

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра безопасности производств**

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021**

УДК 621.3.019.34:658.518 (073)

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *П.И. Афанасьев, А.Н. Никулин*. СПб, 2021. 21 с.

Представлены основные теоретические сведения об основах электромагнитной безопасности. Приведены источники электромагнитных полей и излучений, воздействие электромагнитных полей на организм человека. Подготовлены 30 задач с примерами их решения и ответами.

Предназначены для студентов, обучающихся по основной профессиональной образовательной программе высшего образования по специальности подготовки 21.05.04 Горное дело, специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Научный редактор проф. *М.Л. Рудаков*

Рецензент доц. к.т.н., доцент *А.Ю. Олейников* (Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.В. Устинова)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания к практическим занятиям для студентов специальности 21.05.04 Горное дело, специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» могут также использоваться при подготовке практических заданий по дисциплинам «Производственная санитария и гигиена труда», и «Управление техносферной безопасностью».

В методических указаниях представлены общие сведения об основных характеристиках электромагнитных полей и излучений. Рассмотрены источники электромагнитных полей и последствия воздействия электромагнитного излучения на организм человека. Дана характеристика лазерному излучению и классификация лазерной опасности.

Методические указания содержат 30 задач по основам электромагнитной безопасности. По стандартным задачам представлено решение с использованием необходимых данных из Приложения и по всем задачам даны ответы.

### **1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ**

Электромагнитное поле (ЭМП) представляет собой особую форму материи – совокупность двух взаимосвязанных переменных полей: электрического и магнитного, – распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн (ЭМВ).

Электромагнитный спектр включает в себя две основные зоны: ионизирующее и неионизирующее излучение, которые, в свою очередь, подразделяются на отдельные виды излучения.

Неионизирующее излучение объединяет все излучения и поля электромагнитного спектра, у которых не хватает энергии для ионизации материи. Граница между неионизирующим и ионизирующим излучением устанавливается на длине волны примерно в 1 нанометр.

К неионизирующим электромагнитным излучениям и полям относят электромагнитные излучения (ЭМИ) радиочастотного и оптического диапазонов, а также условно статические электрические и

постоянные магнитные поля, поскольку последние, строго говоря, излучениями не являются.

Физические причины существования ЭМП связаны с тем, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает магнитное поле, а изменяющееся магнитное – вихревое электрическое: обе компоненты – напряженность электрического поля  $E$  и напряженность магнитного поля  $H$ , непрерывно изменяясь, возбуждают друг друга.

Электромагнитные волны характеризуются набором параметров, включающих в себя частоту ( $f$ ), длину волны ( $\lambda$ ), напряженность электрического поля ( $E$ ), напряженность магнитного поля ( $H$ ), скорость распространения ( $c$ ) и вектор плотности потока энергии ( $S$ ).

Важной особенностью ЭМИ является деление его на волновую зону, зону индукции и зону дифракции.

В зоне индукции (на расстояниях от источника  $R \leq \frac{\lambda}{2\pi}$ , или «ближней» зоне) ЭМП не сформировано. В этой зоне соотношение между  $E$  и  $H$  зависит от источника и может быть самым различным, поэтому принято рассматривать каждую из них отдельно.

Магнитная составляющая в зоне индукции убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника, а электрическая – кубу расстояния.

В волновой, «дальней», зоне (на расстояниях от источника  $R \gg \frac{\lambda}{2\pi}$  и  $R \gg \frac{D^2}{\lambda}$ , где  $D$  – геометрические размеры источника), ЭМП сформировано. В этой зоне составляющие  $E$  и  $H$  связаны зависимостью  $E = 377H$ . Их направления взаимно перпендикулярны, и электромагнитное поле распространяется в виде бегущих сферических волн.

В дальней зоне наиболее важным параметром является плотность потока энергии  $S$ , которая в общем виде определяется векторным произведением  $E$  и  $H$ .

