭ от неподвижных антенн

Зоны излучения	Для оси лепестка излучения	По краю лепестка излучения
Ближняя	$ППЭ = 3P_{ср.}/A$	$ППЭ = P_{ср.}/3A$
Промежуточная	$ППЭ = (3P_{ср.}/A) \times (R_{б.з.}/R)^2$	$ППЭ = P_{ср.} \times D/4\pi R^2$
Дальняя	$ППЭ = P_{ср.} \times D/4\pi R^2$	$ППЭ = 0,5P_{ср.} \times D/4\pi R^2$

Примечания: **ППЭ** — плотность потока энергии, Вт/м<sup>2</sup>; **P<sub>ср.</sub>** — средняя мощность станции, Вт; **A** — площадь раскрытия антенны, м<sup>2</sup>; **N** — скважность, усл.ед. (из паспорта станции); **R** — расстояние от антенны до определяемой точки, м; **D** — коэффициент усиления антенны, усл.ед. (из паспорта станции).

В случае отсутствия P<sub>ср.</sub>, D и N в паспорте станции, они определяются по формулам:

$$P_{ср.} = P_{имп.}/N;$$

$$D = 4\pi \times 0,7A/\lambda^2 = 8,8 \times A/\lambda^2;$$

T — период повторения импульсов, с;

$$N = T/t = (t + a)/t,$$

где **a** — длительность паузы между импульсами, с;

**t** — длительность импульса, с;

**P<sub>имп.</sub>** — импульсная мощность станции, Вт;

**λ** — длина волны излучения, м.

Измерения РЧ и МКВ являются основным методом экологического контроля. Технические характеристики применяемой аппаратуры представлены в таблицах 3, 4. Измерения проводятся не реже одного раза в год, а также при вводе в действие новых установок, внесении изменений в конструктивные особенности источников и их размещение, изменении режима излучения, после проведения ремонтных работ, сопровождающихся изменением излучаемой мощности, и внесении изменений в средства защиты от воздействия РЧ и МКВ.

Таблица 3 — Измерительная аппаратура, применяемая для гигиенической оценки ЭМИ РЧ

Тип прибора	Основные технические характеристики				Примечание
	диапазон частот излучения, МГц	пределы измерения	погрешность измерения	масса прибора, кг	
NFM-1 по Е-полю по Н-полю	0,6–350 0,1–30	2–1500 В/м 1–10 А/м	от +20 % до -10 %	2,0	Измерительный прибор напряженности ближнего поля
ПЗ-15 по Е-полю по Н-полю	0,01–300 0,01–30	1–3000 В/м 0,5–500 А/м	±(2–3) дВ	6,65	Широкополосный измеритель для измерения напряженности сильных полей вблизи источников. Комплект имеет 5 изотропных зондов
ПЗ-16 по Е-полю по Н-полю	0,01–300 0,01–30	1–1000В/м 0,5–16 А/м	±(2–3) дВ	6,65	Широкополосный измеритель для измерения среднеквадратических значений электрической и магнитной составляющих различных генераций вблизи мощных источников в открытом пространстве и ограниченных экранированных объемах. В комплекте 3 изотропных зонда
ПЗ-17 по Е-полю по Н-полю	0,01–300 0,01–30	1–3000В/м 0,5–500А/м	±(2–3) дВ	12,65	Укомплектован индикаторным блоком, позволяющим измерять энергетическую нагрузку, имеет 5 изотропных зондов. Обеспечивает удаление оператора из зоны измерений на 10м
ПЗ-21 по Е-полю по Н-полю	0,1–300 0,1–30	1–1000 В/м 0,5–16 А/м	±2,5 дВ	5,6	Измеритель напряженности ближнего поля. Имеет 5 изотропных зондов

Таблица 4 — Измерительная аппаратура, применяемая для гигиенической оценки ЭМИ МКВ

Тип прибора	Основные технические характеристики				Примечание
	Диапазон частот излучения, ГГц	Пределы измерения, мВт/см <sup>2</sup>	Погрешность измерения	Масса прибора, кг	
ПЗ-9 (1.407.003 ТУ)	0,3–37,5	0,0025–16,7	(30–40) %	75,0	Линейная диаграмма направленности
ПЗ-14	0,3–16,0	0,001–1	± 3,0	5,3	Круговая диаграмма направленности
ПЗ-18 (дуло.274.004)	0,3–39,65	(0,5–5)–10 <sup>-3</sup> -(5–10)	± (1–2) дБ	5,6	Изотропная диаграмма направленности, один зонд
ПЗ-19	0,3–39,65	(0,5–5)–10 <sup>-3</sup> -(20–100)	± (1–2) дБ	6,2	Изотропная диаграмма направленности, два зонда
ПЗ-20	0,3–39,65	(0,5–5)–10 <sup>-3</sup> -(20–100)	± (1–2) дБ	10,7	Изотропная диаграмма направленности, два зонда, позволят измерять МКВ и обеспечить удаление оператора из зоны измерения на расстояние до 10 м
ПЗ-24	37,5–178,4	0,01–30,0	± (2–2,5) дБ	4,0	Изотропная диаграмма направленности в полусфере

Замер напряженности электрической и магнитной составляющих и ППЭ проводится при максимальной излучающей мощности источников. В случае измерений при неполной излучаемой мощности делается перерасчет до уровня максимального значения. При нескольких режимах работы, различающихся по физическим характеристикам излучений, измерения проводятся в каждом отдельном случае.

Измерения напряженности РЧ и ППЭ МКВ допускается не проводить в случаях, если установка не работает в режиме излучения на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения ЭМИ в окружающую среду, и ее номинальная мощность, согласно паспортным данным, не превышает диапазон от 60 кГц до 3 МГц — 2,5 Вт; от 3 МГц до 30 МГц — 400 мВт; от 30 МГц до 300 ГГц — 100 мВт.

Измерения проводят на расстояниях от источников, соответствующих нахождению людей на нескольких уровнях от поверхности пола или земли, с определением максимального измеренного значения. В каждой точке проводят не менее 3-х измерений. Наибольшее из зарегистрированных

значений заносят в протокол. Во время измерений люди не должны находиться в зоне измерений.

Результаты определений величин ЭМИ должны регистрироваться в журнале, содержащем следующие графы:

- а) номер по порядку;
- б) дата проведения измерений;
- в) метод проведения определений;
- г) наименование радиоизлучающего средства, его излучаемая мощность;
- д) наименование мест, для которых проводятся определения;
- е) результаты определений;
- ж) фамилия, инициалы и подпись проводившего определения. Журнал хранится в течение 5 лет.

#### **1.4. Нормирование**

Воздействие ЭМИ РЧ и МКВ может носить характер изолированного (от одного источника), сочетанного (от двух и более источников одного частотного диапазона), смешанного (от двух и более источников МКВ различных частотных диапазонов) и комбинированного (в случае одновременного действия какого-либо другого неблагоприятного экологического фактора).

Воздействие может быть постоянным и прерывистым. Постоянные режимы воздействия — это все режимы воздействия, за исключением режимов воздействия МКВ, создаваемых источниками с вращающимися или сканирующими антеннами с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50. Прерывистые режимы воздействия — режимы воздействия, создаваемые источниками с вращающимися и сканирующими антеннами с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

*Пример: Число оборотов в минуту — 7; сектор вращения -360°; Один оборот осуществляется за 9 с; частота оборотов 1 /9 Гц, что меньше 1 Гц. Вывод: режим воздействия — прерывистый.*

Нормирование является основным элементом экологической противорадиационной защиты от ЭМИ РЧ и МКВ. В зависимости от отношения подвергающегося воздействию ЭМП человека к источнику излучения в условиях производства различаются два вида воздействия: профессиональное и непрофессиональное. Для условий профессионального воздействия характерно многообразие режимов генерации и вариантов воздействия. В частности, для облучения в ближней зоне обычно характерно сочетание общего и местного облучения. Для непрофессионального облучения типичным является общее облучение. ПДУ для профессионального и непрофессионального воздействия различны.

В качестве ПДУ ЭМП принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении в свойственных для данного источника излучения

режимах не вызывает у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения.

Основной критерий определения уровня воздействия ЭМП как предельно допустимого — воздействие не должно вызывать у человека даже временного нарушения гомеостаза (включая репродуктивную функцию), а также напряжения защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени.

