

С.М. Аполлонский

ЗАЩИТА ТЕХНОСФЕРЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ

В ТРЕХ ТОМАХ

Том 3
Методы защиты от физических полей
и излучений

Монография

RU
Science
RU-SCIENCE.COM

Москва
2016

УДК 504.75
ББК 20.1
А76

Аполлонский С.М.

А76

Защита техносферы от воздействия физических полей и излучений. В 3 т. Т. 3. Методы защиты от физических полей и излучений : монография / С.М. Аполлонский. — М. : РУСАЙНС, 2016. — 336 с.

ISBN 978-5-4365-0779-8

DOI 10.15216/978-5-4365-0779-8

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами безопасности технических средств и человека при воздействии физических полей и излучений; для магистров, аспирантов и научных работников, специализирующихся в области электромагнитной безопасности технических средств и биообъектов, а также для студентов технических учебных заведений, изучающих влияние на биосферу физических полей и излучений, включающих неионизирующие электромагнитные излучения, ионизирующие излучения и виброакустические воздействия. Рассмотренные вопросы могут оказаться полезными для медицинских работников, сталкивающихся с рассмотренными проблемами в практической деятельности.

The book is intended for scientific and technical workers, dealing with the safety of technical facilities and on exposure to the physical fields and radiation; for graduate, post-graduate students and researchers specializing in the field of electromagnetic safety of technical devices and biological objects, as well as for students of technical schools, studying the impact on the biosphere of physical fields and radiation, including non-ionizing electromagnetic radiation, ionizing radiation, and vibro-acoustic effects. The above questions can be useful for health professionals faced with addressing the problem in practice.

**УДК 504.75
ББК 20.1**

ISBN 978-5-4365-0779-8

© Аполлонский С.М., 2016
© ООО «РУСАЙНС», 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большинство из физических полей и излучений, присутствующих в техносфере при определённых уровнях становятся опасными для технических устройств и вредными для жизнедеятельности биообъектов, в том числе и человека. Поэтому изучают их воздействие; определяют предельно допустимые уровни для каждого из них, что и отражают в нормативно-правовой документации (см. т. I монографии); разрабатывают и подбирают материалы, с помощью которых можно существенно ослабить воздействие их на биосферу и технические средства (см. т. II монографии) и разрабатывают защитные (экранирующие) конструкции от чрезмерного воздействия (см. т. III монографии). Качество защитных конструкций во многом зависит от тех материалов, которые используют при их изготовлении.

Том III монографии посвящён рассмотрению способов защиты биосферы и технических средств от физических полей и излучений и экранирующих систем, которые используются при этом. Том содержит три раздела.

В первом разделе рассмотрены защитные системы, предназначенные для снижения уровня неионизирующих электромагнитных полей (ЭМП) и излучений. Сюда следует отнести: ЭМП и излучения; световое, инфракрасное, ультрафиолетовое и лазерное излучения. При их снижении можно использовать практически одни и те же защитные средства.

Во втором разделе рассматриваются традиционные способы и системы защиты, применяющиеся при снижении различных видов радиации, в том числе и рентгеновской.

Третий раздел посвящён рассмотрению способов и систем, используемых при защите от виброакустических воздействий.

РАЗДЕЛ I. ЗАЩИТА ОТ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ

ГЛАВА 1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

ЭМП широко используются в народном хозяйстве, науке, медицине, быту, расширяя возможности техники и обеспечивая комфорт. Вместе с тем систематическое воздействие на человека ЭМП с интенсивностями, превышающими определенные значения, может приводить к функциональным расстройствам в его организме.

Все защитные мероприятия от ЭМП, как и от любых физических полей, воздействующих на технические средства (ТС) и человека, объединяют в две группы: коллективные и индивидуальные. Первые предусматривают групповую защиту от ЭМП обслуживающего персонала и других лиц, находящихся в зоне воздействия ЭМП, включая население. Вторые – непосредственную защиту каждого специалиста, подвергающегося опасности воздействия ЭМП, либо отдельной группы населения.

Коллективные меры защиты осуществляются проведением организационных и инженерно-технических мероприятий.

Индивидуальные – инженерно-техническими мероприятиями с использованием средств индивидуальной защиты и лечебно-профилактическими мероприятиями.

Организационные мероприятия включают:

- Защиту расстоянием (рациональное размещение оборудования рабочих мест при проектировании, выбор маршрутов перемещения обслуживающего персонала на безопасных расстояниях от источников ЭМП, обеспечивающих соблюдение ПДУ, и выделение зон с уровнями ЭМП, превышающих ПДУ, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание персонала).

- Защиту временем (ограничение времени нахождения персонала в зоне облучения).

- Выбор рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала.

- Выбор места ремонта оборудования вне зоны влияния ЭМП и других источников.

- Использование запрещающих, предупреждающих и предписывающих знаков безопасности для информации об электромагнитной среде.
- Использование световой и звуковой сигнализации.
- Требование соблюдения правил безопасности эксплуатации источников ЭМП.

Инженерно-технические мероприятия направлены на ограничение поступления энергии ЭМП на рабочие места персонала и места возможного нахождения людей и обеспечиваются за счет:

- Снижения интенсивности ЭМП непосредственно самих источников излучения.
- Экранирования источников излучения.
- Защиты рабочих мест от ЭМП.

Экранирование источников ЭМП может быть полным и частичным. Полное экранирование предусматривает создание замкнутых экранов из металлов. Устройства, экранирующие рабочие места, должны уменьшать интенсивности ЭМП, быть удобными в работе и гарантировать безопасность работы в отношении механических и электрических травм.

Способ защиты в каждом конкретном случае определяется с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой эффективностью защиты. На практике применяется либо один способ защиты, либо одновременно несколько способов.

На каждое защитное приспособление составляется техническая документация с указанием назначения, диапазона частот, в котором приспособление может быть использовано, допустимой мощности рассеяния, обеспечивающей эффективность защиты и т. д.

Средства защиты должны обеспечивать соблюдение требований санитарно-гигиенических и противопожарных норм, не искажать существенно ЭМП, не снижать качество технического обслуживания и ремонта, не снижать производительность труда.

Индивидуальные инженерно-технические мероприятия проводятся в случаях, когда другие способы защиты не приемлемы или неэффективны.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение и раннее обнаружение состояния здоровья лиц, профессионально связанных с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП. Лица с начальными проявлениями клинических нарушений, обусловленных воздействием ЭМП, а также с общими заболеваниями, течение которых может усугубляться под влиянием неблагоприятных факторов

производственной среды, должны ставиться на диспансерный учет с проведением соответствующих гигиенических и терапевтических мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и восстановление состояния здоровья работающих.

1.2. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В процессе трудовой деятельности человека необходимо надежно защитить от вредного воздействия статического электричества (СЭ) и исключить возможность возникновения взрывов и пожаров.

Мероприятия по защите человека от действия СЭ сводятся либо к исключению возможности накопления ЭЗ опасной величины, либо к снижению потенциалов тел за счет увеличения их емкости по отношению к земле при сохранении в технологическом процессе возможности образования СЭ.

На стадии проектирования и изготовления оборудования материалы взаимодействующих деталей выбирают с учетом трибоэлектрических рядов [1.3]. Этим предотвращается возможность возникновения ЭЗ или обеспечивается их взаимная нейтрализация в случае возникновения. Генерацию ЭЗ сводят к минимуму за счет уменьшения площади контакта и относительной скорости перемещения контактирующих поверхностей, снижения сил трения, а также подбора режимов технологического процесса, при которых возможны релаксации ЭЗ.

При перекачке жидких диэлектриков по трубопроводам устанавливают ограничение скорости транспортировки жидкости с учетом ее удельного объемного электрического сопротивления. Допустимая скорость движения нефтепродуктов (керосин, авиационный бензин, нефть, дизельное топливо, мазут) при диаметрах трубопроводов до 200 мм составляет 1,2 м/с.

Защита человека от ЭЗ осуществляется коллективными и индивидуальными средствами. К коллективным средствам относятся заземляющие, увлажняющие и экранирующие устройства, нейтрализаторы, антиэлектростатические вещества и покрытия, знаки безопасности.

Заземляющие устройства выполняют в виде забитых в землю вертикальных металлических стержней. Величина сопротивления заземляющего устройства не должна превышать 100 Ом. Заземляющие устройства присоединяют к металлическим частям технологического оборудования, где возможно возникновение СЭ. Обязательному заземлению подлежат металлические части эстакад, трубопроводы, подвиж-

ные средства перекачки, резервуары, автоцистерны, телескопические трубы, рукава и наконечники во время слива и налива нефтепродуктов.

Антистатическое заземление на судах обеспечивается за счет надежного электрического контакта элементов систем и отдельных устройств с корпусом судна. Для стекания ЭЗ в землю увеличивают проводимость полов в помещениях, в частности, бетон полов изготавливают из цемента, смешанного с сажей.

Увлажняющие устройства обеспечивают необходимую влажность поверхности или объема заряженного материала. При относительной влажности 65 % и более содержание воды на поверхности и в объеме диэлектрических материалов становится достаточным, чтобы ЭЗ, имеющиеся на поверхности, «стекали» с поверхности. На практике высокая относительная влажность воздуха в помещении поддерживается за счет испарения воды с поверхности резервуаров, распыления воды и выпуска пара из форсунок.

Экранирующие устройства обеспечивают снижение напряженности электростатического поля (ЭСП) в рабочей зоне до допустимых значений. Экранирующие устройства заземляются.

В ряде случаев защитными экранами могут служить диэлектрические оболочки с высокой диэлектрической проницаемостью. Они оказывают некоторое экранирующее влияние на ЭСП.

Нейтрализаторы СЭ предназначены для снижения величин ЭЗ путем ионизации электризующегося материала или среды вблизи его поверхности. Нейтрализаторы должны соответствовать требованиям санитарно-гигиенических норм допустимых уровней ионизации воздуха и норм радиационной безопасности.

По принципу действия нейтрализаторы (устройства, ионизирующие воздух) подразделяются на индукционные, высоковольтные, лучевые, аэродинамические.

Нейтрализация СЭ сводится к образованию необходимого количества положительных и отрицательных ионов в местах генерирования и скопления ЭЗ. Эффективными ионизаторами воздуха являются также ЭП большой напряженности и радиоактивные излучения.

Анти-электростатические вещества — вещества, которые обладают незначительной электропроводностью. Будучи нанесенными на поверхность диэлектрика, они снижают удельное поверхностное электрическое сопротивление материала до 10^9 Ом и ниже. ЭЗ стекают с поверхности диэлектрика. Со временем свойства анти-электростатических веществ изменяются, а поверхностное сопротивление возрастает.

Средствами индивидуальной защиты являются анти-электростатическая одежда, анти-электростатическая обувь, анти-электростатические предохранительные приспособления (кольца, браслеты), анти-электростатические средства защиты рук. Для изготовления анти-электростатической одежды применяются материалы с удельным поверхностным электрическим сопротивлением не более 10^7 Ом. Электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной подошвы обуви должно быть от 10^6 до 10^8 Ом. Запрещается использование резиновой обуви.

Анти-электростатический браслет одевают на руку оператора и заземляют через резистор сопротивлением 1 Мом. Сопротивление обеспечивает безопасность оператора при случайном появлении напряжения на заземленных частях оборудования.

В полупроводниковой промышленности используют анти-электростатические халаты. При выполнении операций сидя тело человека заземляется анти-электростатическим халатом и анти-электростатической подушкой.

Электростатическая искробезопасность обеспечивается за счет создания условий, предупреждающих возникновение разрядов СЭ, способных стать источником зажигания объектов защиты.