Излучения, не удовлетворяющие условию  $R \gg \frac{D^2}{\lambda}$ , занимают зону дифракции, в которой электромагнитная энергия распространяется в различных направлениях в виде потоков волн, накла-

дывающийся друг на друга и образующих дифракционные максимумы. Дифракционная зона возникает и на расстоянии  $R \gg \frac{D^2}{\lambda}$ , если существуют предметы, отражающие волны. Энергия излучения в зоне дифракции характеризуется суммарной плотностью потока энергии, равной сумме плотностей отдельных потоков волн.

На практике, как правило, при частотах ниже 300 МГц оцениваются напряженность электрического поля ( $E$ , В/м) и напряженность магнитного поля ( $H$ , А/м). При частотах выше 300 МГц оценивается плотность потока энергии ( $S$ , Вт/м<sup>2</sup>).

Статические электрические поля представляют собой поля неподвижных электрических зарядов либо стационарные электрические поля постоянного тока. Основными физическими параметрами являются напряженность поля ( $E$ , В/м) и потенциалы ( $\varphi$ , В) его отдельных точек.

Постоянные магнитные поля (ПМП) создаются постоянными магнитами, электромагнитами, системами постоянного тока. Основными физическими параметрами, характеризующими ПМП, являются: напряженность ( $H$ , А/м) и магнитная индукция ( $B$ , Тл) [1, 2, 4].

## **2. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Все источники ЭМП в зависимости от происхождения подразделяются на *естественные* и *антропогенные*.

В спектре *естественных* электромагнитных полей условно можно выделить три составляющие:

- геомагнитное поле (ГМП) Земли;
- электростатическое поле Земли;
- переменные ЭМП в диапазоне частот от  $10^{-3}$  до  $10^{12}$  Гц.

*Антропогенные* источники ЭМП в соответствии с международной классификацией делятся на две группы:

- источники, генерирующие крайне низкие и сверхнизкие частоты (от 0 до 3 кГц);
- источники, генерирующие излучение в радиочастотном диапазоне от 3 кГц до 300 ГГц, включая СВЧ-излучение.

К первой группе относятся, в первую очередь, все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии

электропередач – трансформаторные подстанции, электростанции, системы электропроводки, различные кабельные системы); транспорт на электроприводе (железнодорожный транспорт и его инфраструктура, городской – метро, троллейбусы, трамваи).

Источниками второй группы являются передающие радиоцентры, радиостанции низкочастотного, среднечастотного, крайне высокочастотного диапазонов, радиостанции FM, мобильные телефоны, радиолокационные станции (метеорологические, аэропортов), установки СВЧ-нагрева, видеодисплейные терминалы и персональные компьютеры и др. [1, 2, 4].

### **3. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Взаимодействие внешних электромагнитных полей с организмом человека осуществляется путем наведения внутренних полей и электрических токов, величина и распределение которых в теле человека зависит от следующих основных параметров:

- размер, форма, анатомическое строение тела;
- электрические и магнитные свойства тканей (электрическая и магнитная проводимость и проницаемость);
- характеристики электромагнитного поля (частота, интенсивность и др.).

Все это определяет сложный характер воздействия ЭМИ на организм человека, который представляет специфическую объемно-пространственную композицию различных органов и тканей из диэлектрического и проводящего материала. Это воздействие можно представить следующим образом.

Организм человека состоит из множества клеток с жидким содержанием и межклеточной жидкости, являющейся электролитом. Мембраны клеток являются хорошими диэлектриками и надежно изолируют внутриклеточную фазу. Вследствие этого в постоянном электрическом поле возникают ионные токи, которые протекают только по межклеточной жидкости.

В переменных ЭМП мембраны клеток теряют свойства диэлектриков. С возрастанием частоты внутриклеточная среда все больше участвует в общей ионной проводимости, что ведет к увеличению поглощения энергии. При частоте ЭМП более  $10^6$ - $10^7$  Гц ион-

ная проводимость среды остается практически постоянной, а поглощение энергии продолжает увеличиваться за счет потерь на колебание образующихся дипольных молекул среды (главным образом воды и белков).