В зависимости от места нахождения человека относительно источника ЭМП он может подвергаться воздействию электрической или магнитной составляющей поля или их сочетанию, а в случае пребывания в волновой зоне — воздействию сформированной электромагнитной волны. По этому признаку определяется необходимость критериев контроля безопасности.

Можно выделить следующие виды условий облучения, на которые для населения установлены специально разработанные санитарно-гигиенические нормы: элементы системы сотовой связи и других видов подвижной связи, все типы стационарных радиотехнических объектов (радио- и телевизионные станции, радиолокационные и радиорелейные станции, земные станции спутниковой связи), видеодисплейные терминалы и мониторы персональных компьютеров, СВЧ-печи.

На иные условия облучения, где в качестве источников выступает бытовая потребительская техника, включая телевизоры, используются санитарные нормы, устанавливаются требования только к электрической составляющей диапазона 50 Гц и уровню электростатического поля.

Информация о конкретных значениях ПДУ для упомянутых выше условиях облучения приведена в таблице 5.

Для населения уровни ЭМИ определяются по таблице 5. Для случаев, не указанных в таблице 5, предельно допустимые уровни (ПДУ) в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц при продолжительности воздействия за сутки 2,5 часа и более составляют 0,1 Вт/см<sup>2</sup>, при продолжительности от 1 до 2,5 часов — как частное от деления 0,25 Втч/м<sup>2</sup> на количество часов.

Суммарная величина воздействия ЭМИ на население от нескольких одновременно работающих источников в диапазоне частот 30 кГц — 300 МГц, для которых установлены одинаковые ПДУ, определяется по формуле:

$$E_{\Sigma} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2},$$

где  $E_{\Sigma}$  и  $E_1, E_2, E_n$  — суммарная величина воздействия ЭМИ РЧ и величина воздействия РЧ от отдельных источников, соответственно по электрической составляющей.

При этом данная суммарная величина ЭМИ РЧ считается в пределах ПДУ, если она не превышает величин, указанных в таблице 5.

Таблица 5 — Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для потребительской продукции, являющейся источником ЭМП

Источник излучений	Диапазон частот	Значение ПДУ	Примечание
Индукционные печи	20–22 кГц	500 В/м 4А/м	СН№ 2550-82. Условия измерения: расстояние 0,3 м от корпуса
СВЧ-печи	0,3–37,5 ГГц	10 мкВт/см <sup>2</sup>	СН№ 2666-83. Условия измерения: расстояние 0,50 ± 0,05 м от любой точки, при нагрузке 1 л воды
Видеодисплейный терминал ПК	5 Гц–2 кГц	$V_{\text{ПДУ}} = 250 \text{ нТл}$ $E_{\text{ПДУ}} = 25 \text{ В/м}$	СанПиН 2.2.2.542-96. Условия измерения: расстояние 0,5 м вокруг монитора ПК
	2–400 кГц	$V_{\text{ПДУ}} = 25 \text{ нТл}$ $E_{\text{ПДУ}} = 2,5 \text{ В/м}$	
	поверхностный электростатический потенциал	$V = 500 \text{ В}$	
Прочая продукция	50 Гц	$E = 500 \text{ В/м}$	СанПиН 2.1.8.042-96. Условия измерения: расстояние 0,5 м от корпуса изделия

Суммарная величина ЭМИ МКВ на население от нескольких одновременно работающих источников в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц, для которых установлены одинаковые ПДУ, определяется по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\Sigma} = \text{ППЭ}_1 + \text{ППЭ}_2 + \dots + \text{ППЭ}_n,$$

где  $\text{ППЭ}_{\Sigma}$  и  $\text{ППЭ}_1, \text{ППЭ}_2, \text{ППЭ}_n$  — суммарная величина воздействия ЭМИ МКВ и величина воздействия ЭМИ от отдельных источников МКВ соответственно.

При этом данная суммарная величина воздействия ЭМИ МКВ считается в пределах ПДУ, если она не превышает величин, указанных в таблице 5.

Таблица 6 — Временно допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи, не-профессиональное воздействие

Категория облучаемых	Значение ВДУ ЭМИ	Примечание
Облучение населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, от антенн базовых станций	$\text{ППЭ}_{\text{пд}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	
Облучение пользователей радиотелефонов	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 100 \text{ мкВт/см}^2$	ГН 2.1.8/2.2.4.019-94. Условия измерения: измерения ППЭ следует производить на расстоянии от источника ЭМИ, соответствующем расположению головы человека, подвергающегося облучению

Суммарная величина воздействия ЭМИ на население от нескольких одновременно работающих источников РЧ и МКВ в диапазоне частот 30 кГц — 300 ГГц считается в пределах ПДУ, если:

$$\left(\frac{E_1}{E_{\text{ПДУ}_1}}\right)^2 + \left(\frac{E_2}{E_{\text{ПДУ}_2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{E_N}{E_{\text{ПДУ}_N}}\right)^2 + \frac{\text{ППЭ}_1}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_N}} + \frac{\text{ППЭ}_2}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_2}} + \dots + \frac{\text{ППЭ}_N}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_N}} \leq 1$$

где  $E_1, E_2, E_n$  и  $E_{\text{ПДУ}_1}, E_{\text{ПДУ}_2}, E_{\text{ПДУ}_n}$  — величины воздействия ЭМИ от отдельных источников РЧ в диапазоне 30 кГц – 300 МГц и величины ПДУ воздействия ЭМИ, установленные для населения в диапазоне частот, в которых работают эти источники, соответственно по электрической составляющей;  $\text{ППЭ}_1, \text{ППЭ}_2, \text{ППЭ}_n, \text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_1}, \text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_2}, \text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_n}$  — величины ПДУ воздействия ЭМИ от отдельных источников МКВ в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц и величины ПДУ воздействия МКВ, установленные для населения при тех же режимах и продолжительности воздействия соответственно.

### 1.5. Медико-биологические аспекты воздействия ЭМИ, РЧ и МКВ

Организм человека воспринимает и реагирует как на изменение естественного геомагнитного поля, так и на воздействие электромагнитного поля, так и на воздействие электромагнитных антропогенных источников. По последним данным, степень выраженности реакции организма может варьировать по мере как увеличения, так и снижения силы воздействия ЭМИ, в ряде случаев приводя к выраженным изменениям в состоянии здоровья и генетическим последствиям.

В зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия МКВ вызываемые изменения в организме людей подразделяют на изменения от острого (теплового) и хронического (нетеплового) воздействия. Острое воздействие обусловлено термическим влиянием МКВ, как правило, при нарушении техники безопасности, уровнями, в несколько сотен тысяч раз превышающими ПДУ для населения. Термогенное воздействие обычно носит локальный характер, а возникающая симптоматика определяется топографией облучаемой области. При облучении пострадавшие ощущают тепло в месте воздействия, схожее с действием солнечных лучей. Иногда отмечается общее недомогание, головная боль, головокружение, тошнота, рвота, чувство страха, жажда, повышенная потливость. У пострадавших отмечается повышение температуры тела, учащение пульса, повышение артериального давления. Субъективная и объективная симптоматика через несколько дней после облучения исчезает, все клинические показатели приходят к доклиническому уровню, полностью восстанавливается работоспособность. Немногочисленные данные по клиническому наблюдению острого теплового действия МКВ на человека говорят о возможности локальных остаточных структурных изменений органов и тка-

ней (ожоги, катаракты и др.). При нетепловых интенсивностях большинство специалистов полностью исключают возникновение катаракты.

В ряде случаев, особенно в условиях действия импульсно-модулированных РЧ и МКВ, могут возникать слуховые ощущения. В зависимости от длительности и частоты следования импульсов звук воспринимается как щелчки, жужжание или чирикание. Гигиеническая значимость этого явления не совсем ясна. При прекращении излучения данный эффект не наблюдается и не вызывает каких-либо последствий в функциональном состоянии организма.