Электростатическая искробезопасность объектов защиты достигается при условии выполнения соотношения [1.4]

$$W < 0,4W_{\min}$$

где W — энергия разряда, которая может возникнуть внутри объекта или с его поверхности, Дж; W_{\min} — минимальная энергия зажигания, указанная в стандартах и технических условиях на вещества и материалы, Дж.

1.3. ЗАЩИТА ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Источниками постоянных магнитных полей (ПМП) являются электромагниты постоянного тока, соленоиды, импульсные установки полупериодного или конденсаторного типа, литые металлокерамические постоянные магниты. С помощью электромагнитов осуществляется преобразование механической энергии в электрическую и наоборот. Электромагниты постоянного тока создают силы, действующие на ферромагнитные предметы, и обеспечивают работу установок для раз-

деления изотопов, магнитогидродинамических систем, ускорителей заряженных частиц термоядерных установок.

Внешние ПМП остаточного намагничивания создаются большинством электромеханических преобразователей энергии.

Защита обслуживающего персонала магнитных устройств и рабочих, занятых на обработке литых и металлокерамических постоянных магнитов осуществляется организационными и инженерно-техническими мероприятиями.

На стадии проектирования магнитных устройств выбирают конструктивные решения, которые обеспечивают минимальные значения напряженности внешних ПМП. Рабочие места стремятся располагать на площадях, где напряженности ПМП не превосходят ПДУ ПМП – 8 кА/м (100 Э).

При необходимости ограничивается продолжительность пребывания персонала в условиях воздействия ПМП.

Инженерно-технические мероприятия предусматривают экранирование магнитных устройств и рабочих мест, причем экраны изготавливаются из материалов с высокой абсолютной магнитной проницаемостью. В качестве индивидуальных средств защиты от ПМП используют шапочки и юбки из пермаллоя.

1.4. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Электрические поля (ЭП) промышленной частоты в первую очередь представляют опасность для персонала, обслуживающего открытые распределительные устройства, высоковольтные установки, высоковольтные аппараты и линии электропередачи (ЛЭП).

Коллективная защита работающих на рабочих местах и в местах возможного их пребывания осуществляется стационарными и переносными экранирующими устройствами, выполненными из материалов с высокой электропроводимостью (металлов). Диаметры канатов и прутков, из которых экраны изготавливаются, должны обеспечивать отсутствие видимой короны и быть не менее 6 мм. Между собой элементы экранов размещают на расстоянии 350 – 500 мм. Ячейки сеточных экранов составляют не более 50 × 50 мм.

Экранирующие устройства заземляются через заземлители или заземленные объекты.

Стационарные экранирующие устройства имеют вид козырьков, навесов, перегородок. Козырьки изготавливаются из металлической сет-

ки и устанавливаются у шкафов управления воздушных выключателей, у силовых распределительных шкафов и т.д. Навесы в виде заземленных стальных тросов, проводов и арматуры размещают над распределительными устройствами и в местах, с которых производится осмотр ТС.

Переносные экранирующие устройства изготавливаются в виде навесов, палаток, перегородок, щитов. Переносные щиты применяются в качестве съемных экранов, на лесах, при работах на воздушных выключателях, корзинах телескопических вышек и гидроподъемниках. Расстояние от экранов до токоведущих частей ТС должны соответствовать правилам устройства электроустановок.

Снижение напряженности ЭП под проводами ЛЭП обеспечивается за счет увеличения высоты опор, высоты подвеса проводов, специальных компоновочных решений. На распределительных устройствах напряженность ЭП понижается путем использования компенсирующего действия разноименных фаз токоведущих частей, выполнением шин с минимальным количеством расщепленных проводов в фазе и минимально возможным их провесом.

Коллективные меры защиты персонала от ЭП также предусматривают использование оградительных устройств, выделяющих опасные зоны, и применение знаков безопасности, например, предупреждающего знака «Осторожно! Электрическое напряжение», рис. 1.1.



Рис. 1.1. Знак, предупреждающий об опасных значениях электрического напряжения

Для защиты населения от ЭП устанавливается охранный зона в виде воздушного пространства над землей, ограниченного двумя параллельными вертикальными поверхностями, удаленными от ЛЭП различных напряжений на расстояния, указанные в табл. 1.1. В пределах охранной зоны ЛЭП запрещается осуществлять строительные и монтажные работы, размещать жилые и общественные здания и сооруже-

ния, предприятия по обслуживанию автотранспорта, склады нефти и нефтепродуктов, а также проводить посадку и вырубку деревьев, складывать корма, удобрения, топливо. Вместе с тем разрешается располагать сельхозугодия, не требующие ручной обработки, выполнять поливные работы, если водяная струя поднимается на высоту не более 3 м от земли. Ширина охранной зоны определяет границу жилищной застройки вблизи ЛЭП.

На границах охранной зоны вдоль жилых зданий напряженность ЭП не должна превышать 1,0 кВ/м. Считается, что ЭП при такой напряженности не оказывает вредного воздействия на здоровье человека. Время пребывания человека в таких полях не лимитируется.

Таблица 1.1

Охранная зона ЛЭП

Напряжение проводов, кВ	Удаление от проекции по перпендикуляру крайнего провода на землю до границы зоны, м
До 20	10
Свыше 20 до 35	15
35 – 110	20
110 – 220	25
220 – 500	30
500 – 750	40
750 – 1150	55

В случае нахождения в санитарно-защитной зоне машин и механизмов на пневматическом ходу они должны быть заземлены. В качестве заземлителя может использоваться цепь, соединенная с кузовом или рамой и касающаяся земли. Машины и механизмы без крытых металлических кабин при работах в санитарно-защитной зоне ЛЭП 750 и 1150 кВ должны быть оснащены экранами.

При размещении вновь строящихся ЛЭП расстояние от оси проводов ЛЭП до границы населенных пунктов, как правило, не должно быть менее 250 м (ЛЭП 750 кВ) и 300 м (ЛЭП 1150 кВ).

Индивидуальная защита обслуживающего персонала, открытых распределительных устройств и ЛЭП от воздействия ЭП промышленной частоты осуществляется двумя видами экранирующих комплектов, которые включают в себя спецодежду, спецобувь, средства защиты рук и лица. Комплекты обеспечивают безопасность работающих, уменьшая

величины токов смещения через тело человека до допустимых значений.

Первый вид комплекта предназначен для выполнения работ под потенциалом земли в распределительных устройствах и ЛЭП 330 – 1150 кВ, когда напряженность ЭП не превышает 60 кВ/м. Разновидность этого комплекта, используемая ремонтным персоналом, состоит из куртки с копушоном, брюк, рукавиц (перчаток), экрана для лица и ботинок (сапог). Составные части комплекта, выполнены из проводящих материалов, соединены электрически между собой и через специальные зажимы присоединены к контуру заземления. Экран для лица содержит сетку из электропроводящих нитей. Ботинки – с электропроводящей подошвой.

Индивидуальной защитой дежурного персонала являются халаты с капюшоном, рукавицы, ботинки. Коэффициент экранирования рассмотренных модификаций первого вида комплектов – 30.

Второй вид комплекта используется при работе под потенциалами проводов 110 – 1150 кВ. Комплект электрически соединяется с проводом ЛЭП. Коэффициент экранирования комплекта – 100.

Оба вида комплектов применяются с каской общего назначения и электропроводящим надкасником.

1.5. ЗАЩИТА ОТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Переменные магнитные поля (ПеМП) промышленной частоты создаются токами обмоток электроустановок (генераторов, двигателей, трансформаторов, преобразователей и т.д.), бытовой электротехники (холодильников, стиральных машин, пылесосов, нагревателей и т.п.), токопроводов и кабелей ЛЭП. С ростом величины тока при прочих равных условиях напряженность ПеМП в точках пространства увеличивается.

Защита работающих от неблагоприятного влияния ПеМП осуществляется организационными и инженерно-техническими мероприятиями.

Организационно исключается возможность расположения производственных помещений, рассчитанных на постоянное пребывание персонала, вблизи токоведущих частей ТС, а также размещение помещений под и над токоведущими частями оборудования (например, токопроводами), если ожидаемые величины напряженностей ПеМП пре-

вышают ПДУ. Рабочие места, по возможности, удаляют от токоведущих частей ТС на расстояния, обеспечивающие ПДУ напряженностей ПемП.

Снижение уровней ПемП инженерно-технически обеспечивает за счет экранирования источников ПемП и рабочих мест. Материалы экранов должны иметь высокие магнитные проницаемости. Возможно применение активных экранов.

При необходимости ограничивается продолжительность пребывания персонала в условиях действия ПемП.

При эксплуатации ТС в зонах с уровнями ПемП, превышающими ПДУ, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание человека, ограждаются и обозначаются предупредительными знаками. Осмотр электрооборудования, находящегося под напряжением, должен осуществляться из зон с уровнями ПемП, удовлетворяющими нормативным требованиям. Ремонт электрооборудования следует производить вне зоны влияния ПемП.

Расположение кабельных линий должно гарантировать соблюдение ПДУ ПемП у поверхности земли.

Способы защиты населения от ПемП ЛЭП разработаны в 80-х годах прошлого столетия. Защита населения осуществляется с помощью пассивных и активных экранов, а также за счет компактизации самой ЛЭП.

Пассивное экранирование предусматривает сооружение короткозамкнутых проводящих контуров незначительных протяженностей, которые располагают вдоль трассы ЛЭП за пределами охранной или санитарно-защитной зон. ПемП токов проводов ЛЭП индуктируют в этих контурах ЭДС. В свою очередь, токи контуров создают ПемП, которые ослабляют ПемП проводов ЛЭП в местах размещения проводов.

При активном экранировании в короткозамкнутые проводящие контура вводят сторонние ЭДС с регулируемыми амплитудами и начальными фазами. Экранирование также обеспечивается за счет компенсации ПемП токов ЛЭП.

Наряду с экранированием, ослабления ПемП ЛЭП можно достигнуть и за счет сближения на опорах проводов с разнонаправленными токами, а в случае двух цепных ЛЭП и благодаря оптимальному чередованию фаз.

Идея компактизации ЛЭП с целью ослабления ПемП реализована в 1996 г. в Финляндии на одноцепной ЛЭП 110 кВ длиной 5 км при использовании изолированных проводов. В результате компактизации ЛЭП напряженности ПемП в жилой зоне снизилась почти втрое, но

при этом стоимость компактизированной ЛЭП почти в полтора раза больше обычной ЛЭП.

1.6. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТ

ЭМП радиочастот широко используются в промышленности, в технике, на транспорте, в медицине, в быту. В сферу обслуживания источников ЭМП радиочастот вовлечено большое количество специалистов и рабочих, которые находятся в контакте с далеко небезобидным для организма человека ЭМП. Воздействию ЭМП радиочастот подвергается также население, проживающее в местах размещения РЛС, радио- и телевизионных станций.

Средства защиты работающих в каждом конкретном случае выбираются с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой степени защиты.

Наиболее доступный метод защиты персонала – защита расстоянием. Так, передатчики радио- и теле-радиостанций, мощные СВЧ-генераторы и СВЧ-комплексы, физиотерапевтические аппараты микроволновой терапии с дистанционным расположением излучателей и УВЧ-терапии с мощностью более 100 Вт удаляются от рабочих мест и располагаются в отдельных экранированных помещениях. Вместе с тем при необходимости допускается размещение измерительных генераторов, маломощных радиопередатчиков, установок для термообработки материалов в общих помещениях, включая расположение на потоке, при условии обеспечения на рабочих местах персонала значений нормируемых параметров, не превышающих ПДУ.