Поглощение и распределение поглощенной энергии внутри тела существенно зависят также от формы, размера и соотношения размеров тела с длиной волны излучения. С этих позиций в спектре ЭМИ можно выделить 3 области:

- 1) ЭМИ с частотой до 30 МГц;
- 2) ЭМИ с частотой от 30 МГц до 10 ГГц;
- 3) ЭМИ с частотой более 10 ГГц.

Для первой области характерно быстрое падение величины поглощения с уменьшением частоты (приблизительно пропорционально квадрату частоты). Для второй области характерно наличие ряда максимумов поглощения, при которых тело как бы втягивает в себя поле и поглощает энергии больше, чем приходится на его поперечное сечение. Это приводит к возникновению так называемых «горячих пятен». Для человека условия возникновения локальных максимумов поглощения в голове имеют место на частотах 750-2500 МГц, а максимум, обусловленный резонансом с общим размером тела, лежит в диапазоне частот 50-300 МГц.

При воздействии на организм человека ЭМИ частотой более 10 ГГц практически вся энергия поглощается в поверхностных слоях биоструктур.

Энергия проникшего в организм поля многократно отражается и преломляется в многослойной структуре тела с разной толщиной слоев тканей. Вследствие этого энергия ЭМП поглощается неодинаково, чем объясняется неодинаковое воздействие на разные ткани.

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает общее тепловыделение организма. Избыточная теплота отводится до определенного предела путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции. При интенсивности ЭМИ более 10 мВт/см<sup>2</sup>, называемой тепловым порогом, организм не справляется с отводом образующейся теплоты, и температура тела повышается.

Наиболее чувствительны к облучению органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией (мозг, глаза, почки и др.).

При воздействии ЭМП высоких частот, и особенно СВЧ, на живой организм имеет место и нетепловое воздействие, которое является результатом ряда микропроцессов, протекающих под действием резонансных эффектов взаимодействия внешних электромагнитных полей с внутренними полями организма.

Воздействие ЭМИ приводит к различным морфологическим и функциональным изменениям в организме человека. При кратковременном воздействии ЭМИ незначительной интенсивности эти изменения, как правило, являются обратимыми, однако при больших интенсивностях облучения или при систематическом облучении с малыми, но превышающими ПДУ интенсивностями – необратимыми.

Негативное воздействие ЭМП на человека выражается в виде торможения рефлексов, изменения биоэлектроактивности головного мозга, нарушения памяти, развития синдрома хронической депрессии, понижения кровяного давления, замедления сокращений сердца, изменения состава крови в сторону увеличения лейкоцитов и уменьшения эритроцитов, нарушений в печени и селезенке, помутнения хрусталика глаза, выпадения волос, ломкости ногтей. К ЭМП чувствительны также иммунная и репродуктивная системы.

Субъективные критерии отрицательного воздействия ЭМП – головные боли, повышенная утомляемость, раздражительность, нарушения сна, одышка, ухудшение зрения, повышение температуры тела [1, 2, 4].

#### **4. ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Лазер (оптический квантовый генератор) – это генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

Все лазеры состоят из трех основных конструктивных блоков:

1. Активная среда (твердая (рубин), жидкая (органические красители) или газообразная (гелий, неон, углекислый газ)), которая определяет возможную длину волн эмиссии.



2. Источник энергии (например, газовый разряд, электрический ток, импульсная лампа или химическая реакция).

3. Оптический резонатор (простейший оптический резонатор состоит из двух параллельно расположенных зеркал).

Принцип действия лазера основан на свойстве атома (сложной квантовой системы) излучать фотоны при переходе из возбужденного состояния в основное (с меньшей энергией).

Лавинообразный переход атомов за очень короткое время из возбужденного состояния в основное приводит к возникновению лазерного излучения.

Лазерное излучение широко используют в промышленности: при сварке тугоплавких металлов и сплавов, в процессе резки металлов, пластмасс, в фотофизике, фотохимии, спектроскопии, хирургии и др. [1 - 4].