Наиболее обширно в литературе представлены сведения, касающиеся клинико-эпидемиологического характера хронического влияния МКВ. Как правило, наблюдаемые изменения регистрировались при интенсивностях, подчас превышающих ПДУ, но не приводящих к тепловым эффектам. Так, по данным ряда авторов, у персонала, связанного с работой с источниками МКВ, выявляется разнообразная неврологическая симптоматика как субъективного, так и объективного плана. При обследовании клинического статуса может отмечаться симуляция неврологической симптоматики. Предъявляемые жалобы были хроническими и наблюдались еще до момента переоблучения. У таких пациентов может длительно сохраняться субъективная переоценка вреда, наносимого МКВ. При использовании ряда психологических тестов среди персонала, имеющего контакт с МКВ, отмечается усиление тревожности поведения и депрессивного состояния при отсутствии каких-либо клинических симптомов. При анкетировании может наблюдаться преобладание жалоб на снижение памяти, ухудшение самочувствия. Представляемая картина жалоб не всегда повторяется и не обязательно встречается у лиц, подвергавшихся облучению. В ряде исследований были зафиксированы изменения в содержании форменных элементов крови, но не выходящие за пределы нормы.

В настоящее время выделяют дополнительно следующие синдромы, развитие которых связывают с длительным воздействием ЭМП на нервную систему:

- синдром «ослабленное познание» (проблема памяти, сложность в понимании, бессонница, депрессия, постоянные головные боли);
- синдром «частичной атаксии» (парезы, нарушения равновесия, дезориентация в пространстве, головокружение);
- синдром «арто-мио-нейропатии» (мышечные боли, мышечная усталость, трудность в подъеме тяжестей и т. д.).

Анализ заболеваемости с временной нетрудоспособностью показывает, что работающие с ЭМИ чаще и дольше болеют.

В структуре патологии на первый план выступают функциональные расстройства центральной нервной и сердечно-сосудистой системы. Наблюдается повышение уровней острых респираторных инфекций, что обусловлено снижением иммунологической реактивности организма. Последнее можно квалифицировать как вторичное иммунодефицитное состояние.

Исследования, проведенные в СССР до 60–70-х годов прошлого столетия, позволили рассматривать весь наблюдаемый симптомокомплекс как проявление «радиоволновой болезни». Однако большинство зарубежных авторов наличие этой нозологической формы заболевания либо отрицают, либо ставят под сомнение.

Вместе с тем, многочисленные исследования по возможному канцерогенному действию микроволнового излучения позволяют сделать вывод о повышении риска развития опухолевого процесса при хроническом воздействии ЭМП. В настоящее время нет однозначного мнения по данной проблеме, нет ясности, какие дополнительные условия способствуют развитию опухолевого процесса, что предрасполагает к раку у людей, имеющих контакт с ЭМИ; рассматривается возможность, когда ЭМП могут выступать в качестве промотора (способствовать развитию рака).

Одним из возможных отдаленных последствий у лиц, имеющих контакт с ЭМП, является преждевременное старение организма. Сведения о генетических последствиях воздействия ЭМП на людей крайне малочисленны. В эпидемиологических исследованиях генетические последствия микроволновых полей пока не доказаны.

Следует отметить, что соблюдение правил техники эколого-радиационной безопасности при работе с источниками МКВ и санитарных норм воздействия для населения полностью исключают возможность неблагоприятного влияния этих излучений на организм человека.

### **1.6. Обеспечение экологической безопасности**

Обеспечение экологической безопасности (защита) от действия ЭМИ, РЧ и МКВ предполагает снижение их интенсивности до уровней, не превышающих предельно допустимые. Это связано с выбором конкретных методов и средств, учетом их экономических показателей, простоты и надежности эксплуатации. Ее организация подразумевает:

- оценку уровней интенсивности полей и их сопоставление с действующими нормативными документами;
- выбор необходимых мер и средств защиты, обеспечивающих степень защищенности в заданных условиях;
- организацию системы контроля за функционирующей защитой.

По своему назначению защита может быть коллективной, предусматривающей мероприятия для групп населения, и индивидуальной — для каждого человека в отдельности. В основе каждой из них лежат организационные и инженерно-технические мероприятия (таблица 7).

Коллективная защита, по сравнению с индивидуальной, предпочтительней вследствие простоты обслуживания и проведения контроля за ее эффективностью. Однако ее внедрение часто осложняется высокой стоимостью, сложностью защиты больших пространств.

Таблица 7 — Структура мер защиты от действия радиочастот и микроволн

Наименование мер защиты	Коллективная защита		Индивидуальная защита	
Организационные меры защиты	<i>Лечебно-профилактические мероприятия</i>			
	<p>Применение средств наглядного предупреждения о наличии ЭМИ.                      Вывешивание плакатов, памяток с перечнем основных мер предосторожности.                      Проведение лекций по безопасности труда при работе с источниками ЭМИ и профилактике переоблучения от их воздействия.                      Снижение уровня воздействия сопутствующих производственных факторов</p>		<p>Проведение медицинского освидетельствования при приеме на работу.                      Периодические медицинские обследования и врачебные наблюдения за персоналом.                      Объективная информация об уровне интенсивностей на рабочем месте и четкое представление об их возможном влиянии на состояние здоровья рабочих.                      Проведение инструктажа по правилам техники безопасности при работе в условиях воздействия ЭМИ</p>	
	<i>Мероприятия по защите временем</i>			
	<p>Разработка оптимального режима труда и отдыха коллектива с организацией рабочего времени с минимально возможным контактом по времени с ЭМИ</p>		<p>Нахождение в контакте с ЭМИ только по служебной необходимости с четкой регламентацией по времени и пространству совершаемых действий</p>	
	<i>Мероприятия по защите за счет рационального размещения объектов</i>			
	<p>Рациональное размещение облучающих и облучаемых объектов: увеличение расстояний между ними; подъем антенн или диаграмм направленности</p>		<p>Организация рабочего места с целью создания условий с минимальными уровнями воздействующих ЭМИ</p>	
	Инженерно-технические меры защиты	Секторное блокирование направлений излучения		Экранирование отдельных рабочих мест радиотражающими или радиопоглощающими материалами
Экранирование объектов облучения населения		Радиотражающие материалы. Радиопоглощающие материалы. Строительные материалы. Лесонасаждения	Индивидуальные средства тотальной защиты в комплексе со средствами локальной защиты	Костюмы. Комбинезоны
Экранирование источников радиоизлучений.		Поглощение нагрузки. Эквиваленты антенн. Поглотители мощности. Атеньюатры	Индивидуальные средства локальной защиты	Радиозащитные халаты, фартуки, шлемы, очки, перчатки, щитки и т. д.

Организационные меры защиты направлены на обеспечение оптимальных вариантов расположения объектов, генерирующих поля, и объектов, оказывающихся в зоне воздействия, с целью снизить до минимума время пребывания в условиях воздействия, предупредить возможность попадания в зоны с интенсивностями, превышающими ПДУ, то есть осуществить защиту «временем». Внедрение в практику этих защитных мер начинается в период предупредительного и уточняется в период текущего санитарного надзора. В зависимости от воздействующих уровней РЧ и МКВ (инструментальный и расчетный методы оценки) время контакта с ними определяется в соответствии с действующими нормативными документами.

Защита рациональным (оптимальным) размещением подразумевает определение санитарно-защитных зон, зон ограничения застройки (ЗОЗ) на этапах проектирования. В этих случаях для определения степени снижения воздействия в каком-то пространственном объеме используют специальные расчетные, графоаналитические, инструментальные (стадия экспериментальной эксплуатации) методы. Так, в ряде случаев защитные меры от ЭМИ РЧ и МКВ включают ограничение работы источников по углу места и азимута, а также необходимость подъема диаграммы направленности или антенны. Рассмотренный метод не является чисто организационным. Он предполагает проведение дополнительных строительных и инженерных работ: создание насыпей, эстакад и т. д. Следует заметить, что вследствие подъема антенны или угла наклона диаграммы направленности многие характеристики радиоизлучающего объекта могут измениться. К этой же группе защитных мероприятий следует отнести и защиту расстоянием. Она достигается максимально возможным удалением облучаемых объектов от источника, генерирующего поле, дистанционным его управлением и т. д.

В ее основе лежит принцип уменьшения интенсивности излучения обратно пропорционально квадрату расстояния между источником и объектом облучения. После проведения защитных мер для снижения уровня интенсивности при рациональном размещении объектов обязательны инструментальный контроль за уровнем излучения.

Организационные меры коллективной и индивидуальной защиты основаны на одних и тех же принципах и в некоторых случаях относятся к обеим группам. Разница лишь в том, что первые направлены на нормализацию электромагнитной обстановки для больших групп населения, а вторые уменьшают фон поля индивидуально для конкретного человека.