При размещении в одном помещении нескольких источников ЭМП радиочастотного диапазона их расположение должно исключать возможность превышения ПДУ облучения на рабочих местах при их одновременной работе.

Рабочие места, установки, объекты, участки территории и места возможного нахождения людей, где $ППЭ$ превышает 500 мкВт/см^2 , обозначается запрещающим знаком безопасности «СВЧ излучение. Посторонним вход воспрещен» (рис. 1.2, а).

На местах, где $ППЭ$ свыше 1000 мкВт/см^2 , устанавливают знак «Осторожно! Опасность СВЧ облучения» (рис. 1.2, б). При входе на территорию, где $ППЭ$ свыше 1000 мкВт/см^2 , совместно с предупреж-

дающим знаком безопасности устанавливают предписывающий знак безопасности (рис. 1.2, в), который требует при выполнении работ использовать средства индивидуальной защиты.

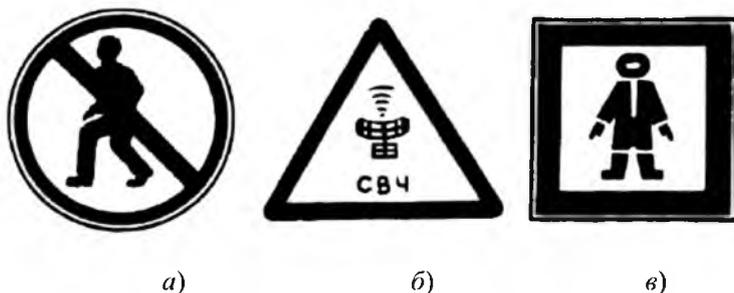


Рис. 1.2. Запрещающие и предупреждающие знаки на рабочих местах

Организационные мероприятия по защите персонала от ЭМП радиочастот, наряду с защитой расстоянием, предусматривает защиту временем. Допустимое время T облучения ЭМП в диапазоне частот от 0 до 300 МГц рассчитывается, исходя из ПДУ энергетической экспозиции по напряженности ЭП:

$$T = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{E^2}, \text{ ч.}$$

где $\mathcal{E}\mathcal{E}_E = 20000, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ при $f = 0,03 - 3,0$ МГц; $\mathcal{E}\mathcal{E}_E = 7500, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ при $f = 3,0 - 30,0$ МГц; $\mathcal{E}\mathcal{E}_E = 800, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ при $f = 30 - 300$ МГц; E — измеренное значение напряженности ЭП, В/м.

В диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц допустимое время облучения определяется по допустимой энергетической экспозиции по ППЭ:

$$T = \frac{K \cdot \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}}{\text{ППЭ}}, \text{ ч.}$$

где $\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}} = 200 (\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{ч}$, K — коэффициент снижения биологической активности воздействия.

Для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн $K = 10$. Локальному облучению кистей рук соответствует $K = 12,5$. При этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см^2 .

Формы реализации защитных мероприятий определяются видами производств, назначениями источников ЭМП, частотами ЭМП. Так на участках высокочастотной термообработки материалов защита персонала осуществляется путем экранирования высокочастотной установки или отдельных ее блоков (генераторов, конденсаторов, ВЧ-трансформаторов). Материалы, размеры и конструкции экранов определяются особенностями технологического процесса, характеристиками экранируемого блока, требуемой эффективностью экранирования и допустимыми потерями энергии в экране. Экраны должны быть надежно заземлены и иметь электроблокировку, исключающую включение напряжения при снятом экране. Линии передачи высокочастотной энергии от генераторов к ТС выполняются коаксиальным кабелем. Операции производственного процесса автоматизируются.

В аппаратных залах радио-теле-радиостанций снижение напряженностей ЭП и ППЭ на рабочих местах достигается путем рационального размещения отдельных высокочастотных блоков в рабочих помещениях, экранирования передатчиков, фидерных линий, отдельных рабочих мест или отдельных частей зданий, использования коаксиальных линий передачи энергии, удаления рабочих мест от источников излучения ЭМП и организации дистанционного управления передатчиками.

На участках регулировки, настройки, испытания СВЧ-блоков, СВЧ-генераторов и комплексов СВЧ-аппаратуры защита работающих обеспечивается за счет исключения или ограничения в помещениях цехов работы радиосредств с излучением на антенну или открытый волновод, экранирования источника излучения или рабочих мест, применения средств предупреждающей сигнализации и средств индивидуальной защиты.

При отработке СВЧ-генераторов и высокочастотной части РЛС исключение или ограничение излучений от антенных систем обеспечивается за счет использования вместо открытых излучателей поглотителей мощности (эквивалента антенн), в которых поглощение ВЧ энергии происходит в нагрузке, состоящей из смеси цемента, песка, резины. Для ограничения средних и больших мощностей СВЧ-генераторов применяются водяные поглотители. Поглотители мощности позволяют

ослабить мощность излучения более чем на 60 дБ. Промышленностью выпускаются эквиваленты антенн, рассчитанные на поглощение мощности от 5 до 250 Вт.

Проверка работы приемных, индикаторных, вычислительных, управляющих и т.п. систем РЛС проводится с использованием имитаторов цели (маломощных источников, генерирующих излучения с теми же параметрами, что и обрабатываемая РЛС).

Обработка линий передачи энергии и антенных устройств (волноводных ответвителей, ослабителей, делителей мощности) и настройка антенно-волноводных трактов производится, преимущественно, с использованием измерительных генераторов.

Проблема защиты личного состава от ЭМП радиочастот существует на кораблях и судах водного транспорта.

Разработка мероприятий по защите плавсостава от высокочастотных ЭМП начинается на стадии проектирования судов. При этом проводятся организационные и инженерно-технические мероприятия, которые включают в себя рациональное размещение антенн разного функционального назначения на открытых палубах и надстройках судов, рациональное размещение передатчиков, дистанционное управление передатчиками, экранирование помещений и применение защитных экранов.

Высота размещения антенн РЛС выбирается с учетом их вертикальной диаграммы излучения. При использовании экранов они устанавливаются либо вблизи излучающих антенн, либо непосредственно у защищаемых объектов. В первом случае во внимание принимается возможность искажения диаграммы направленности металлическими поверхностями.

В качестве экранов применяют сплошные или перфорированные листы и сетки. Фидерные тракты передатчиков, проходящие через обслуживаемые помещения, выполняют в виде металлической трубы, размещенной в металлическом кожухе. В необслуживаемых помещениях фидерные тракты не экранируют кожухом, но при этом экранируются переборки между обслуживаемым и необслуживаемым помещениями. Для защиты личного состава в помещениях от облучения через иллюминаторы применяют специальные защитные иллюминаторные стекла.

Защитные мероприятия на судах реализуются при выполнении условия требований Российского Морского Регистра Судоходства по обеспечению надежной радиосвязи и надежной работы РЛС, а также соблюдения правил проектирования антенно-фидерных устройств.

При необходимости проведения работ в зоне излучения антенн с напряженностями ЭП (*ППЭ*), превышающей допустимые значения, обязательным условием является использование защитных экранов, индивидуальных защитных очков с пленкой двуокиси олова и защитной одежды из ткани с микропроводом. Организационные мероприятия предусматривают запрет эксплуатации радиоаппаратуры в раскрытом виде, ограничение времени пребывания или запрещение нахождения плавсостава в районах судна, где *ППЭ* и напряженность ЭП превышают ПДУ. Информация распространяется через трансляционную связь, световые табло. На дверях помещений, где размещены передатчики и проходят неэкранированные фидерные тракты, располагают предупреждающие надписи.

Испытание комплекса РЛС с излучателем на антенну должно проводиться на специальных полигонах. В отдельных случаях допускается проведение испытаний в помещениях цехов, но при условии, что параметры ЭМП не превышают ПДУ. В этом случае работа РЛС обязательно должна сопровождаться звуковой и световой предупреждающей сигнализацией.

При снятии диаграмм направленности антенных устройств применяют направленные ответвления, делители мощности, волноводные ослабители, которые подсоединяются между волноводным трактом и антенной. Меньшая часть мощности попадает в антенну, большая – поглощается ослабителем или отводится в поглотитель мощности.

Экранирование источников излучения или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих и поглощающих экранов. Отражающие экраны выполняются из заземленных металлических листов или сеток. Экраны источников имеют форму замкнутых помещений (камер), шкафов или кожухов. Для исключения отражения от внутренних поверхностей экранов они покрываются материалами, поглощающими электромагнитную энергию (пенопласт, компаунды и др.).

Смотровые окна приборных панелей, камер, кабин экранируются радиозащитными стеклами.

Уменьшение утечек энергии из фланцевых соединений волноводов обеспечивается за счет прокладок из поглощающих материалов и экранирования хлопчатобумажной тканью с микропроводом.

Экранирование рабочих мест выполняют, если невозможно осуществить экранирование источников ЭМП. С этой целью сооружают небольшие кабины, ширмы, шторы, щиты, козырьки из металла с поглощающим покрытием со стороны источника ЭМП.

При настройке, ремонте и испытаниях СВЧ-аппаратуры, когда интенсивность ЭМП превышает 10 Вт/м^2 , необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Выбор средств защиты определяется условиями облучения. В случае облучения только лица и глаз следует применять защитные очки, защитные щитки и шлемы. Стекла очков покрыты тонким слоем двуокиси олова. Они обеспечивают хорошую видимость и ослабление энергии ЭМП до 30 Дб. Когда облучению подвергается все тело, то используется защитная одежда, состоящая из халата с капюшоном или комбинезона и капюшона. Капюшон, халат и комбинезон изготавливаются из металлизированной ткани (тонкая металлическая проволока, скрученная с хлопчатобумажными нитями) с расстояниями между нитями не более 0,5 мм. Эта ткань способна ослабить излучение с длиной волны 3,2 см и выше на 20 Дб и более. Одежда, содержащая в своей структуре металлический провод, может использоваться только в условиях, исключающих возможное прикосновение к открытым токоведущим частям установок.

Территории предприятий гражданской авиации широко оснащены радиотехническими средствами навигации, посадки, связи и управления воздушным движением, которые являются источниками ЭМЭ СВЧ большой интенсивности.

Безопасность работников наземных служб обеспечивается комплексом защитных мероприятий, в числе которых: рациональное размещение РЛС и выбор оптимальных режимов их работы; увеличение высоты эстакады для размещения антенн РЛС (у мощных РЛС высота не менее 10 м), ограничение использования отрицательных углов наклона антенн РЛС менее 1° ; удаление рабочих мест от источников излучения благодаря дистанционному управлению и автоматизированному контролю за работой РЛС; рациональное размещение производственных помещений и мест возможного нахождения работающих: применение средств предупреждающей сигнализации при ремонте и наладке бортовых РЛС; использование стационарных и переносных экранирующих устройств, ограничивающих или ослабляющих ППЭ СВЧ излучения на рабочих местах и местах возможного нахождения работающих; применение поглотителей мощности, волноводных делителей мощности при регулировочных работах; использование средств индивидуальной защиты (очки, щитки, шлемы, защитные костюмы и халаты).

В зависимости от условий воздействия ЭМП, характера и местонахождения источника излучения могут быть использованы следующие

щие способы и средства защиты: 1. Защита временем. 2. Защита расстоянием. 3. Защита рациональным размещением источников ЭМП. 4. Снижение напряженностей ЭМП непосредственно в самом источнике излучения. 5. Экранирование источника излучения. 6. Защита рабочего места от ЭМП. 7. Индивидуальные средства защиты.

Рассмотрим подробнее приведенные способы и средства защиты.