## **5. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОПАСНОСТИ**

Современные стандарты лазерной безопасности во всем мире следуют практике классификации всех лазерных устройств по классам опасности. В России «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91 установлено 4 класса опасности лазеров.

Лазеры 1-го класса не могут испускать потенциально опасного лазерного излучения и не представляют опасности для здоровья. Лазеры 2-4-го классов создают возрастающую (по мере роста класса) опасность для глаз и кожи. Такая система классификации полезна, поскольку для каждого класса лазеров предписаны свои меры безопасности. Для лазеров более высокого класса требуются более строгие меры безопасности.

К 1-му классу относятся полностью безопасные лазеры, т.е. такие лазеры, выходное коллимированное излучение которых не представляет опасности при облучении глаз и кожи. Большинство лазеров, полностью изолированных от человека (например, лазерные записывающие устройства для компакт-дисков), относятся к классу 1. Для лазеров класса 1 не требуется никаких мер безопасности.

Ко 2-му классу относятся лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз или кожи человека

коллимированным пучком (опасность при облучении кожи существует только в 1-м и 3-м спектральных диапазонах); диффузно отраженное излучение безопасно как для кожи, так и для глаз во всех диапазонах. Примерами лазеров класса 2 являются лазерные указки и некоторые регулировочные лазеры.

Лазеры класса 3 – это лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз не только коллимированным, но и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см. Примерами лазеров класса 3 являются многие исследовательские лазеры и военные лазерные дальномеры.

Лазеры класса 4 – лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность не только для глаз, но и для кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Фактически все хирургические лазеры и лазеры для обработки материалов, используемые для сварки и резки, если они не закрыты защитной оболочкой, относятся к классу 4. Все лазеры со средней выходной мощностью более 0,5 Вт также относятся к классу 4.

Класс лазера по степени опасности определяется на основании его выходной энергии (мощности) и предельно допустимых уровней при одноразовом воздействии генерируемого излучения.

## **6. ЗАДАЧИ ПО ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Основные соотношения, физические постоянные и допустимые значения, используемые при решении задач.* Плотность потока энергии (ППЭ), создаваемая источником СВЧ на рабочем месте:

$$\text{ППЭ} = \frac{PG}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность источника СВЧ излучения,  $G$  – коэффициент усиления (направленного действия) антенны,  $R$  – расстояние от источника.

Энергетическая экспозиция ( $W$ ):

$$W = \text{ППЭ} \cdot T, \quad (2)$$

где  $T$  – время излучения.

Величина ослабления (затухания)  $L$ , создаваемая защитным экраном:

$$L = 10 \lg \frac{P}{P_3} \text{ (дБ)}, \quad (3)$$

где  $P_3$  - мощность СВЧ сигнала на рабочем месте при наличии экрана,  $P$  - мощность при его отсутствии.

Допустимая ППЭ для персонала  $10 \text{ Вм/м}^2$  при температуре окружающей среды менее  $29^\circ\text{C}$  и  $1 \text{ Вм/м}^2$  при более высокой температуре. Для населения –  $0,1 \text{ Вм/м}^2$ . Допустимая энергетическая нагрузка  $W_{\text{доп}} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{час/м}^2$ . Допустимая ППЭ при пользовании мобильным телефоном, микроволновой печью -  $W_{\text{доп}} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{час/м}^2$ .

Толщина сплошного защитного экрана определяется соотношением:

$$\delta = \frac{\ln L}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}, \quad (4)$$

где  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  - магнитная проницаемость среды (воздуха);  $\sigma$  - удельная электрическая проводимость.

Величина напряженности магнитного поля, создаваемого током  $I$  в проводнике:

$$H = \frac{I}{2\pi R}, \quad (5)$$

$R$  – расстояние;  $1 \text{ мкТл} = 0,8 \text{ А/м}$ .

1. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии  $1 \text{ м}$  от источника составляет величину  $50 \text{ мкВт/см}^2$ . Сколько времени можно работать без применения защитных средств?

Решение.