Инженерно-технические меры защиты применяются в тех случаях, когда исчерпана эффективность организационных мер защиты, при этом всегда надо учитывать принципы, на основе которых действуют те или иные защитные средства, устройства, конструкции. Для ЭМИ РЧ и МКВ основными принципами являются сквозное, дифракционное затухание, а также радиопоглощение.

Сквозное затухание обусловлено проникновением электромагнитной энергии через какой-либо материал или изделие из этого материала и оп-

ределяет кратность защиты. Наибольшим сквозным затуханием обладают сплошные металлические экраны. Однако для конкретных гигиенических целей выбор толщины материала защиты не имеет принципиального значения и диктуется только экономическими соображениями. Поэтому предпочтение отдается тонкой металлической фольге в несколько сотых миллиметра либо сетчатым экранам.

Определенными защитными свойствами, оцениваемыми по степени сквозного затухания, обладают строительные материалы и конструкции из них. Для конструкций из различных экранирующих материалов оценку степени сквозного затухания дают только по результатам инструментального метода.

В случаях, когда фронт падающей волны сталкивается с кромкой каких-либо экранирующих средств, приходится оценивать дифракционное затухание.

При проведении защитных мероприятий обычно приходится сталкиваться и с влиянием на электромагнитную обстановку отдельно расположенных радиоотражающих поверхностей, что на практике вызывает большие трудности в оценке эффективности мер защиты. Так, если имеется отражающая поверхность, расчет затухания нужно производить с учетом коэффициента отражения по диаграмме направленности до и после отражающей поверхности. Если расчетная точка находится точно в отраженном луче, то затухание рассчитывается по формуле:

$$B_{\text{отр}} = (R_{\text{отр}} / R_{\text{пр}})2F_{\text{э}},$$

где  $R_{\text{пр}}$  — прямое расстояние «источник облучения — точка облучения»;  $R_{\text{отр}}$  — расстояние «источник облучения — отраженная поверхность — точка облучения»;  $F_{\text{э}}$  — коэффициент отражения.

Таблица 8 — Характеристика защитных свойств строительных материалов и изделий из них при действии микроволн

Наименование материала	Толщина, см	Сквозное затухание (дБ) на частоте		
		3,0 ГГц	10,0 ГГц	37,5 ГГц
Кирпич	12	15	15	15
Металлизированный стеклянный кирпич	—	25	25	25
Штукатурка	1,8	—	8	12
Стекло	0,28	—	2	2
Доска	5,0	8,4	—	—
Доска	3,5	5,0	—	—
Доска	1,6	2,8	—	—
Фанера	0,4	-	1	2
Древесно-стружечная плита	1,8	3,2	—	—
Шлакобетонная стена	46	14,5	20,5	—
Капитальная стена здания	70	16	21	—
Оштукатуренная стена	15	8	12	—
Окно с двойными рамами	—	7	13	—
Окно с одинарной рамой	—	4,5	—	—

Защита, основанная на принципе радиопоглощения, применяется в основном для рабочих мест персонала, контактирующего с источниками ЭМИ, и не применяется в плане обеспечения экологической безопасности. Исключение составляет применение лесонасаждений. Использование их в качестве защиты наиболее эффективно при непосредственной близости от защищаемого объекта. При этом учитывается только степень сквозного затухания. При большой протяженности объекта в глубину и густой защитной полосе из высоких деревьев необходимо учитывать дифракционное затухание.

## **2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ**

Электрические поля промышленной частоты являются одним из экологически значимых физических факторов электромагнитной природы. Эти поля не являются каким-то особенным лучевым фактором, а представляют лишь частный случай электромагнитных полей сверхнизкочастотного диапазона (СНЧ) и составляют 50/60 Гц.

### **2.1. Источники**

Основными источниками ЭП ПЧ являются высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП), открытые распределительные устройства (ОРУ), электробытовая техника, электроаппаратура, приборы, в которых используется ток промышленной частоты. Экологическая значимость этих полей постоянно возрастает в силу того, что, с одной стороны, постоянно возрастает сеть ЛЭП, увеличивается их мощность, а с другой — расширяется контакт населения с электробытовой техникой и аппаратурой.

### **2.2. Единицы измерений, методы, аппаратура**

Единицей измерения ЭП ПЧ является величина напряженности (Е), измеряемая в вольтах на метр (В/м) или киловольтах на метр (кВ/м): 1 кВ/м —  $10^3$  В/м.

Уровень напряженности поля от ЛЭП есть функция номинального значения ее напряженности и конструкционно-строительных параметров (размер проводов, расстояния между ними, высота над поверхностью земли). В связи с этим, уровни воздействия на людей, находящихся под ЛЭП, зависят от расстояния до токоведущих частей. Наибольшее значение регистрируется при нахождении непосредственно под проводами и по центру между опорами. С удалением в сторону от оси линии и ближе к опорам уровни напряженности поля быстро убывают до своих минимальных значений. Естественно предположить, что максимальные уровни напряженности поля, с которыми может встретиться человек, находятся в непосредственной близости к токоведущим проводам.

Для измерения напряженности ЭП ПЧ применяются ПЗ-1 и NFM-1 (Германия). Измерения проводятся в местах нахождения людей при неискажении поля. Они проводятся по высоте 0,8 м от поверхности земли при отсутствии защитных средств и на высоте 0,5; 1,0 и 1,8 м — при наличии коллективных средств защиты.

Измерения проводятся при начале эксплуатации новых энергоустановок, изменений конструкционных особенностей и организации средств защиты. Текущий экологический надзор осуществляется 1 раз в год.

### **2.3. Нормирование**

Согласно СанПиН 2.1.8.12—17—2005, на открытой территории зоны жилой застройки уровень напряженности ЭП ПЧ не должен превышать 1,0 кВ/м, а внутри жилых зданий — 0,5 кВ/м. Данный уровень не должен иметь превышения с учетом 24-часового пребывания.

### **2.4. Медико–биологические аспекты воздействия ЭП ПЧ**

ЭП ПЧ в теле человека наводят электрические токи, причем их максимальные величины — в нижних частях ног — составляют 15 мкА/кВ/м. У человека в поле с  $E = 6–8$  кВ/м наведенные токи составляют 90–120 мкА. Они стремятся пройти в землю, вследствие чего создается разность потенциалов между человеком и землей. Если человек изолирован от земли, то в месте контакта с заземлением он будет испытывать ощущение разряда электрического тока. В биологическом плане токи становятся ощутимыми при прохождении их по телу, например, от одной конечности до другой, при величине 500 мкА. При большем значении они могут вызвать реакцию кратковременного электроудара, хотя вполне слабого и безвредного. Искровые разряды возникают при напряженности ЭП ПЧ свыше 3 кВ/м и напоминают удары статического электричества в сухую погоду. Наведенные токи от ЛЭП при прохождении на землю по силе воздействия меньше или эквивалентны в первом приближении наведенным токам, возникающим при пользовании бытовыми электроприборами.

Результаты экспериментальных исследований показали, чтобы вызвать потенциал действия в нервной клетке, наведенные токи должны быть порядка  $10–20$  А/м<sup>2</sup>. Пороговая величина плотности тока, вызывающая потенциал действия в клетке, составляет 1 А/м<sup>2</sup>. Проведенные расчеты свидетельствуют, что при внешнем поле 10 кВ/м (50/60 Гц) наведенные токи в теле человека намного меньше даже этой величины. Так, у заземленного человека она в области головы составляет 0,6 мА/м<sup>2</sup>, шеи — 5,5 мА/м<sup>2</sup>, в паховой области и области ступней — 2,5 и 20 мА/м<sup>2</sup> соответственно.

По мнению некоторых исследователей, серьезно занимавшихся этой проблемой, внеклеточное поле, провоцируемое внешним ЭП, может считаться безопасным, если его величина не превышает уровень ЭП живых тканей. На основе ЭКГ и ЭЭГ определена плотность тока нервной ткани, равная 1 мА/м<sup>2</sup>. Приведенные выше данные по наведенным токам в теле человека, находящегося в ЭП ПЧ напряженностью 10 кВ/м<sup>2</sup>, намного выше этой величины.