1. **Защита временем** применяется в тех случаях, когда отсутствует возможность уменьшить напряженности ЭМП до предельно допустимого уровня. Допустимое время облучения находят из выражения

$$ППЭ = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{дву}}}{T}$$

где $ППЭ$ — плотность потока энергии, мкВт/см^2 ; t — допустимое время облучения, ч, или воспользоваться выражением

$$6,42 = ППЭ \cdot th(0,05t)^{1,2}$$

2. **Защита расстоянием** применяется, если нельзя снизить напряженности ЭМП другими способами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в зоне облучения.

В открытом пространстве границу безопасных расстояний r от рабочего места до источника излучения в диапазонах длинных, средних, коротких и метровых волн можно определить с помощью выражения

$$r \geq \frac{\sqrt{30PK_A}}{E_{\text{д}}}$$

где $E_{\text{д}}$ — допустимое значение электрической составляющей ЭМП, В/м; P — средняя выходная мощность передатчика, Вт; K_A — коэффициент усиления антенны.

При дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волнах расстояние, которое обеспечивает допустимые $ППЭ$, равно

$$r = \sqrt{\frac{PK_A}{4\pi ППЭ_{\text{д}}}}$$

где $ППЭ_{\text{д}}$ — допустимая величина $ППЭ$, Вт/м^2 .

В СВЧ-диапазоне расстояние, которое соответствует допустимой ППМ, находят из уравнения

$$r = \sqrt{\frac{PG}{4\pi ППЭ_0}}$$

где $ППЭ_0$ - предельно допустимая плотность потока мощности, мкВт/см².

Защита расстоянием - наиболее эффективный метод и может применяться как в производственных условиях, так и в условиях населенных мест.

Одним из эффективных мер защиты населения от вредного воздействия ЭМП, создаваемого излучением телецентров, ретрансляторов и УКВ ЧМ – вещательных радиостанций является создание санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Исходя из характера распространения электромагнитной энергии, излучаемой перечисленными объектами, СЗЗ для этих объектов должна устанавливаться по радиусу. В каждом конкретном случае ширина СЗЗ зависит не только от принятой предельно допустимой напряженности ЭМП, но и от суммарной мощности объекта, типа и высоты установки антенн над уровнем земли, рельефа местности. Учитывая, что с увеличением высоты над уровнем земли напряженность поля, создаваемая излучением телевизионных и УКВ ЧМ – вещательных антенн резко возрастает, рекомендуется ширину СЗЗ устанавливать дифференцированно по вертикали для следующих уровней: 1–3 м, 3–9 м, 9–15 м, 15–30 м.

Принимая во внимание, что напряженность поля в зданиях может быть снижена за счет планировочных решений, применения специальных строительных конструкций, представляется возможным разделить СЗЗ в целях рационального использования ее территории на зону строгого режима и зону ограничения.

Зона строгого режима должна включать в себя техническую территорию телецентра или же ретранслятора. На границе этой территории напряженность ЭМП не должна превышать 1 В/м.

Зона ограничения представляет собой территорию, которая непосредственно примыкает к территории зоны строгого режима, т.е. к технической территории телецентра или же ретранслятора. На внутренней границе этой территории напряженность поля не должна превышать 1 В/м, на внешней - 0,2 В/м.

Территория зоны строгого режима может быть использована только под строительство сооружений телевизионного комплекса. На этой территории не должно допускаться жилищное строительство.

Территория зоны ограничения может быть использована под городскую застройку при условии, что комплекс мероприятий, направленных на снижение уровня напряженности поля (рациональная планировка, применение специальных строительных конструкций, радиотехнические способы), позволит обеспечить в жилых и других помещениях рекомендуемый ПДУ напряженности поля - 0,2 В/м.

Границы СЗЗ устанавливаются с помощью расчетного метода с последующим обязательным уточнением посредством контрольных измерений напряженности поля на местности.

3. Защита рациональным размещением источников ЭМП заключается в том, что источники ЭМП можно определенным образом разместить в рабочем помещении (на заданной территории) так, чтобы обеспечить на местах операторов напряженности ЭМП в пределах санитарных норм.

При размещении в помещениях источников ЭМП радиочастотного диапазона и организации работ по их обслуживанию должны соблюдаться требования Правил устройства электроустановок, Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Межотраслевых правил охраны труда (правил техники безопасности) при эксплуатации электроустановок [1.7].

4. Снижение напряженностей ЭМП непосредственно в самом источнике излучения достигается снижением мощности непосредственной регулировкой генератора (передатчика), его заменой на менее мощный, если позволяет технология работ, применением специальных устройств, которые поглощают, отражают или ослабляют передаваемую энергию на пути от генератора к антенне, внутри ее или, при изменении угла направленности антенны в пространстве.

5. Экранирование источника излучения. При необходимости используется экранирование отдельных наиболее мощных источников ЭМП или группы источников. В ряде случаев экранируют помещение, где размещаются ТС.

6. Защита рабочего места от ЭМП. В зависимости от характера и мощности источников ЭМП, диапазона волн, особенностей производственного процесса можно рекомендовать несколько видов типовых экранов: отражающие – сплошные металлические, сеточные металлические, мягкие (эластичные) с хлопчатобумажной или другой ниткой и поглощающие экраны.

Отражающие экраны. Наиболее распространенным радиоотражающим материалом являются металлические листы различной толщины. Последняя не имеет первостепенного значения, и выбор ее определяется в основном механической прочностью и конструктивно-технологическими удобствами стыковки листов. Наиболее оптимальный материал для экрана должен обеспечить заданную величину ослабления ЭМП в рабочем диапазоне частот; антикоррозийную стойкость и механическую крепость; экономическую целесообразность; возможность практического исполнения избранного варианта экрана. Большинству из этих условий отвечают используемые в настоящее время листовые материалы (сталь, медь, латунь, алюминий), которые обладают высокой отражательной способностью и обеспечивают необходимую эффективность экранирования при любых практически встречающихся напряженностях ЭМП. Все экраны должны тщательно заземляться.

Сеточные экраны. Среди всех типов экранов они занимают особое место. Имеют многочисленные преимущества при создании гибких или протяженных экранов, требуют меньших материальных затрат. Сеточные экраны широко применяются при защите отверстий, необходимых для визуального контроля, освещения, вентиляции, энергоснабжения и т.д.

Эластичные экраны. Предназначаются для изготовления экранных занавесей, штор, драпировок, специальной защитной одежды – комбинезонов, халатов, капюшонов и т.д. Материалом для данного типа радио-отражающих экранов служит специальная ткань, в структуре которой тонкие металлические нити образуют сетку с ячейками $0,5 \times 0,5$ мм. Металлические нити скручены с хлопчатобумажными, которые служат электрической изоляцией, придают ткани прочность и эластичность.

Поглощающие экраны. Их применение обеспечивает создание условий, эквивалентных безграничному свободному пространству, и уменьшение отраженного ЭМП. В качестве поглощающих используются материалы из древесины, поролона, кремний-органического каучука, полихлорвиниловых смол с наполнителем в виде карбонильного железа, а также магнитно-диэлектрические пластины, шихтообразные покрытия, резиновые коврики и др. Поглощающие материалы должны обладать минимальной величиной отражения электромагнитной энергии и широким диапазоном частот; большой величиной затухания проникающих внутрь материала излучений, чтобы падающая энергия по-

глощалась в достаточной степени; не изменять поляризации отраженных колебаний [1.2].

7. Индивидуальные средства защиты. К ним принадлежат специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, защитные очки и др..

В последнее время проведен ряд исследований по применению средств индивидуальной защиты. Однако неотложной задачей является создание единых методов физиолого-гигиенической, защитной и эксплуатационной оценки средств индивидуальной защиты, совершенствование их систем использования, правильное применение в соответствии с условиями труда работающих. Требуют научного обоснования и нормирования физические и химические параметры газовой среды подкостюмного пространства.

При написании первой главы использованы материалы, опубликованные в [1.1-1.14].

ГЛАВА 2. ЭКРАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

2.1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Как известно [2.1, 2.2], самые большие неприятности в техно-сфере как для человека, так и для ТС можно ожидать от техногенных полей. Их частотный спектр, уровни напряженностей, переменность во времени и в пространстве и т.д. чрезвычайно разнообразны, поэтому защищаться от них необходимо по-разному в каждом частотном диапазоне. Не вызывает сомнения необходимость принятия мер по контролю, диагностированию и снижению этих ЭМП в окружающем пространстве, с целью обеспечения электромагнитной безопасности (ЭМБ) ТС и биообъектов.

При решении задач ЭМБ следует учитывать, что вся совокупность гальванически (кондуктивно) или электромагнитно (индуктивно) связанных элементов ТС и биообъектов и окружающее пространство являются единой неразрывной средой распространения ЭМП и электромагнитного импульса от произвольно размещенных источников. Поэтому необходима единая комплексная система подавления этих возмущений с применением гальванической и электромагнитной развязок; заземления; фильтрации (пассивных и активных помехоподавляющих фильтров); экранирования (пассивных и активных электромагнитных экранов); нелинейных ограничителей мощных кратковременных импульсов напряжения; активных помехоподавляющих компенсаторов и блокировочных устройств.

Выбор способа и технического средства определяется многими факторами: характером ЭМП, его частотным диапазоном, амплитудно-фазовыми характеристиками, гармоническим составом и т.д. Однако, при защите ТС (элементов автоматики, вычислительных комплексов и т.д.) и при защите биообъектов (в первую очередь, человека) необходимо учитывать и различия:

1. В большинстве случаев напряженности ЭМП, воздействующих на биообъект, должны быть ниже, чем на ТС.

2. На ТС и на человека наибольшее воздействие оказывают ЭМП разных частотных зон. Так, диапазон $f = 0-5$ Гц важен для человека по степени воздействия, а для ТС он не создает значительных проблем.

3. На человека, являющегося сложной многоуровневой системой, наибольшее влияние оказывают совместно действующие поля разной амплитуды и частотной зоны (например, ортогональные).

4. К резким изменениям ЭМП во времени более чувствителен человек, чем ТС (из-за высокой инерционности последних).

5. ТС имеет, как правило, металлическую оболочку, которая выполняет функции первичного экрана, которой лишен человек.

6. В отличие от ТС, длительное время работающего в заданном режиме, человек склонен из-за эмоциональных стрессов к частым нарушениям полевого равновесия с окружающей средой.

Эффективные средства защиты человека. В качестве средств защиты человека от действия ЭМП в широком диапазоне частот чаще всего рекомендуется использовать пассивные электромагнитные экраны, а также комбинацию активных и пассивных экранов. Наиболее эффективными могут оказаться при этом многослойные конструкции как пассивных, так и комбинированных (активных и пассивных) экранов. Среди них [2.6, 2.7]:

– Однотипные многослойные оболочки, выполненные из металлизированной материи и служащие в качестве индивидуальной защиты.

– Неоднотипные многослойные оболочки с управляемым эксцентриситетом. Такие можно использовать для экранирования энергетических помещений, рабочих мест и транспортных объектов.

– Комбинированные экранирующие системы с компенсационными обмотками, способные компенсировать пространственные гармоники полей высокого порядка.

В упомянутых типах экранирующих систем дополнительное увеличение эффективности экранирования может быть достигнуто использованием электротехнических материалов с высокими и стабильными материальными параметрами: магнитной проницаемостью (с дополнительным подмагничиванием и магнитным встряхиванием), электрической проводимостью (при необходимости с использованием сверхпроводимости). Большая эффективность экранирования может быть достигнута благодаря правильному применению известных и перспективных анизотропных и композитных материалов.