Используя значение для допустимой энергетической нагрузки и соотношение (2), получаем:

$$T_{\text{доп}} = \frac{W_{\text{доп}}}{\text{ППЭ}}. \quad (6)$$

Переводя единицы измерения в одну систему, имеем:

$$T_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{50 \cdot 10^{-6}} = 4 \text{ час}. \quad (7)$$

Ответ: 4 часа.

2. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину 50 мкВт/см<sup>2</sup>. На каком расстоянии можно работать без применения защитных средств в течение 8 часов?

Решение.

Из соотношения (2) для допустимой плотности потока энергии при 8-ми часовом рабочем дне получаем:

$$\text{ППЭ}_{\text{доп}} = \frac{W_{\text{доп}}}{T} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{8} = 0,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} = 0,25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (8)$$

Из соотношения (1) следует:  $\text{ППЭ}_{\text{доп}} = \frac{P_G}{4\pi R^2}$ . Поделив соотношение (1) на полученное, находим:  $R_{\text{доп}} = R \cdot \sqrt{\frac{\text{ППЭ}}{\text{ППЭ}_{\text{доп}}}}$ .

Отсюда требуемое расстояние

$$R_{\text{доп}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{0,25}} = 1,41 \text{ м}. \quad (9)$$

Ответ: 1,41 м.

3. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину 50 мкВт/см<sup>2</sup>. На каком расстоянии от источника можно работать 8 часов при наличии экрана с затуханием 10 дБ?

Решение.

ППЭ СВЧ излучения при наличии экрана составляет величину в 10 раз меньше исходной  $L = 10 \text{ дБ} = 10 \text{ раз}$  или  $\text{ППЭ} = 5 \text{ мкВт/см}^2$ . Затем решение аналогично задачи 2.

$$R_{\text{доп}} = R \cdot \sqrt{\frac{\text{ППЭ}}{\text{ППЭ}_{\text{доп}}}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{0,05}{0,25}} = 0,447 \text{ м}. \quad (10)$$

Ответ: 0,447 м.

4. Измерения показали, что на расстоянии 0,8 м мощность P электромагнитной волны с длиной 3,2 см составила 600 мкВт (эффективная площадь антенны S равняется 25 см<sup>2</sup>, а коэффициент преобразования k= 0,85). Требуется определить время, которое может

работать настройщик СВЧ аппаратуры на расстоянии 0,4 м от источника излучения без ущерба для здоровья.

Решение.

Определим плотность потока энергии (ППЭ) на расстоянии 0,8 м согласно соотношению:

$$W_{\text{изм}} = \frac{P}{KS'} \quad (11)$$

$$W_{\text{изм}} = \frac{600}{25 \cdot 0,85} = 28,25 \text{ мкВт/см}^2. \quad (12)$$

Определим ППЭ на требуемом расстоянии 0,4 м. Так как ППЭ изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, а расстояние уменьшилось в 2 раза, то ППЭ на расстоянии 0,4 м составит величину:

$$W = 4W_{\text{изм}} = 113 \text{ мкВт/см}^2. \quad (13)$$

Определим время безопасной работы  $T$ , т.е. при котором не будет превышена допустимая значение ППЭ.

$$T = \frac{W_{\text{доп}}}{\text{ППЭ}} = \frac{2}{113 \cdot 10^{-2}} = 1,77 \text{ час}. \quad (14)$$

Таким образом, время безопасной работы составит 1 час 46 мин.

Ответ: 1 час. 46 мин.

5. Источник СВЧ электромагнитного излучения с длиной волны 4 см имеет выходную мощность  $P=200$  мВт. На каком минимальном расстоянии можно находиться от источника в течение рабочего дня (8 час.), если коэффициент усиления антенны  $G=1$ .

Ответ: 0,252 м.

6. Мощность излучения РЛС на частоте 10 ГГц составляет 10 кВт. Коэффициент направленности антенны равен 100. Найти безопасное расстояние, на котором могут постоянно находиться люди. Найти минимальное время пребывания персонала без защитных средств на расстоянии 50 м от антенны.

Ответ: 892 м; больше допустимых ППЭ.