На сегодняшний день не сложилось отчетливого представления о неблагоприятном действии ЭП ПЧ уровнями, не превышающими ПДУ для населения. На основе результатов многочисленных эпидемиологических исследова-

ний, где изучался широкий диапазон клинических показателей, отдаленные возможные последствия, включая риск возникновения злокачественных новообразований, лейкемии, смертность, сделать вывод об опасности воздействия на человека уровнями не выше ПДУ для населения, нельзя.

Однако при воздействии интенсивностями, значительно превышающими ПДУ для персонала, непосредственно занятого эксплуатацией и обслуживанием электроэнергетических установок, выявляется пестрая клиническая симптоматика, характерная для невротического симптомокомплекса и ряда вегетативных проявлений. Частота и степень выраженности изменений в организме, как правило, коррелировали с интенсивностью и продолжительностью воздействия. Картина возникших изменений довольно схожа с эффектами при действии ЭМИ РЧ и МКВ.

## **2.5. Обеспечение экологической безопасности**

В основе обеспечения экологической безопасности действия ЭП ПЧ лежит применение инженерно-технических мер коллективной защиты: защита «расстоянием», защита экранированием и заземлением.

Среди коллективных мер защиты на первый план выступает ряд предварительных мероприятий, проводимых на этапах проектирования ЛЭП. Это недопущение проведения жилой застройки в непосредственной близости от ЛЭП, где уровни интенсивности ЭП превышают ПДУ для населения, определение зон недопустимого пребывания населения, а также предупреждение их случайного попадания в эти зоны.

Распространенными коллективными средствами инженерно-технической защиты от действия ЭП ПЧ являются экранирующие навесы, козырьки. Экранирующие навесы изготавливаются из параллельных проводников (диаметр 3–5 мм, расстояние между ними 20 см) и располагаются на высоте 2,5 м над пешеходными дорожками.

При этом кратность защиты под серединой навеса достигает 17, у края — 5. Экранирующие козырьки, используемые в качестве защиты, изготавливаются в виде сеток из такого же материала с размером ячеек 5—10 см с кратностью защиты, равной 6. Для прохода людей, проезда автомашин, сельскохозяйственной техники под высоковольтными линиями электропередач организуют приспособления, относящиеся к коллективным средствам защиты. В частности, к ним относится сокращение расстояний между опорами, применение экранирующих тросов, навесов, натянутых на заземленных опорах. В ряде случаев на установках 400 и 500 кВ на расстоянии 4,5 м и 750 кВ на расстоянии 6 м до токоведущих частей устанавливаются экраны. Во всех случаях экранирующие устройства подлежат заземлению с величиной сопротивления заземляющего устройства 10 Ом.

### **3. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ**

Электростатические поля — это поля, создаваемые неподвижными электрическими зарядами и характеризуются взаимодействием между зарядами. Они связаны с возникновением, сохранением и релаксацией свободного заряда на поверхности различных материалов.

#### **3.1. Источники**

В зависимости от источников образования ЭСП могут существовать в виде свободного электрического поля или стационарного постоянного тока. Наиболее часто ЭСП, с которым приходится сталкиваться широкому кругу населения, встречаются в быту при пользовании бытовой электротехникой, при случайном попадании в зоны, где проводится техническое обслуживание различного оборудования, выполнение различных технологических процессов (электролиз, электрогазоочистка, электростатическая окраска), при пользовании транспортными средствами различного назначения и других. Экологическая значимость ЭСП для широкого круга населения значительно ниже, чем ЭМИ РЧ и МКВ, ЭП ПЧ. Однако как физический фактор электромагнитной природы, с которым в той или иной форме встречается каждый из нас, он имеет место.

#### **3.2. Единицы измерения, методы, аппаратура**

Основными параметрами ЭСП являются напряженность поля и потенциал действия его отдельных точек. Напряженность — величина векторная, определяемая отношением силы, действующей в поле на точечный заряд, к величине этого заряда и является наиболее объективным и универсальным значением для гигиенической оценки интенсивности ЭСП. Единицей измерения напряженности является вольт на метр (В/м).

Для измерения ЭСП используются приборы: ИЭСП-1 (диапазон измеряемой напряженности 1–150 кВ/м); ИЭСП-9 (диапазон напряженности до  $2,6 \times 10^6$  В/м); ИНЭП-1 (диапазон напряженности 0,4–2500 кВ/м); ВИНЭП-2 (диапазон напряженности 3–2000 кВ/м); ИНЭП2ОД; ИЭП-П.

#### **3.3. Нормативы**

Каких-либо нормативных документов, определяющих уровни воздействия ЭСП на население, у нас в стране нет. Для персонала, работающего в условиях воздействия ЭСП на производстве, при напряженности менее 20 кВ/м время пребывания в ЭСП не регламентируется. Поэтому эту величину можно в первом приближении брать за отправную в качестве безопасного уровня воздействия.

#### **3.4. Медико-биологические аспекты воздействия**

В литературе сведений о неблагоприятном биологическом действии ЭСП интенсивностями ниже 20 кВ/м на человека встретить не удалось.

Однако в ряде случаев при напряженности ЭСП свыше 60 кВ/м верхняя граница ПДУ для персонала в условиях производства может наблюдаться полиморфизм биохимических и физиологических изменений. В целом эти изменения носят обратимый характер. У людей, работа которых сопряжена с действием ЭСП, встречается полиморфизм жалоб на состояние здоровья. У некоторых преобладает чувство страха, обусловленное прежде всего ожиданием электрического разряда, что сочетается с повышенной эмоциональной возбудимостью.

В ряде случаев возникновение статического электричества и нарушение техники безопасности приводит к частичному или полному электрическому пробое, что может явиться причиной пожаров и травмоопасной ситуации.

### **3.5. Профилактика избыточного воздействия ЭСП**

При разработке и выборе средств защиты от влияния ЭСП учитывают принцип экранирования, снижения уровня статического электричества, заземления.

К ним относятся различные устройства, приспособления, применение химических веществ, способствующих снижению уровней напряженности до допустимых. Одну из групп этих средств составляют различные заземляющие устройства. Они обязательно устанавливаются на оборудовании, на котором возможно возникновение или накопление электрических зарядов. При этом величина сопротивления заземляющего устройства не должна превышать 100 Ом. Другую группу средств защиты от ЭСП составляют нейтрализаторы, которые по принципу действия делятся на индукционные, высоковольтные, лучевые, аэродинамические. Достаточно большую группу составляют различные антиэлектростатические вещества, наносимые на поверхность изделий, либо используемые в качестве добавок и вводимые в какой-то объем. В некоторых случаях удобно использовать различные увлажняющие устройства, основанные на испарении или распылении, предотвращающие накопление статического электричества. К средствам защиты можно отнести применение экранирующих устройств в виде козырьков, перегородок и т. п.

## **4. МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ**

Движущиеся заряды (токи) изменяют свойства окружающего пространства — создают в нем магнитное поле (МП). Различают постоянные магнитные поля (ПМП), импульсные магнитные поля (ИМП), инфранизкочастотные (с частотой до 50 Гц) переменные магнитные поля (ПеМП).

### **4.1. Источники**

ПМП создается постоянным током или веществом, имеющим свойство постоянных магнитов. В основе применения ПМП лежит свойство на-

магничивания различных веществ, особенно ферромагнитных материалов. Кроме того, некоторые свойства МП используют в электродвигателях и генераторах постоянного тока, магнетронах СВЧ-генераторов, при фокусировке электронного луча, электромагнитной защите от ионизирующей радиации. Основными источниками МП, с которыми приходится сталкиваться человеку, являются самые разнообразные бытовые электроприборы. В перспективе реально возможный контакт с МП — при пользовании транспортными средствами на магнитной подвеске. Наибольшее распространение среди МП получили МП промышленной частоты (50/60 Гц), которые наравне с ЭП ПЧ являются мощным экологически значимым физическим фактором электромагнитной природы при функционировании ЛЭП.

#### 4.2. Единицы измерения, методы, аппаратура

Для характеристики МП вводится величина, называемая индукцией МП (В), равная силе, с которой МП действует на единичный элемент тока, расположенный перпендикулярно к вектору индукции. Единицей индукции МП является тесла (Тл). Для характеристики МП в вакууме вводится величина, называемая напряженностью МП (Н), измеряемая в ампер на метр (А/м). Напряженность и индукция МП связаны соотношением:

$$B = \mu_0 \mu H,$$

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная, равная  $4\pi 10^{-7}$  Гс/м;  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость веществ.  $1\text{Тл} = 7,96 \times 10^5$  А/м;  $1\text{ А/м} = 1,256 \times 10^{-6}$  Тл. Внесистемная единица магнитной индукции — гаусс (Гс):  $1\text{ Гс} = 10^{-4}$  Тл; напряженность МП — эрстед (Э):  $1\text{ Э} = 79,58$  А/м. В воздушной среде  $1\text{ Гс} = 1\text{ Э}$ .