Для контроля напряженностей полей и их снижения до требуемых пределов могут быть предусмотрены у ответственных ТС системы диагностирования и снижения ЭМП. Можно рекомендовать:

– Системы диагностирования мультипольных компонент ЭМП, произвольно распределенных в энергетическом помещении или в жилых помещениях, внутри транспортного средства[2.1].

– Системы снижения мультипольных компонент ЭМП (в частности, с помощью обмоток с токами, предназначенными для компен-

сацией дипольных и квадрупольных компонент произвольно распределенных в пространстве около крупного источника поля) [2.1, 2.5].

Особый интерес могут вызвать:

– Селективные экраны, представляющие собой комбинацию активных обмоток и пассивных металлических хорошо проводящих электрический ток оболочек с резонансными контурами, настроенными на компенсацию ЭМП в низкочастотной зоне ($f=0-5$ Гц) [2.5].

– Комбинированные многослойные проводящие электрический ток ферромагнитные экраны с включением биологических слоев, которые в дальнейшем назовем биоэкранами [2.2-2.3].

2.2. ПРИНЦИПЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ

Источник ЭМП помех может быть представлен в виде набора расположенных в геометрическом центре электрических и магнитных мультиполей или произвольно ориентированных в пространстве магнитных и электрических диполей. В зависимости от типа источника, частоты f и расстояния до экрана r поле имеет различную структуру, поэтому один и тот же экран будет вести себя по-разному. Например, электрический и магнитный диполи в ближней зоне, когда $r < (\lambda / 2\pi)$, λ - длина волны, создают соответственно квазиэлектростатическое или квазимагнитостатическое поле. В этой зоне можно рассматривать только ЭП с напряженностью \vec{E} или МП с напряженностью \vec{H} , которые действуют на рецептор через емкостные или индуктивные связи. В промежуточной зоне (зоне индукции), когда $(\lambda / 2\pi) < r < 2\pi\lambda$, составляющие \vec{E} и \vec{H} несут неодинаковую энергию и сдвинуты по фазе примерно на 90° . В дальней зоне (волновой), когда $r > 2\pi\lambda$, поле имеет структуру поперечной электромагнитной волны, поля находятся в фазе и несут одинаковую энергию. Соответственно структуре поля различают следующие режимы экранирования: электростатический, магнитостатический, квазиэлектростатический, квазимагнитостатический, электромагнитный и волновой. При всех режимах, кроме статических, экран взаимодействует с экранируемым элементом. Например, уменьшается индуктивность и увеличивается емкость катушки, уменьшается добротность контуров, возрастает активное со-

противление экранируемого элемента, в экране теряется мощность энергии.

Электростатический режим экранирования основан на использовании явления электростатической индукции и заключается в замыкании зарядов на “землю” или корпус ТС. Размеры замкнутого экрана здесь не играют роли. Для экранирования может быть применен очень тонкий экран из магнитного или немагнитного металла и даже диэлектрика.

Квазиэлектростатический режим экранирования возникает при работе электростатического экрана на низких частотах ($0 < f < 5 \cdot 10^3$ Гц). В этом режиме по экрану протекает переменный ток. Поле проникает в глубь металла, а эффективность экранирования становится зависимой от толщины и электрической проводимости материала экрана. С ростом частоты все большую роль играют индукционные токи. Они создают вторичное поле, которое взаимодействует с первичным и ослабляет его. Для характеристики материала экрана и оценки проникающего в экран поля вводится понятие глубины проникновения δ (предполагается ослабление поля в e раз):

$$\delta = \sqrt{2 / (\omega \gamma \mu)}$$

где $\omega = 2\pi f$, f — частота поля, рад/с; γ, μ — электрическая проводимость и магнитная проницаемость материала экрана.

Магнитостатический режим экранирования основан на замыкании силовых линий МП в материале экрана. Целью таких экранов является отвод магнитного потока из защищаемой области и направление этого потока по желательному пути, где он не приносит вреда. При использовании магнитостатических экранов редко интересуются их способностями ослаблять также и ЭСП. Однако, эффективность таких экранов может оказаться по отношению к ЭСП значительно выше, чем по отношению к МСП. При конструировании магнитостатических экранов используются только магнитные материалы. Большей их эффективности достигают не за счет увеличения толщины, а за счет создания многослойных конструкций, в которых магнитные слои чередуются с немагнитными (например, с воздушными промежутками).

Квазимагнитостатический режим экранирования возникает при работе магнитостатического экрана на низких частотах ($0 < f < 5 \cdot 10^3$ Гц). По экрану начинает протекать переменный ток,

который вытесняет МП из толщи экрана. Вторичное МП, создаваемое индукционными токами, сдвинуто относительно первичного по фазе на 180° и ослабляет первичное поле. С ростом частоты возрастает роль индукционных токов, возрастает поверхностный эффект, толщина экрана начинает играть все меньшую роль.

Во многих практических случаях достаточным оказывается экранирование лишь МП. Если частота поля помех низка, то помеха распространяет свое действие на рецептор за счет электромагнитной индукции. Экранирование сводится к уменьшению связи между цепями за счет уменьшения общего для обеих цепей МП.

Электромагнитный режим экранирования возникает на высоких частотах ($5 \cdot 10^3 < f < 10^9$) Гц, когда индукционные токи играют первостепенную роль в величине эффективности экранирования. Как ЭП, так и МП вытесняются из экрана. Квазистатические режимы переходят в электромагнитный режим экранирования. Физическая сущность такого экранирования, рассматриваемая с точки зрения теории цепей и ЭМП, сводится к взаимодействию вторичного и первичного полей, которые близки по величине и противоположны по фазе. Результирующее поле оказывается сильно ослабленным. Если рассматривать электромагнитный режим экранирования с точки зрения волновых процессов, то процесс сводится к многократному отражению электромагнитных волн (ЭМВ) от поверхности экрана и к затуханию их в толще экрана. Отражение энергии связано с несоответствием волновых характеристик металла и окружающего диэлектрика. Чем больше отличаются эти сопротивления, тем больше отражение и лучше эффективность экранирования. Затухание энергии обусловлено тепловыми потерями, вызванными индукционными токами в материале экрана. На эффективность экранирования влияют и переотражения волн в материале самого экрана. Как уже отмечалось, электромагнитное экранирование охватывает широкий частотный диапазон и может осуществляться с помощью экранов из магнитных и немагнитных материалов. Последним отдается предпочтение в случаях, когда желательно иметь меньшие потери, вносимые экраном в источник поля.

Волновой режим экранирования ($f > 10^9$ Гц) имеет место, когда длина волны соизмерима с размером экрана. В этом случае появляются резонансные накопления и резонансные поглощения энергии. Электромагнитный режим экранирования переходит в волновой. Резонанс внутри экрана может возникнуть на волнах любого типа. Для анализа и расчета таких экранов используются полные уравнения. Осо-

бенностью волнового режима является колебательный характер изменения эффективности экранирования при изменении частоты. Закономерности в изменении эффективности зависят от конструкции экрана.

2.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Экранирование имеет свои специфические особенности, обусловленные его физической сущностью, принципами действия и конкретными условиями применения экранов. Это находит свое выражение в количественной оценке эффективности экранирования.

В настоящее время широко используется способ оценки эффективности экранирования с помощью экранирующих функций, среди которых наиболее распространены функции экранирования и обратного действия.

Пусть замкнутый экран S разделяет пространство на две области: D_1 - область внутри экрана, D_2 - область вне экрана. Будем считать, что внутри области D_1 размещены источники, которые при отсутствии экрана S создают поле $\vec{E}^{(0)}, \vec{H}^{(0)}$. Наличие экрана создает в области D_1 вторичное поле $\vec{E}^{(1)}, \vec{H}^{(1)}$ и прошедшее через экран поле $\vec{E}^{(2)}, \vec{H}^{(2)}$ (в D_2).

Функции экранирования в области D_2 определяются по формулам [2.6-2.7]

$$K_{q_i}^{SM} = \frac{|H_{q_i}^{(2)}|}{|H_{q_i}^{(0)}|}; \quad K_{q_i}^{SЭ} = \frac{|E_{q_i}^{(2)}|}{|E_{q_i}^{(0)}|}, \quad (2.1)$$

где H_{q_i}, E_{q_i} - составляющие магнитной и электрической напряженностей в криволинейной системе координат q_1, q_2, q_3 . Индекс S указывает на вид оболочки.

Функции экранирования определяются в относительных единицах и показывают долю прошедших через экран напряженностей исходного поля.

Функции экранирования всегда положительны, но меньше единицы

($0 < K_{q_i}^{SM}, K_{q_i}^{SЭ} < 1$), за исключением случая ($K_{q_i}^{SM}, K_{q_i}^{SЭ} \equiv 1$), когда оболочка не является экраном для поля.

Функции обратного действия определяются в области D_1 по формулам

$$W_{q_i}^{SM} = \frac{|H_{q_i}^{(1)} + H_{q_i}^{(0)}|}{|H_{q_i}^{(0)}|}; \quad W_{q_i}^{SЭ} = \frac{|E_{q_i}^{(1)} + E_{q_i}^{(0)}|}{|E_{q_i}^{(0)}|}. \quad (2.2)$$

Из (2.1) и (2.2) следует, что функции экранирования определяют степень уменьшения поля по соответствующей напряженности в экранируемой области пространства, а функции отражения - величину напряженностей в отраженной волне. Обе функции взаимосвязаны и в общем случае являются комплексными. Аргументы их характеризуют: один - фазу прошедшего через экран, второй - отраженного от экрана полей по отношению к фазе падающего поля.

В инженерной практике иногда вместо функций экранирования $K_{q_i}^{SM}, K_{q_i}^{SЭ}$ используют обратные величины - эффективности экранирования по соответствующей напряженности $S_{q_i}^{SM}, S_{q_i}^{SЭ}$:

$$S_{q_i}^{SM} = \frac{|H_{q_i}^{(0)}|}{|H_{q_i}^{(2)}|}; \quad S_{q_i}^{SЭ} = \frac{|E_{q_i}^{(0)}|}{|E_{q_i}^{(2)}|}, \quad (2.3)$$

которая определяется в относительных единицах и показывает во сколько раз экран уменьшает напряженности поля в заданной точке ($S_{q_i}^{SM}, S_{q_i}^{SЭ} \geq 1$).

В ряде случаев эффективность экранирования или иначе - экранное затухание представляют в логарифмических единицах – децибелах (дБ):

$$\mathfrak{E}_{q_i}^{SF} = 20 \lg |S_{q_i}^{SF}|, \quad F \in [M, \mathfrak{E}]. \quad (2.4)$$

В технике связи экранное затухание оценивают в неперх (Нп):

$$b_{q_i}^{SF} = \ln |S_{q_i}^{SF}|. \quad (2.5)$$

При этом для перевода из одной системы единиц в другую может быть использован коэффициент 8,7, тогда

$$\mathcal{E}_{q_i}^{SF} = 8,7 b_{q_i}^{SF}$$

Для СВЧ-диапазона эффективность экранирования оценивается в виде

$$\mathcal{E}_{свч} = \frac{ППЭ}{ППЭ_э}, \quad (2.6)$$

где $ППЭ$ – плотность потока энергии без экранирования, $ППЭ_э$ – то же при экранировании.

В ряде случаев с точностью, достаточной для инженерных приложений, можно использовать более простой способ определения коэффициентов экранирования, который разработан по аналогии с распространением электромагнитных волн в электрически длинных двухпроводных линиях, С. А. Щелкуновым [2.15]. Эти волны распространяются вдоль проводящих линий ТЕМ-волнами (электромагнитные волны с векторами \vec{E} и \vec{H} напряженностей ЭП и МП, ориентированными перпендикулярно к направлению распространения), так что разработанные для них формальные методы нетрудно перенести на плоские волны в свободном пространстве. Нужно просто заменить в уравнениях проводимости комплексные амплитуды входного напряжения \dot{U}_1 и входного тока \dot{I}_1 комплексными напряженностями \dot{E}_1 и \dot{H}_1 , а также напряжение \dot{U}_2 и ток \dot{I}_2 на напряженности \dot{E}_2 и \dot{H}_2 .