7. Мощность радиотелефона на частоте 1000 МГц составляет 0,2 Вт. Трубка с излучателем прикладывается к уху, а антенна излучателя находится на расстоянии 1 см от виска. Найти допустимое

время пользования радиотелефоном за сутки, если коэффициент направленности равен 0,05.

Ответ: 15 мин.

8. При проведении испытаний радиопередатчика СВЧ с мощностью 500 Вт его излучение попадает на кабину настройщика, находящегося на расстоянии 5 м от излучателя (коэффициент направленности 20). Каким ослаблением должен обладать экран, чтобы обеспечить безопасную работу в течение рабочего дня.

Ответ: 128 раз или 21 дБ.

9. Найти ослабление СВЧ излучения на частоте 10 ГГц, обеспечиваемого сетчатым экраном, выполненным из латунной проволоки диаметром  $2r=0,1$  мм и размером ячейки  $a=0,8$  мм.

Решение.

Ослабление  $L$ , создаваемое сетчатым экраном, определяется соотношением

$$L = \frac{B^2}{4}, \quad (15)$$

где  $B = \frac{\lambda}{a} \left( \ln \frac{0,83 \cdot \exp \frac{2\pi r}{a}}{\exp \frac{2\pi r}{a} - 1} \right) = 40$ .

$$L = \frac{40^2}{4} = 400 \text{ раз, или } 26 \text{ дБ.}$$

Ответ: 26 дБ.

10. Найти ослабление СВЧ излучения на частоте 7500 МГц, создаваемое сетчатым экраном, выполненным из медной проволоки диаметром 0,5 мм и размером ячейки 2x2 мм.

Ответ: 27,5 дБ.

11. На каких частотах обеспечивает сетчатый экран, выполненный из проволоки толщиной 0,2 мм и размерами ячейки 3x3 мм, затухание не менее 20 дБ.

Ответ: 3,36 ГГц и более.

12. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину 50 мкВт/см<sup>2</sup>. Сколько часов можно работать без применения защитных средств на расстоянии 0,5 м?

Ответ: 1 час.

13. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника с выходной мощностью 100 мВт составляет величину  $50 \text{ мкВт/см}^2$ . До какой величины следует уменьшить мощность источника СВЧ излучения при 8-ми часовом рабочем дне?

Ответ: до 50 мВт.

14. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину  $100 \text{ мкВт/см}^2$ . На какое расстояние необходимо отодвинуться от источника при 8-ми часовом рабочем дне?

Ответ: на 1 м.

15. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину  $50 \text{ мкВт/см}^2$ . Какое затухание должен обеспечивать защитный экран при 8-ми часовом рабочем дне на расстоянии вдвое ближе данного?

Ответ: 8 раз или 9 дБ.

16. Мощность сотового телефона на частоте 1800 МГц составляет 200 мВт. Каков должен быть коэффициент направленного действия излучателя при расстоянии его от уха в 2 см, чтобы можно было пользоваться телефоном 2 час в сутки без угрозы для здоровья?

Ответ: 0,025.

17. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину  $80 \text{ мкВт/см}^2$ . На каком расстоянии можно работать без применения защитных средств в течение 8 час?

Ответ: 1,79 м.

18. Плотность потока энергии СВЧ излучения от источника мощностью 120 мВт на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину  $50 \text{ мкВт/см}^2$ . До какой величины следует уменьшить мощность источника СВЧ излучения при 8-ми часовом рабочем дне?

Ответ: до 60 мВт.

19. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет величину 150

мкВт/см<sup>2</sup>. На какое расстояние необходимо отодвинуться от источника при 4-х часовом рабочем дне?

Ответ: на 0,73 м.

20. Плотность потока СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника с выходной мощностью 66 мВт составляет 60 мкВт/см<sup>2</sup>. На сколько следует уменьшить мощность источника при 5 часовом рабочем дне?

Ответ: на 22 мВт.

21. На расстоянии 0,5 м от источника можно работать без защитных средств 15 мин. Какова будет плотность потока энергии СВЧ излучения в этом случае на расстоянии 1 м при наличии экрана с затуханием 6 дБ?