Для эколого-гигиенических целей при оценке уровней МП можно использовать приборы: Ш1–8 (диапазон измерений 0,01–1,6 Тл), Ф 4354/1 (диапазон измерений 0,005–1,5 Тл); МП частотой менее 50 Гц: Г–703 (0–19 мТл); МП ПЧ: Г–79 (0–19 мТл); МП 50 Гц–1 кГц: Г–703, Г–79; МП 1–60 кГц: ПЗ–15 (–16, –17) (0–3 мТл); МП 0,06–50 МГц: NFM–1 (0–500 А/м), ПЗ–15 (–16, –17).

#### 4.3. Нормативы

Каких-либо нормативных документов, регламентирующих уровни МП для населения, у нас в стране и за рубежом нет. Это связано с тем, что очень сомнительна вероятность воздействия на людей в условиях повседневной жизни таких уровней МП, которые могли бы вызывать неблагоприятные для здоровья последствия.

Однако для условий производства такие документы имеются. В частности, в производственных условиях предельно допустимые значения уровней напряженности ПМП не должны превышать 8 кА/м, что соответствует 10 мТл индукции. Для МП ПЧ ПДУ являются дифференцированными в зависимости от характера генерации и времени контакта с полем (СанПиН 2.1.8.12-17-2005).

#### 4.4. Медико–биологические аспекты воздействия МП

В настоящее время трудно дать исчерпывающую картину изменений под влиянием МП. На основе многочисленных эпидемиологических исследований по воздействию МП на персонал в производственных условиях показано, что все изменения, вызываемые МП, характеризуются полиморфизмом и разнообразием и связаны с влиянием на центральную нервную и сердечно–сосудистую системы. При уровнях воздействия, близких геомагнитным полям, влияние на человека весьма спорно. Однако МП большой интенсивности, превышающей на порядок и более нормативные значения для производственных условий, могут вызывать неблагоприятные изменения, которые не имеют нозологической принадлежности и могут стимулировать, прежде всего, неврологические отклонения в состоянии здоровья. Общая клиническая картина проявления действия МП может выражаться в виде вегето-сенситивного полиневрита, астеновегетативного синдрома или их сочетаний. Центральное место в обоих синдромах отводят функциональным сосудистым или сердечно-сосудистым изменениям.

Оценивая влияние МП, весьма сложно интерпретировать плотность индуцированного тока как функцию плотности магнитного потока. Тем не менее, по степени наибольшего риска возможны эффекты, зависящие от величины индуцированного тока, на которую влияют изменения тех или иных параметров МП, что и представлено в таблице 9. Одним из эффектов, достаточно хорошо изученных при действии МП, является магнитофосфен, который проявляется как мигающий свет в глазах. В момент прекращения воздействия эти ощущения сразу пропадают. Принято считать, что они являются результатом непрямого действия на зрительный анализатор наведенных электрических токов.

Таблица 9 — Вероятностные биологические эффекты, вызываемые МП в зависимости от величины плотности магнитного потока и соответствующих величин индуцированного тока

Величина воздействующей плотности магнитного потока, Тл	Величина индуцированной плотности тока, мА/ч	Прогнозируемые эффекты
0,5–5,0	1–10	Минимальные биологические эффекты
5,0–50,0	10–100	Эффекты со стороны органов зрения и нервной системы
50,0–500,0	100–1000	Существует опасность для здоровья: стимуляция возбудимой ткани
> 500,0	> 1000,0	Острое нарушение состояния здоровья, экстрасистолия и фибрилляция желудочков

#### 4.5. Обеспечение экологической безопасности воздействия МП

Методы, направленные на обеспечение экологической безопасности, заключаются в том, чтобы свести к минимуму не обусловленное необходимостью воздействие высокоинтенсивных полей. Для населения это прежде всего защита «расстоянием» и ограничение доступа в места с высокой напряженностью.

### 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

#### 5.1. Источники

Исходя из структурного анализа непроизводственного электротравматизма, половина его приходится на объекты предприятий различных отраслей народного хозяйства (потребителей) и половина на установки бытового назначения в жилых, коммунальных и общественных зданиях.

#### 5.2. Нормативы, методы измерения, аппаратура

Основными нормируемыми величинами электрического тока являются значения напряжений прикосновения ( $U$ , В) и токи ( $I$ , мА) для людей при взаимодействии их с электроустановками как бытового, так и производственного назначения. Нормативы даются при установлении путей тока от одной руки к другой и от руки к ноге.

В таблице 10 представлены наибольшие значения напряжений прикосновения и токов, протекающих при нормальном (неаварийном) режиме электроустановок производственного и бытового назначения при продолжительности воздействия не более 10 минут в сутки, установленные, исходя из реакции ощущения. При этом температура воздуха не должна быть более 25 °С, а относительная влажность — более 75 %; при увеличении этих климатических показателей нормируемые величины тока уменьшаются в 3 раза.

Таблица 10 — Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, при нормальном (неаварийном) режиме электроустановок

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

В таблице 11 представлены максимальные значения электрического тока при аварийном режиме производственных установок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью при продолжительности воздействия токов, протекающих через тело, более 1 с, которые соответствуют отпускающим (переменным) и неболевым (постоянным) токам.

Таблица 11— Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значение тока, при продолжительности воздействия t, с:											
		0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Свыше 1
Переменный, 50 Гц	V, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, mA	650	400	190	160	140	125	104	90	75	65	50	6
Переменный, 400 Гц	V, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I, mA	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	8
Постоянный	V, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I, mA	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15
Выпрямленный двухполупериодный	V <sub>ампл.</sub> , В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
	I <sub>ампл.</sub> , mA	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
Выпрямленный однополупериодный	V <sub>ампл.</sub> , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	I <sub>ампл.</sub> , mA	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—

Значения тока 50 Гц при аварийном режиме производственных установок напряжением выше 1 кВ с глухим заземлением нейтрали соответствуют данным таблицы 12.

Таблица 12 — Предельно допустимые значения напряжений прикосновения при аварийном режиме электроустановок с частотой 50 Гц, напряжением 1 кВ с глухим заземлением нейтрали

Продолжительность воздействия, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Свыше 1,0
Предельно допустимое значение напряжения прикосновения, В	500	400	200	130	100	65

При аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ предельно допустимые значения тока 50 Гц представлены в таблице 13.

Таблица 13 — Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия, с	От 0,01 до 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Нормируемая В величина, mA	220 220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25

Таблица 14 — Действие электрического тока на организм человека

Виды действия электрического тока	Виды электротравм			Клинические проявления действия электрического тока
Термическое. Электролитическое. Биологическое	Местные электротравмы	Электрический ожог (60–65 %) от всех электротравм	Токовый ожог (контактный)	Ожоги I и II степени кожи в месте контакта тела с токоведущей частью. Возникают при электроустановках напряжением не выше 1–2 кВ
			Дуговой ожог	Ожоги кожи III и IV степени: могут быть ожоги с выгоранием ткани на большую глубину. Возникают при электрической дуге в сетях с напряжением выше 1–2 кВ
		Электрические знаки: знаки тока; электрические метки (19–21 % от всех электротравм)	Появление пятен серого или желто-серого цвета на коже в месте прикосновения с токоведущими частями; иногда электрические знаки имеют вид царапин, бородавок, мозолей	
		Металлизация кожи у (10 % пострадавших)	Проникновение металлических включений в кожу в местах контакта с электрической дугой, сопровождающееся болью за счет ожога и напряжения кожного покрова	
		Механические повреждения (редко)	Разрывы кожи, сосудов, нервных волокон, вывихи за счет произвольных сокращений мышц под действие тока	
	Электрический удар	I степень	Судорожные сокращения мышц без потери сознания. Работа сердца и дыхание сохранены	
		II степень	Судорожные сокращения мышц с потерей сознания. Работа сердца и дыхание сохранены	
		III степень	Потеря сознания: нарушена деятельность сердца, либо нарушено дыхание	
		IV степень	Клиническая смерть; отсутствие дыхания и работы сердца; зрачки расширены, не реагируют на свет	Прекращена работа сердца (прямое действие тока на мышцу сердца), фибрилляция мышцы сердца (совпадение действия тока с T-фазой работы сердца). Прекращение дыхания, паралич (прямое или рефлекторное действие тока на мышцы грудной клетки). Электрический шок (тяжелая нервно-рефлекторная реакция, сопровождающаяся расстройством кровообращения, дыхания, обмена веществ)