Подобно тому, как волны в неоднородных линиях частично отражаются, частично пропускаются и затухают из-за потерь, электромагнитные волны в свободном пространстве отражаются от неоднородностей и ослабляются внутри материала.

Стенка экрана, расположенная поперек направления распространения плоской волны, обуславливает эффекты, сравнимые с теми, которые имеют место в линии с потерями и малым волновым сопротивлением, последовательно включенной с длинной электрической линией без потерь с большим волновым сопротивлением.

Общий коэффициент затухания электромагнитного экрана в этом случае определяется как [2.4]

$$\mathcal{E}^F = P + \Pi + B, \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

где $F \in [M, \mathcal{E}]$, P - коэффициент затухания вследствие отражения на граничных плоскостях; Π - коэффициент затухания из-за поглощения в стенке экрана (преобразование электромагнитной энергии в тепло из-за тепловых потерь); B - корректирующий коэффициент, который учитывает многократные отражения внутри экрана (может отсутствовать при $\Pi > 10 \div 15$ дБ).

Коэффициент затухания P может быть получен в виде

$$P = 20 \lg \frac{|(1+K)^2|}{4|K|},$$

где $K = Z_{вш} / Z_{\mathcal{E}}$, $Z_{вш}$ - волновое сопротивление в пространстве источника помехи, $Z_{\mathcal{E}}$ - волновое сопротивление стенки экрана.

При расчётах для $Z_{вш}$ принимаются следующие значения:

Дальняя зона. Если стенка экрана находится в дальней зоне источника помехи, то $Z_{вш}$ равно волновому сопротивлению пространства

$$Z_{вш} = Z_0 = 377 \text{ Ом.} \quad (2.8)$$

Ближняя зона. Если стенки экрана находится в ближней зоне источника помехи, то волновое сопротивление зависит от расстояния r до источника помехи, а также от природы источника. В высокоомных (квазистатических электрических) полях (штыревые антенны)

$$Z_{вш} = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{rf} \quad (2.9)$$

В низкоомных (квазистатических магнитных) полях (рамочные антенны)

$$Z_{вш} = Z_0 \frac{2\pi r}{\lambda} = 7,9 \cdot 10^{-6} rf \quad (2.10)$$

Волновое сопротивление стенки экрана. Волновое сопротивление материала рассчитывается

$$Z_{\text{э}} = \sqrt{j\omega\mu / (\gamma + j\omega\varepsilon)} \quad (2.11)$$

Для экрана, при условии, что толщина стенки больше глубины проникновения,

$$Z_{\text{э}} = \sqrt{j\omega\mu / \gamma} = \sqrt{\omega\mu / 2\gamma} (1 + j) \quad (2.12)$$

или

$$|Z_{\text{э}}| = Z_{\text{э}} = \sqrt{2\pi f \mu / \gamma} \quad (2.13)$$

Часто $Z_{\text{э}}$ выражают через глубину проникновения

$$\delta = 1 / \sqrt{\pi a \mu \gamma} \quad (2.14)$$

$$Z_{\text{э}} = \sqrt{2} / (\gamma \delta) \quad (2.15)$$

В заключение выразим коэффициент затухания вследствие отражения непосредственно через параметры материала и частоту:

дальняя зона

$$P = 108 - 10 \lg \frac{\mu_r f}{\gamma_r} \quad , \text{ дБ}; \quad (2.16, \text{а})$$

электрическое поле в ближней зоне

$$P = 142 - 10 \lg \frac{\mu_r f^3 r^2}{\gamma_r} \quad , \text{ дБ}; \quad (2.16, \text{б})$$

магнитное поле в ближней зоне

$$P = 75 - 10 \lg \frac{\mu_r}{f \gamma_r r^2} \quad , \text{ дБ}, \quad (2.16, \text{в})$$

где r - расстояние от источника помехи, м; f - частота, МГц; γ_r - относительная удельная электропроводность (за базовую принята электропроводность меди)

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{5,8 \cdot 10^7} \quad (2.17)$$

Ниже даны значения относительной электропроводности для некоторых наиболее часто применяемых в экранировании материалов (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Металл	σ_r
Медь	1
Серебро	1,05
Алюминий	0,6
Латунь	0,26
Никель	0,2
Олово	0,15
Нержавеющая высокосортная сталь	0,02

В заключение отметим, что в зависимости от отношения полных сопротивлений коэффициент затухания вследствие отражения от граничной плоскости принципиально может быть положительным, отрицательным или равным нулю. При определении коэффициента затухания, по (2.10), не учитывается то, что волна, отраженная от граничного слоя "вт" может быть еще раз отражена от граничного слоя "вш" и т.д.

Многочисленные отражения внутри экрана учитываются корректирующим коэффициентом "В" в (2.11), однако это уточнение целесообразно делать только после введения коэффициента затухания вследствие поглощения.

Коэффициент затухания вследствие поглощения. Этот коэффициент описывает экспоненциальное ослабление падающей волны при прохождении стенки экрана. Отношение амплитудного значения напряженности электрического поля, проникшего через граничный переход «вш» к амплитудному значению напряженности у граничного перехода «вт», равно

$$E_{Э.ВШ} / E_{Э.ВТ} = e^{\alpha d}, \quad (2.18)$$

а коэффициент затухания вследствие поглощения

$$\Pi = 20 \lg \left(E_{Э.ВШ} / E_{Э.ВТ} \right) = 20 \lg e^{\alpha d}, \quad \text{дБ.} \quad (2.19)$$

Переходя к натуральным логарифмам и учитывая, что $\alpha = \sqrt{\pi f \mu \gamma}$, можно (2.19) заметно упростить

$$\Pi = 13,14 d \sqrt{f \mu_r \gamma_r}, \quad \text{дБ,} \quad (2.20)$$

где μ_r и γ_r - относительная магнитная проницаемость и относительная удельная электропроводность соответственно, f выражено в МГц.

Коррекция коэффициента затухания при многократном отражении. Если затухание $\Pi < 10 \div 15$, дБ, то возникающие на граничных слоях отраженные волны могут заметно повлиять на действительные значения E_{BT} и H_{BT} . Для коррекции можно использовать поправку

$$B = 20 \lg \left| 1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} e^{2jd} \right|, \text{ дБ.} \quad (2.21)$$

Приняв $\dot{\gamma} = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu\gamma} = (1+j)\sqrt{\pi f\mu\gamma}$ и $K \gg 1$, можно (2.21) упростить:

$$B = 20 \lg \left| 1 - e^{2d\sqrt{\pi f\mu\gamma}} e^{j2d\sqrt{\pi f\mu\gamma}} \right|, \text{ дБ.} \quad (2.22)$$

Многократные отражения сильнее влияют на затухание H_{BT} чем E_{BT} .

Читателю, питающему доверие к теории проводимости, метод полных сопротивлений кажется очень внушительным, однако необходимо указать, что теоретическое и экспериментальное определение коэффициентов затухания экранов, могут рассматриваться раздельно. Расхождения обычно объясняются тем, что метод полных сопротивлений не учитывает конечных размеров, отклонения угла падения волны от прямой, многократных отражений волны внутри экрана от противоположной стенки, влияния щелей и углов в реальном экране. Все эти факторы в значительной степени влияют на общий коэффициент затухания. Чтобы получить значения, близкие к экспериментальным, метод полных сопротивлений должен уточняться путем введения новых членов K_1, K_2, K_3 и т.д.:

$$\Xi = P + A + B + K_1 + K_2 + K_3 \dots \quad (2.23)$$

Рассмотрение этих членов, как и критическая точная оценка этого метода, лежит за рамками данной книги (см. [2.8]).

При написании второй главы использованы материалы из [2.1-2.15].

ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПАССИВНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК

3.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК

3.1.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При экранировании напряженности низкочастотных ЭМП большой амплитуды целесообразно использовать либо ферромагнитные оболочки, либо немагнитные, но с высокой электрической проводимостью. При использовании в качестве экранов ферромагнитных оболочек полезны следующие рекомендации:

- должна обеспечиваться высокая магнитная проницаемость материала, желательно применение магнитномягких материалов, для повышения начальной магнитной проницаемости, рекомендуется использовать подмагничивание;
- толщина оболочки должна быть достаточно велика, чтобы обеспечить минимальное магнитное сопротивление материала экрана; не рекомендуется выбирать длинные конструкции экранов;
- расстояния между экраном и магнитопроводами других элементов должны быть наибольшими, чтобы магнитное сопротивление внешней среды было большим по сравнению с магнитным сопротивлением экрана.

С увеличением частоты возрастает роль вихревых токов в оболочке. Происходит вытеснение магнитных силовых линий к поверхностному слою. Повышенная магнитная проводимость оболочки теряет свое значение. Экран превращается в электромагнитный. Эффективнее могут оказаться в таком случае немагнитные оболочки с высокой электрической проводимостью. При этом можно рекомендовать:

- в качестве материала экрана применять хорошо проводящие электрический ток материалы с целью уменьшения общего сопротивления;
- применением тонкостенных оболочек можно достичь при снижении массогабаритных показателей достаточно высокой эффективности экранирования.

2. При экранировании многополюсного электрооборудования необходимо применять оболочки из ферромагнитных материалов. Это следует делать из следующих соображений. Экранирующее действие ферромагнитных оболочек определяется не только макроскопическими токами, протекающими в его стенках, но и намагниченностью мате-

риала. Оболочка образует из магнитных силовых линий путь с малым сопротивлением, и величина магнитного потока, проходящего внутрь, зависит от магнитного сопротивления материала оболочки. Увеличение числа полюсов источника магнитного поля приводит к возрастанию экранирующего действия ферромагнитной оболочки. Экранирующее действие немагнитных оболочек обусловлено реакцией вихревых токов, протекающих в материале оболочек под действием поля. С изменением числа полюсов источника МП изменяется и число эквивалентных контуров, образуемых вихревыми токами в материале оболочек. При этом изменяются сопротивление и индуктивность контуров, что приводит к изменению фазы между магнитными потоками в материале оболочек, к возрастанию результирующей составляющей напряженности МП.

3. Выбор толщины стенок проводящего электрический ток ферромагнитного экрана нельзя сделать однозначным. Оптимальная толщина стенок определяется материалом экрана, частотой МП и заданной эффективностью экранирования. При этом необходимо учитывать следующее:

- при повышении частоты поля магнитная проницаемость материалов падает и вызывает снижение экранирующих свойств этих материалов, так как по мере снижения магнитной проницаемости возрастает сопротивление магнитному потоку, оказываемое экраном. Как правило, уменьшение магнитной проницаемости с повышением частоты идет наиболее интенсивно у ферромагнитных материалов с наибольшей начальной магнитной проницаемостью $\mu_{нач}$. Например, листовая электротехническая сталь с малой проницаемостью $\mu_{нач}$ мало изменяет магнитную проницаемость μ с повышением частоты, а пермаллой, имеющий большие значения $\mu_{нач}$, весьма чувствителен к повышению частоты поля;

- в ферромагнитных материалах, подверженных действию высокочастотного МП, заметно проявляется поверхностный эффект, т. е. вытеснение магнитного потока к поверхности стенки экрана. В таких условиях целесообразно увеличивать толщину стенок экрана, чтобы снизить магнитное сопротивление экрана даже при наличии поверхностного эффекта. При этом одновременно следует учитывать и изменение магнитной проницаемости.