Ответ: 0,5 Вт/м<sup>2</sup>.

22. Какова мощность сотового телефона при пользовании им 2 часа в сутки, коэффициенте направленного действия 0,05 и расстоянии от уха 4 см?

Ответ: 0,4 Вт.

23. Плотность потока энергии СВЧ излучения на рабочем месте на расстоянии 1 м от источника составляет 100 мкВт/см<sup>2</sup>. Сколько времени можно работать при использовании защитного экрана с затуханием в 3 дБ?

Ответ: 4 часа.

24. Мощность передатчика, установленного на крыше здания, составляет 100 Вт. Какое затухание должна обеспечить защитная экранировка при расположении жилых помещений на расстоянии 4 м и коэффициенте направленного действия антенны 0,6?

Ответ: 4,75 дБ.

25. Подобрать экран для обеспечения безопасной работы испытателю СВЧ аппаратуры в течение рабочего дня на расстоянии 1 м от источника излучения мощностью 15 Вт, частотой 12 ГГц и коэффициентом направленности 5.

Ответ: 13,8 дБ.

26. Лабораторная установка содержит лазер типа ЛГН-105 мощностью 0,5 мВт с длиной волны 630 нм. Определить ПДУ и класс опасности лазера.



Решение.

Учитывая, что время воздействия лазерного излучения составляет в данном случае время рефлекторной реакции глаза, равное 0,25 с, по таблице 2 находим энергетическую экспозицию

$W_{\text{ПДУ}} = 4,8 \cdot 10^{-5}$  Дж или допустимое значение мощности лазера  $P_{\text{ПДУ}} = 19,2 \cdot 10^{-5}$  Вт.

Далее, используя соотношения из таблицы 1 определяем, что

$$0,5 \cdot 10^{-3} < 8 \cdot 10^2 \cdot 19,2 \cdot 10^{-5} = 15,36 \cdot 10^{-2} \text{ Вт,}$$

т.е. имеем лазер 2-го класса.

Ответ: лазер 2-го класса.

27. Определить ПДУ и класс опасности лазера ЛГ-75 с мощностью излучения 200 мВт и длиной волны 630 нм.

Ответ РПДУ= $19,2 \cdot 10^{-5}$  Вт, задан лазер 3-го класса опасности (см. решение предыдущей задачи).

28. Определить ПДУ и класс опасности лазера с мощностью излучения 10 мВт, длиной волны 1200 нм при воздействии на оператора коллимированного излучения в течении 10 сек.

Ответ: РПДУ= $0,34$  мВт; лазер 2-го класса.

29. Определить толщину защитного экрана из меди, создающего ослабления в 40 дБ на частоте 10 ГГц ( $\sigma = 58 \cdot 10^6 \text{ См м / }$ ).

Ответ: 6,15 мкм.

30. Превышает ли магнитная индукция допустимое значение для населения (в РФ - 5 мкТл, в Швеции – 0,2 мкТл), создаваемая током в 10 А на расстоянии 0,5 м?

Ответ: не превышает в РФ (4 мкТл).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов / К.З. Ушаков, Н.О. Каледина, Б.Ф. Кирин, М.А. Сребный. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2000. 430 с.

2. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2005. 383 с.

3. Русак О.Н. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / О.Н. Русак, К.Р. Малаян, Н.Г. Занько - 13-е изд., испр. и доп. – СПб: Лань, 2010. 448 с.

4. Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум/ С.В. Ефремов, К.Р. Малаян, В.П. Малышев и др. под общ. ред. В.П.Малышева. – СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2011. – 129 стр.

## Приложение

Таблица 1.