### **5.3. Реакция организма человека на воздействие электрического тока**

Действие ЭТ на организм человека обусловлено прикосновением к токоведущим частям и, как следствие, протеканием тока по всему телу. Обычно это прикосновение является случайным, непреднамеренным. Протекая по телу, ЭТ может поражать внутренние органы, ткани, вызывая термическое, электролитическое и биологическое действие. По локализации поражающего действия ЭТ различают местные электротравмы (внешнее действие) и электрический удар (внутреннее действие). Клиническое проявление действия ЭТ на организм человека представлено в таблице 14. Исход поражения в основном определяется значением ЭТ, характером его пути в теле, длительностью воздействия, частотой тока и индивидуальными особенностями человека. Так, например, человек начинает ощущать воздействующий на него ток при его значении, равном 1 мА и плотности  $0,1\text{--}1\text{ мА/см}^2$ ; двигательные расстройства — при 10 мА и плотности тока  $0,1\text{--}1\text{ мА/см}^2$ ; фибрилляция желудочков сердца возникает при токе 100 мА и плотности тока около  $1\text{ мА/см}^2$ .

### **5.4. Средства обеспечения экологической безопасности от действия ЭТ**

К средствам обеспечения экологической безопасности населения от поражающего действия ЭТ относятся, в основном, коллективные средства защиты. Они должны устанавливаться с учетом электротехнических характеристик установок, способов их электроснабжения, условий эксплуатации, возможности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, и т. д. Основным показателем защиты диэлектриком является сопротивление изоляции. Как правило, значения необходимого сопротивления изложены в нормирующих документах по изготовлению того или иного защитного изолирующего изделия или материала. Очень эффективным является применение защитного заземления и зануления, обеспечивающих защиту людей от поражения ЭТ при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции. Первое выполняется за счет соединения металлических частей электроустановок с «землей» или ее эквивалентом, второе — с заземленной точкой источника питания при помощи нулевого защитного проводника. В ряде случаев применяется так называемое защитное отключение, основанное на автоматическом отключении электроустановки, если на нетоковедущих частях появляется напряжение и возникает опасность поражения током. Существующие устройства защитного отключения позволяют проводить быстрое отключение за  $0,03\text{--}0,1\text{ с}$  при различной чувствительности от единиц до сотен мА. Для предотвращения ошибочных действий персонала, могущих привести к поражению ЭТ, в ряде случаев применяются сигнально-блокировочные устройства. Они также могут выполнять функцию предупреждения на приближение

людей и механизмов на недопустимое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При работе в ряде особо опасных помещений целесообразно переходить на пользование источниками и электроприемниками малого напряжения (ниже 42 В), в том числе и на применение ограничителей напряжения.

Индивидуальные средства защиты применяются в основном персоналом производств с повышенной опасностью поражающего действия ЭТ.

## **6. ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

Лазеры представляют собой источник света огромной интенсивности, высокой спектральной частоты и принадлежат к общему классу молекулярных генераторов, использующих стимулированное излучение.

Термин «лазер» представляет собой аббревиатуру и состоит из начальных букв английских слов «Light amplification by stimulated emission of radiation» (усиление света с помощью индуцированного излучения).

Отличительными свойствами лазера являются когерентность, монохроматичность, остронаправленность луча, короткая длительность импульса, концентрация энергии в малых объемах. Излучение его относится к категории неионизирующих излучений.

Современные лазеры, работающие на различных активных средах (твердотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые) охватывают широкий диапазон длин волн: ультрафиолетовый, видимый и дальний инфракрасный. Важным является режим работы лазера, его временные характеристики: излучение непрерывное, частотное, импульсное, длительность последнего. Имеет большое значение и геометрия луча, так как он является узконаправленным, действующим на большом расстоянии, что в свою очередь представляет большую опасность для глаза.

### **6. 1. Источники**

В настоящее время наблюдается интенсивное внедрение лазеров в технологические процессы, в основу которых положен локальный нагрев материалов излучением лазеров. Сформировалась новая самостоятельная отрасль производства — лазерная технология. Лазеры используются в электронной, часовой, текстильной промышленности, в вычислительной технике, в метрологии, химии, голографии, для обработки и сварки различных материалов, в космических исследованиях. Широкое применение нашли лазеры в медицине при лечении глазных болезней, в частности отслойки сетчатки, ангиопатий, а также при операциях на органах брюшной полости, удалении различных злокачественных новообразований, особенно меланом.

Наряду с указанными областями применения лазеров предполагается использование их в качестве оружия для поражения спутников, крылатых ракет и самолетов. Лазерное оружие может быть использовано

также для поражения живой силы противника, в первую очередь для ослепления и вывода из строя операторов военной техники.

## **6.2. Единицы измерений**

В гигиеническом контроле за условиями труда большое значение имеет измерение основных параметров излучения лазеров. К таковым относятся мощность энергии, спектральный состав излучения и длительность светового импульса. Излучение лазеров характеризуется длиной волны, длительностью импульса, частотой повторения импульсов, диаметром и расходимостью пучка, энергией, или мощностью. Излучение импульсных лазеров выражают в единицах энергии — джоулях (Дж), а непрерывно излучающих — в единицах мощности — ваттах (Вт).

## **6.3. Нормирование**

Предельно допустимые уровни лазерного излучения — это максимальные уровни излучения, которые при ежедневном воздействии не вызывают у людей, работающих с лазерами, заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования как в процессе работы, так и в отдаленные сроки. За ПДУ лазерного излучения принимаются энергетические экспозиции облучаемых тканей, представляющие собой отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к площади этого участка (Дж/см<sup>2</sup>). ПДУ лазерного излучения устанавливаются для двух условий облучения — однократного и хронического для трех диапазонов длин волн:  $180 < \lambda \leq 380$  нм,  $380 < \lambda \leq 1400$  нм,  $400 < \lambda \leq 10^5$  нм. Величины ПДУ для глаз установлены с учетом 10–100-кратного запаса, т. е. в 10–100 раз меньше пороговой плотности энергии. При гигиеническом нормировании лазерного излучения с большой частотой повторения импульсов, непрерывно следующих друг за другом, вводятся поправочные коэффициенты. Эти коэффициенты учитывают закономерности снижения порога повреждения тканей при возрастании частоты генерации импульсов.

Следует отметить, что временное ослепление с полным восстановлением зрения наблюдается уже при плотностях энергии, не превышающих предельно допустимые и пороговые величины.

В случае использования оптических приборов (бинокли, стереотрубы) степень поражения и дальность поражающего действия лазерного излучения могут возрасти в несколько раз.

Опасность поражения органа зрения или временное ослепление с последующим восстановлением функции зрения значительно возрастают в ночное время. Это связано с тем, что ночью зрачок максимально расширен, соответственно увеличивается при этом и пропускаемый поток световой энергии. В дневное время плотность энергии на сетчатке уменьшается примерно в 10 раз и, следовательно, во столько же раз увеличивается предельно допустимая плотность энергии на роговице.

#### **6.4. Медико-биологические аспекты воздействия лазерного излучения**

Наибольшую опасность лазерное излучение представляет для органа зрения и кожи. Характер биологических эффектов в них определяется в первую очередь параметрами излучения лазера: энергией, или мощностью, излучения, длиной волны, длительностью воздействия, режимом работы лазера (импульсный или непрерывный), длительностью импульса, частотой следования импульсов, а также особенностями самих органов и тканей (степень пигментации ткани, фокусирующая способность глаза по сравнению с кожей).

Биологические эффекты, вызываемые лазерным излучением, несмотря на их многообразие, условно можно разделить на несколько видов.

##### **1. Острые первичные эффекты:**

— термические (коагуляция, «испарение» жидкости из ткани);  
— нетермические (ударный эффект, световое давление, временное ослепление).