4. При расчете экранов, находящихся вблизи мощных источников помех, необходимо учесть изменение динамической магнитной проницаемости от величины индукции и мощности потерь в экране.

5. Экранирующая оболочка характеризуется двумя взаимосвязанными функциями: эффективностью экранирования и функцией обратного действия, которые могут быть определены одна из другой. Поэтому при проектировании экрана обе эти функции необходимо рассматривать совместно, чтобы получить представление о процессах экранирования исследуемой оболочкой и выбрать оптимальную конструкцию.

6. Форма оболочки сравнительно мало влияет на ее экранирующие функции. Решающее значение имеют электрическая проводимость γ , магнитная проницаемость μ и толщина Δ .

7. Электромагнитный экран, как правило, представляет собой линейную систему, поэтому для него справедлив принцип взаимности. Место расположения источника не влияет на экранирующие функции. Это положение имеет большое практическое значение, так как при изучении эффективности экранирования позволяет ограничиться одним из случаев расположения источника поля.

8. При использовании экрана в статическом режиме необходимо учитывать обе границы отражения: диэлектрик - экран и экран - диэлектрик. Для низких частот ($f < 10^4$ Гц) затуханием энергии в поперечном сечении экрана можно пренебречь.

9. Экранирующие оболочки и конструкции необходимо заземлять, особенно в транспортных энергоустановках, так как в противном случае сама оболочка может явиться источником помехонесущего ЭМП нежелательного частотного диапазона, заземление необходимо также для обеспечения безопасности персонала.

10. При проектировании экрана необходимо установить характеристики источников помехонесущих МП. Метод расчета параметров оболочек выбирается в зависимости от характера МП.

3.1.2. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Стабилизация магнитного состояния материала экрана. Если по конструктивным, технологическим или экономическим причинам нет возможности увеличивать толщину экранирующих оболочек,

можно рекомендовать встряхивание ферромагнитного материала дополнительно приложенным ПеМП. Таким образом, стабилизируя магнитное состояние материала, можно достичь увеличения эффективности экранирования без увеличения расхода материала. Благодаря встряхиванию материала экранирующей системы относительно высоким ПеМП можно увеличить эффективную магнитную проницаемость материала. Физическая картина процесса встряхивания до конца не проанализирована, однако есть предположения, что встряхивающее поле держит домены материала в движении и таким образом предотвращает их замораживание на поврежденных участках кристаллической решетки.

Для осуществления процесса встряхивания материала экранирующей системы ПеМП должны устанавливаться обмотки, охватывающие экранирующие оболочки (рис. 3.1), в которые от специального источника подаются токи определенной амплитуды и частоты. В процессе встряхивания амплитуда и частота подаваемых в обмотки токов может изменяться. В некоторых случаях полезным окажется встряхивание переменным током с убывающей амплитудой и частотой.

Увеличения экранирующей способности ферромагнитных экранов можно достичь, используя безгистерезисное намагничивание ферромагнетиков. Такая кривая получается при одновременном воздействии на материал слабого постоянного (или медленно меняющегося) магнитного поля и сильного переменного поля с убывающей амплитудой. Можно считать, что рассмотренные процессы дополняют друг друга и приводят к улучшению эффективности экранирования.

Увеличение магнитной проницаемости материала экрана.

Увеличения магнитной проницаемости материала экрана можно достичь подмагничиванием. Подмагничивание осуществляется переменным током низкой частоты или постоянным током по схеме, аналогичной изображенной на рис. 3.1. Благодаря подмагничиванию материала экрана кривые переходят по кривой намагничивания в зону с более высокими магнитными проницаемостями. Увеличением магнитной проницаемости можно достичь значительного увеличения экранирующего эффекта [3.1]. Желательно, чтобы предварительно материал экрана был намагничен однородно.

Выбор формы и материала экрана. Конструктивная форма экрана сравнительно мало влияет на его эффективность экранирования. Решающее значение имеет материал, из которого изготовлен экран, толщина Δ и радиус R .

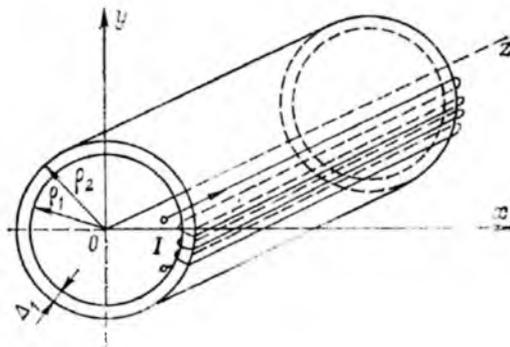


Рис. 3.1. Цилиндрический экран с подмагничивающей обмоткой

Выбор формы экрана зависит от конструктивных и технологических причин, а также от необходимости получить максимальную эффективность экранирования. Немаловажной является возможность получения однородного поля за пределами экранирующей оболочки. При выборе формы экрана необходимо учитывать следующее:

1. Если оболочки ограничены традиционными поверхностями (сферическими, круговыми цилиндрическими и плоскими), то при переменном помехонесущем ЭМП соотношения их эффективности экранирования (при равенстве толщины их стенок и величины радиусов) следующие:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}^{C(1)} : \mathcal{E}^{U(1)} : \mathcal{E}^{П(1)} &= 3 : 2 : 1 \quad \text{при } \nu_{1,0} \gg 1; \gamma \approx 0; \\ \mathcal{E}^{C(1)} : \mathcal{E}^{U(1)} : \mathcal{E}^{П(1)} &= 1 : 1,5 : 3 \quad \text{при } \nu_{1,0} = 1, \gamma > 0 \end{aligned}$$

То, что эффективность экранирования таких различных типов экранов, как цилиндрический и плоский, различается лишь множителем два, дает возможность заключить, что, например, длинный экран с прямоугольным сечением может явиться наиболее близким по эффективности к обоим указанным выше идеальным типам экранов. Если размеры прямоугольного сечения одинаковы, то для расчета могут быть применены формулы цилиндрического экрана. При увеличении одной из сторон этого сечения перейдем к формулам для плоского экрана. При этом эффективность экранирования будет различаться не более чем в два раза.

Малое влияние формы экрана на эффективность экранирования позволяет в практике расчета и конструирования экранов, а также при определении эффективности существующих экранов применять фор-

мулы для расчета эффективности экранирования плоскостью, цилиндром и сферой к расчету эффективности экранов, близких к ним по форме.

2. Если напряженность помехонесущего МП является однородной, то однородную напряженность поля за экраном можно получить при использовании экранов сферической, сфероидальной (при направлении напряженности поля параллельно оси), круговой цилиндрической и плоской формы. При расчете параметров экранов другой формы необходимо иметь в виду различную степень неоднородности магнитного поля. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении однородного МП.

3. Если появляется необходимость создания цилиндрических экранов с прямоугольным сечением, то следует помнить, что наибольшей эффективностью экранирования обладает цилиндр с квадратным сечением. Точно так же предпочтительным оказывается кубический экран по сравнению с другими замкнутыми экранами прямоугольного сечения.

4. Экран по возможности должен быть замкнутым для обеспечения лучшей эффективности экранирования.

Замкнутый экран, выполненный из материала с высокими магнитной проницаемостью μ , и электрической проводимостью γ и обладающий достаточной толщиной Δ , казалось бы, должен удовлетворять требованиям инженерной практики. Однако этого для многих задач недостаточно. Иногда экранирующие оболочки должны удовлетворять, кроме обеспечения высокой эффективности экранирования, дополнительным требованиям: продолжительности жизни, гальванической совместимости и механической прочности. Продолжительность жизни экранирующей оболочки зависит от свойств среды, в которой он работает: от температуры, давления, агрессивности среды (склонности к коррозии). Гальваническая совместимость важна при использовании многослойного или составного экрана и зависит от нахождения металлов в потенциальном ряду. Под механической прочностью экранов понимается способность к сжимаемости и растяжению без нарушения механических свойств.

При выборе ферромагнитных материалов следует руководствоваться следующим:

- для увеличения эффективности экранирования предпочтительны материалы с высоким значением статической магнитной проницаемости;
- минимальная толщина стенок во избежание потери экранирующих свойств должна выбираться исходя из того, чтобы материал при максимальных значениях напряженности МП не насыщался.

3.1.3. УЧЁТ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ЭКРАНА

В ферромагнитных экранах магнитная проницаемость материала μ , как функция напряженности \vec{H} МП может изменяться в широких пределах, что приводит к необходимости учета характера изменения μ в стенке экрана и, следовательно, нелинейности характеристики материала экрана. Напряженность \vec{H} в стенках экрана является функцией координат. Амплитуда напряженности изменяется как по мере проникновения поля вглубь стенки экрана (по координате q_1), так и по поверхности (по координатам q_2 и q_3). При этом магнитная проницаемость μ в стенке экрана, являясь функцией амплитуды напряженности \vec{H} , будет также функцией координат. Нелинейность зависимости $\mu(\vec{H})$ приводит к тому, что периодические кривые напряженности \vec{H} и индукции \vec{B} будут содержать высшие гармоники. Последними можно пренебречь как второстепенным фактором по сравнению с нелинейностью процесса, связанного с изменениями амплитуды напряженности МП. При этом допущении периодические кривые функций \vec{H} и \vec{B} можно заменить эквивалентными синусоидами, в качестве которых выбираются первые гармоники этих кривых. Потери на гистерезис, определяющие угол фазового сдвига между эквивалентными синусоидами и \vec{H} , можно, в первом приближении, не учитывать. Таким образом, μ в каждой точке экрана можно определять по основной кривой намагничивания материала экрана как функцию амплитуды напряженности \vec{H} . Введение в уравнения, описывающие электромагнитное поле, μ как некоторой функции \vec{H} приводит к необходимости решать нелинейную задачу, которую можно свести к линейной для слоистого экрана с постоянной проницаемостью μ в слое. Значения μ при этом подбираются так, чтобы соответствовать по основной кривой намагничивания средним значениям напряженности \vec{H} в слоях экрана.

Задача определения значений μ отдельных слоев, на которые разбит экран, решается последовательными приближениями, так как

для вычисления значений амплитуды напряженности \bar{H} внутри экрана, по которым из кривой намагничивания определяется проницаемость μ слоев, необходимо задаться значениями μ . Экран рекомендуется разбивать на равные по толщине слои. Если выбирать толщину слоев меньшей в области быстрого изменения μ и большей в области ее медленного изменения, можно добиться той же точности учета при меньшем числе слоев по сравнению с делением на слои равной толщины. Критерием выбора толщины слоя можно принять величину $\Delta\mu = |\mu_{k-1} - \mu_k|$, $k = 1, \dots, n$ (n - число слоев). Толщина слоя выбирается так, чтобы $\Delta\mu \leq \Delta\mu_{\max}$, где $\Delta\mu_{\max}$ - заданное значение. Если это условие выполняется, то такой слой далее не дробится. При выборе числа слоев необходимо определить, проходит ли кривая изменения проницаемости μ при изменении толщины экрана через свое максимальное значение.

Итерационный процесс строится следующим образом. Если экран разделен на n слоев, то задаются начальными значениями $\mu^{(0)}$ в каждом слое и производят расчет модуля амплитуды $\bar{H}_{mk}^{(0)}$ ($k = 1, \dots, n$) на каждой поверхности. Затем по средней напряженности по границам слоя определяют из кривой намагничивания новое значение $\mu^{(1)}$. Полученное $\mu^{(1)}$ сравнивается с $\mu^{(0)}$. Если разность между ними превосходит заданную точность расчета ε , то значение μ слоя уточняется. Магнитная проницаемость $\mu^{(1)}$ принимается равным среднему арифметическому предыдущего $\mu^{(0)}$ и первого из полученных значений $\mu^{(1)}$. Таким образом, определяется $\mu^{(1)}$, и расчет \bar{H} повторяется сначала. Аналогично получают второе, третье и т. д. приближения, и так продолжают до тех пор, пока вновь полученное значение μ будет отличаться от предыдущих значений не более чем на ε .