### Соотношения для определения класса опасности лазеров.

Длина волны, нм	Класс опасности	Мощность лазерного излучения, Вт
180 - 380	1	$*P(t) < E_{\text{ПДУ}}(t) \cdot S_n$
	2	$*P(t) < \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$
	4	$*P(t) > \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$
1400 - $10^5$	1	$*P(t) < E_{\text{ПДУ}}(t) \cdot S_n$
	2	$*P(t) < \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$
	4	$*P(t) > \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$
380 - 750	1	$**P(t) < P_{\text{ПДУ}}(t)$ , если $d < 7$ мм и $**P(t) < \frac{d^2}{49} P_{\text{ПДУ}}(t)$ , если $d > 7$ мм
	2	$**P(t) < 8 \cdot 10^2 P_{\text{ПДУ}}(t)$
	3	$*\Delta P(t) < \pi \cdot 10^4 P_{\text{ПДУ}}(t)$
	4	$*\Delta P(t) > \pi \cdot 10^4 P_{\text{ПДУ}}(t)$
750-1400	1	$*P(t) < P_{\text{ПДУ}}(t)$ , если $d < 7$ мм и $*P(t) < \frac{d^2}{49} P_{\text{ПДУ}}(t)$ , если $d > 7$ мм
	2	$*P(t) < 8 \cdot 10^2 P_{\text{ПДУ}}(t)$
	3	$*\Delta P(t) < \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$
	4	$*\Delta P(t) > \pi \cdot 10^{-2} E_{\text{ПДУ}}(t)$

Примечания к таблице 1.

$P(t)$  – выходная мощность лазера;

$E_{\text{ПДУ}}(t)$  - предельно допустимое значение облученности ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ );

$P_{\text{ПДУ}}(t)$  - предельно допустимый уровень мощности ( $\text{Вт}$ );

$S_n$  - площадь поперечного пучка лазерного излучения ( $\text{м}^2$ );

$d$  - диаметр пучка лазерного излучения ( $\text{м}$ );

\* - длительность воздействия непрерывного лазерного излучения в диапазонах от 180 до 380 нм и свыше 750 нм принимается равным 10 с;

\*\* - длительность воздействия непрерывного лазерного излучения в диапазонах от 380 до 750 нм принимается равным 0,25 с;

$\Delta$ - предельно допустимые уровни  $E_{\text{ПДУ}}(t)$  для кожи.

Класс опасности лазерного изделия определяется классом используемого в ней лазера. Лазер относится к конкретному классу опасности, если характеристики лазерного излучения превышает ПДУ для всех более низких классов, но не превышает ПДУ для класса, к которому он отнесен.

Соотношения для определения WПДУ при однократном воздействии на глаза коллимированного лазерного излучения в диапазоне 380-1400 нм указаны в таблице 2. Длительность воздействия меньше 1 с. Ограничивающая апертура  $7 \times 10^{-3}$  м.

Таблица 2.

Длина волны $\lambda$ , нм	Длительность облучения t, с	W <sub>ПДУ</sub> , Дж
380 - 600	$t \leq 2,3 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2,3 \cdot 10^{-11} - 5,0 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-3}$
600 - 750	$5,0 \cdot 10^{-5} - 1,0$	$5,9 \cdot 10^{-5} \sqrt[3]{t^2}$
	$t \leq 6,5 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$6,5 \cdot 10^{-11} - 5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
750 - 1000	$5,0 \cdot 10^{-5} - 1,0$	$1,2 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$
	$t \leq 2,5 \cdot 10^{-10}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2,3 \cdot 10^{-10} - 5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
1000 - 1400	$5,0 \cdot 10^{-5} - 1,0$	$3,0 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$
	$t \leq 10^{-9}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$10^{-9} - 5,0 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$
	$5,0 \cdot 10^{-5} - 1,0$	$7,4 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Характеристики электромагнитных полей и излучений .....	3
2. Источники электромагнитных полей .....	5
3. Воздействие электромагнитного излучения на организм человека	6
4. Лазерные излучения .....	8
5. Классификация лазерной опасности.....	9
6. Задачи по основам электромагнитной безопасности .....	10
Библиографический список.....	18
Приложение .....	19

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *П.И. Афанасьев, А.Н. Никулин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
безопасности производств

Ответственный за выпуск *П.И. Афанасьев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.12.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,2. Усл.кр.-отт. 1,2. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 50 экз. Заказ 1129.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2