##### **2. Хронические эффекты (кумулятивное действие).**

Термический механизм действия лазерного излучения преобладает при работе лазеров в непрерывном режиме. Причем при небольших мощностях излучения ведущим является коагуляция белка, а при увеличении мощности — «испарение» жидкости. Механизм биологического действия импульсного излучения более сложен, в нем преобладают нетермические эффекты.

Если при работе лазеров в режиме свободной генерации тепло успевает рассеяться в окружающих тканях и воздействовать на достаточно большой объем тканей, вызывая их повреждение, имеющее характер термического ожога, то работа лазера в режиме модулированной добротности сопровождается мгновенным нагревом тканей до высоких температур, вызывающих подобие взрыва облученных тканевых элементов (ударный эффект). Воздействие такого излучения на глазное дно сопровождается разрывом и отслойкой сетчатки, кровотечением. Кусочки пигмента сетчатки при этом разлетаются во все стороны и в виде осколков глубоко внедряются в стекловидное тело.

Чрезвычайно большое значение имеет эффект временного ослепления для таких специалистов, как операторы, наблюдатели, водители машин и особенно летчики. Временное ослепление (зрительная дезадаптация) наступает в результате засвета сетчатки, особенно области центральной ямки, высокоинтенсивным лазерным излучением. Продолжительность дезадаптации при диффузном засвете сетчатки может быть от нескольких секунд до нескольких часов. В этот период выполнение специалистами своих служебных обязанностей невозможно.

Интимные механизмы хронических эффектов в настоящее время полностью не изучены. Считается, что при воздействии лазерного излучения на ткани образуются соединения, обладающие большой химической ак-

тивностью. Эти соединения, вступая во взаимодействие с тканями организма, приводят к нарушению его основных физиологических функций.

Исследования биологического действия излучения лазеров обнаружили высокую уязвимость глаз. Глаза человека примерно в миллион раз более уязвимы, чем кожные покровы. Это объясняется тем, что оптические среды глаза способны фокусировать излучение, в результате чего плотность энергии на сетчатке возрастает в  $10^4$ – $10^6$  раз по сравнению с роговицей и кожей.

Наибольшая опасность поражения зрительного анализатора возникает при попадании в глаз прямого или зеркально отраженного лазерного излучения. Вероятность такого попадания невелика, но реальна.

Характер и степень повреждения органа зрения определяются преимущественно следующими факторами:

- 1) плотностью энергии на сетчатке или роговой оболочке;
- 2) размерами и локализацией изображения источника излучения на сетчатке;
- 3) длиной волны лазерного излучения.

Значение возрастания плотности энергии или мощности излучения для увеличения степени повреждения глаза является очевидным.

Установлено, что для больших размеров очагов поражения на сетчатке величина пороговой плотности энергии всегда меньше, чем для точечных участков вследствие более медленного рассеивания тепла с больших участков поражений.

Конечный результат воздействия на орган зрения зависит также от того, какая часть сетчатки (по степени важности в функциональном отношении) поражена: если центральная ямка или диск зрительного нерва, то потеря зрения будет наиболее заметной.

Среды глаза пропускают излучение в диапазоне от 0,35 до 1,35 мкм. Лазерное излучение этого диапазона вызывает преимущественно повреждение сетчатки. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения (за исключением небольшой части близких к видимому диапазону участков) поглощаются в основном роговой оболочкой и до сетчатки практически не доходят. Ультрафиолетовое излучение, особенно излучение в диапазоне волн 260–270 мкм, вызывает поражение роговой оболочки (кератит), а также ожог слизистой оболочки глаза (конъюнктивит). Инфракрасное излучение в зависимости от длины волны может поглощаться различными средами глаза, вызывая повышение температуры этих сред, что приводит к необратимой потере зрения вследствие образования катаракты.

### **6.5. Средства и методы обеспечения экологической безопасности от действия лазерного излучения**

Комплекс мероприятий по обеспечению экологической безопасности персонала и населения, которые должны учитываться при их эксплуатации

и закладываться в проекты создаваемых технологических установок, определяется классификацией лазеров по физико-техническим параметрам и степени опасности лазерного излучения.

По степени опасности генерируемого излучения все лазеры подразделяются на четыре класса.

К первому классу относятся лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности для глаз и кожи при остром и хроническом воздействии.

Ко второму классу принадлежат лазеры, эксплуатация которых связана с опасностью поражения органа зрения прямым и зеркально отраженным излучением.

К третьему классу относятся лазеры, выходное излучение которых обуславливает опасность облучения глаз прямым, зеркально и диффузно отраженным излучением. Прямое и зеркально отраженное излучение лазеров данного класса опасно для кожи.

К лазерам четвертого класса относятся такие, выходное диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для кожных покровов.

Кроме того, все лазеры делятся на излучающие в открытое пространство и лазеры, излучение которых может быть изолировано. Первые представляют собой потенциальный источник опасности поражения прямым и зеркально отраженным излучением, вторые могут стать лишь источниками воздействия диффузно отраженного излучения.

Наиболее опасно поражение прямым лазерным излучением. Чаще всего оно носит случайный характер и возникает вследствие грубых нарушений правил техники безопасности.

К коллективным средствам защиты относятся организационные и технические мероприятия, исключающие случайное попадание излучения на людей, находящихся в рабочих и смежных помещениях, а также на территории объекта.

В лабораториях и на предприятиях ведущее значение в обеспечении безопасных условий работы с лазерами имеет правильное размещение последних в соответствующих оборудованных для этой цели помещениях. При выборе помещений, их планировке и установке в них лазеров следует стремиться к тому, чтобы исключить возможность случайного поражения (в особенности глаз) прямым или отраженным излучением лазера как непосредственно людей, работающих с ним, так и посторонних. Для этого рекомендуется размещать лазеры в специально отведенных для них помещениях или местах. Само помещение, оборудование и предметы, находящиеся в нем, не должны иметь зеркальных поверхностей, способных отражать излучение лазера. Специальная аппаратура, имеющая зеркальные поверхности, не относящаяся к самому лазеру, должна располагаться таким образом, чтобы возможность попадания на нее лазерного луча была полностью исключена.

Коллективные средства защиты должны обеспечивать предотвращение воздействия или снижение уровня опасных и вредных производствен-

ных факторов до уровня, не превышающего значения, установленного действующими санитарными нормами. Должен быть предусмотрен контроль за уровнем лазерного излучения на рабочем месте. Устанавливается две формы дозиметрического контроля: общий и индивидуальный. Общий дозиметрический контроль предусматривает измерение наибольших значений энергетической экспозиции в заданных точках пространства с целью определения степени опасности излучения для человека по критерию наиболее неблагоприятного действия. В рамках общего дозиметрического контроля проводится определение лазерно-опасной зоны. Индивидуальный дозиметрический контроль предусматривает измерение реального значения энергетической экспозиции на участках тела оператора.

Среди средств индивидуальной защиты основными являются противолазерные очки различных типов. Принцип защиты заключается в избирательном поглощении световой энергии той или иной длины волны или нескольких длин волн. Так как при этом происходит превращение световой энергии в тепловую, то при высоких уровнях излучения может произойти разрушение защитных фильтров и повреждение глаз. Для предотвращения этого явления используют диэлектрические специальные пленки, способные отражать до 90 % падающей энергии. В настоящее время наибольшее распространение получили комбинированные защитные фильтры, состоящие из поглощающих и отражающих слоев. Современные противолазерные очки позволяют ослаблять излучение в среднем в  $10^5$  раз. Когда существует опасность воздействия лазерного излучения на кожу человека, должны использоваться щитки, маски, технологические халаты из хлопчатобумажной или бязевой ткани, перчатки.

Наряду с защитой от лазерных излучений необходимо добиваться снижения уровней шума, вибрации, концентрации вредных химических веществ до безопасных величин.

Учебное издание

**Бортновский** Владимир Николаевич

**ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов 2, 3 курсов всех факультетов  
медицинских вузов

Редактор *Т. Ф. Рулинская*  
Компьютерная верстка *А. М. Терехова*

Подписано в печать 10.12.2012.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная 65 г/м<sup>2</sup>. Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,3. Тираж 50 экз. Заказ 380.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»  
ЛИ № 02330/0549419 от 08.04.2009.  
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель.