3.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК

3.2.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При экранировании магнитной напряженности низкочастотных ЭМП большой интенсивности необходимо применять многослойные экраны как с целью повышения эффективности экранирования, так и с целью более рационального их конструирования (уменьшения массы и габаритов).

2. Слои из ферромагнитного и немагнитного материалов, составляющие многослойный экран, желательно чередовать. Чередование слоев с разными волновыми сопротивлениями приводит к многократному отражению напряженности помехонесущих МП и интенсивному поглощению энергии поля в поперечном сечении стенок.

3. Должны быть выдержаны определенная толщина стенок и оптимальные расстояния между ними. Эффективность экранирования многослойным экраном достигает максимального значения в случаях, когда толщина стенок и промежутки между экранами увеличиваются пропорционально от центра экрана. Величина каждого промежутка является средней геометрической величиной толщины стенок, примыкающих к нему слоев.

4. С целью уменьшения потерь, вносимых многослойным экраном в экранируемую цепь, в качестве материала слоя, обращенного к экранируемой цепи, используются хорошо проводящие электрический ток немагнитные материалы.

5. Наиболее точным и информативным методом, позволяющим получить оптимальную эффективность экранирования многослойным экраном, является метод, основанный на решении уравнений Максвелла. С развитием вычислительной техники такие недостатки этого метода, как трудоемкость вычислений, необходимость в применении интегральных преобразований и т. д., уменьшаются. Когда точность решения не является существенной и качественные характеристики являются достаточными, при расчете эффективности экранирования можно пользоваться методом цепей и теорией длинной линии [3.2, 3.3].

6. Рекомендуется использовать многослойные проводящие электрический ток ферромагнитные экраны. Их действие не сводится к простому ослаблению напряженности внешних помехонесущих магнитных полей, а приводит к существенному уменьшению неоднородности поля в полости экрана.

При одновременном использовании многослойного пассивного и активного экранирования (компенсационных обмоток) пассивный экран во многом определяет возможность подавления МП в системе активного экранирования, делая более однородным поле помех в зоне действия активного экрана.

7. Если задаться экранирующими функциями по отдельным гармоникам поля, интересующим нас при решении задач ЭМС, хотя бы для двух различных периодов, можно получить системы уравнений,

позволяющие найти нужные параметры: $\Delta_j, \gamma_j, \mu_j$ (j - номер слоя) [3.6]. Зная последние два ряда гармоник, можно поставить задачу о проектировании многослойного экрана с оптимальными свойствами.

3.2.2. УВЕЛИЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ В ПОЛОСТИ МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКИ

Иногда необходимо получить в полости системы экранирующих оболочек высокую степень однородности поля. Достигнув ее и используя систему компенсационных обмоток, можно обеспечить высокий «магнитный вакуум», который необходим для совершенствования техники измерений слабых биомангнитных полей на фоне внешних помех.

Увеличить степень однородности МП в полости системы экранирующих оболочек можно несколькими способами:

- использованием многослойного экрана, ограниченного полной координатной поверхностью (сферой, сфероидом, круговым цилиндром и т. д.), состоящего из чередующихся тонких ферромагнитных и немагнитных слоев; слои могут разделяться воздушными промежутками и размещаться [3.2]; степень однородности поля в полости оболочек увеличивается по мере увеличения числа слоев; наибольшей эффективности в выравнивании поля таким способом можно достичь в режиме магнитостатики ($\omega \rightarrow 0$);

- при использовании многослойного экрана с эксцентрическим расположением слоев можно достичь заданной степени однородности поля в полости меньшим числом слоев, чем при их чередовании; кроме того, благодаря изменению эксцентриситета отдельных слоев можно варьировать эффективность экранирования системой оболочек [3.2]; высокой степени однородности поля в полости можно достичь при наличии двух ферромагнитных слоев, размещенных эксцентрически;

- использованием многослойного экрана, составленного из неидентичных оболочек (сферического и сфероидального, кругового ци-

линдрического и сфероидального и т. д.); иногда достаточным оказываются два слоя;

- использованием ферромагнитного экрана с высокой степенью анизотропии магнитной проницаемости материала экрана по поверхности и по толщине; такой экран представляет собой оптимальную модель многослойного экрана и обладает свойством подавления высших гармоник внешнего МП в гораздо более высокой степени, чем первой гармоники поля, тем самым создавая в полости экрана МП высокой степени однородности.

3.2.3. ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК НА СТРУКТУРУ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ

Структура ЭМП за пределами экранирующих оболочек, в полости которых находится его источник, во многом определяется формой и размерами оболочек.

Источник ЭМП самой сложной конфигурации может быть представлен набором магнитных или электрических диполей [3.3]. Относительно геометрического центра экранирующей системы источник поля представляется набором мультиполей: диполем, квадруполем, октуполем и т. д. На каждый из этих мультиполей система экранирующих оболочек действует по-разному. Кроме того, затухание напряженностей полей мультиполей происходит обратно пропорционально эффективности экранирования $\mathcal{E}_n^{S(j)} R^{n+1}$, где R - расстояние от места расположения мультиполя до точки его наблюдения, n - порядок мультиполя, $\mathcal{E}_n^{S(j)}$ - эффективность экранирования n мультиполя S оболочкой с j слоями. Учитывая это, можно отметить:

- на разных расстояниях от системы оболочек, в которых находится источник МП, он наблюдается по-разному; при $R \rightarrow \infty$ самое сложное поле будет определяться как созданное лишь одним диполем, расположенным в центре координатной системы;

- всегда можно так спроектировать экранирующую систему оболочек, что во внешнем МП будет отсутствовать желаемый набор мультиполей.

Учитывая затухание напряженностей поля при удалении от геометрического центра, относительно которого ориентирован источник,

например дипольный $D[\vec{M}, \vec{r}]$, где \vec{r} - расстояние от места расположения источника до геометрического центра, можно отметить [3.3]:

- поле дипольного источника, смещенного относительно геометрического центра, на расстояниях $R > 20r$ наблюдается как поле центрального диполя;

- при $R \approx 10r$ то же поле наблюдается как поле центрального диполя и квадруполь;

- при $R < 10r$ поле смещенного от центра дипольного источника наблюдается как поле бесконечного набора мультиполей, начиная с дипольного, квадрупольного, октупольного и т. д.

Если использовать систему экранирующих оболочек с центром в уже заданном геометрическом центре, то можно изменить структуру внешнего МП. Наиболее перспективной может оказываться экранирующая система из двух ферромагнитных оболочек, ограниченных координатными поверхностями (сферическая, сфероидальная и т. д.), размещенных эксцентрически [3.2]. Такая система не только уменьшит расстояния, на которых источник МП проявляется различным набором мультиполей, но и позволит, используя смещение центров оболочек относительно друг друга, осуществлять изменения мультипольного состава источника поля, например в режиме слежения.

3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК

3.3.1. ОБОЛОЧКИ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Незамкнутые экраны. Непрерывность экрана нарушается в основном на стыках сопрягаемых деталей. Эти стыки можно разделить на физически однородные и неоднородные. Физически однородными можно считать стыки, которые не мешают прохождению магнитных силовых линий. Благодаря этому не увеличивается магнитное сопротивление экрана и не ухудшаются его экранирующие свойства. Физически неоднородные стыки образуются при монтаже экрана винтами, заклепками, сваркой и т. д., когда соединение не является непрерывным и между соединяемыми деталями образуются изгибы, выступы и другие неровности, создающие щели, способные пропускать ЭМП на некоторых частотах.

Физическую неоднородность можно уменьшить различными способами. Если соединение неразъёмное, желательно выполнить сваркой однородный шов по краям соединяемых деталей, который не должен иметь сквозных трещин (рис. 3.2, а, в). Однако если электрическая проводимость или магнитная проницаемость наваренного металла гораздо меньше, чем у материала экрана, то эффективность экранирования ухудшается. Неразъёмный обжимаемый шов (рис. 3.2, г) не требует сварки или пайки, но перед его обжатием необходимо зачистить поверхности соединяемых деталей.

К незамкнутым экранам можно отнести конечные круговые цилиндрические оболочки с размерами $l \approx D_0$ (l - длина, D_0 - средний диаметр цилиндра). При их конструировании следует руководствоваться следующим [3.4]:

- для увеличения эффективности экранирования как параллельных, так и перпендикулярных МП необходимо выбирать материал с высоким значением статической магнитной проницаемости;

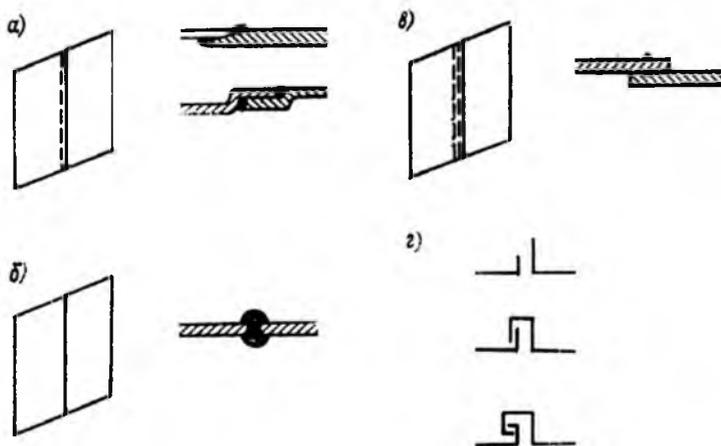


Рис. 3.2. Способы уменьшения физической неоднородности соединений

- минимальная толщина стенок во избежание потери экранирующих свойств должна выбираться исходя из того, чтобы материал при значениях максимальной напряженности $\vec{H}_{l_{\max}}$ внешнего МП не входил в область магнитного насыщения, для этого необходимо соблюдать условия:

$$\bar{H}_{l_{\max}} < 4N_2(\Delta/D_0)(\bar{B}_s/\mu_0) - \text{для параллельного МП};$$

$$\bar{H}_{l_{\max}} < (\Delta/D_0)(\bar{B}_s/\mu_0) - \text{для перпендикулярного МП},$$

где N_2 - размагничивающий коэффициент, \bar{B}_s - индукция насыщения, Δ - толщина экрана; из этих условий следует, что продольное насыщение наступает в более слабых полях вследствие малых величин N_2 , поэтому для повышения эффективности экрана при выборе отношения Δ/D_0 необходимо исходить из заданной частоты;

- длина цилиндрического экрана выбирается исходя из получения максимальной эффективности экранирования: если для перпендикулярных МП выбор ее очевиден (с увеличением l растет эффективность экранирования) и ограничен лишь конструктивными соображениями, то для продольных полей существует оптимальное отношение l/D_0 , при котором эффективность экранирования максимальна (при заданных Δ/D_0 и материале экрана);

- при соответствующем выборе материала и геометрических размеров можно получить максимальную эффективность экранирования, если устранить влияние остаточной намагниченности материала экрана путем размагничивания цилиндра переменным током убывающей амплитуды.

3.3.2. ЗАМКНУТЫЕ ЭКРАНЫ СО СЛАБОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

В инженерных задачах иногда приходится рассчитывать параметры деформированных оболочек или спроектированных с заданными отклонениями от опорной оболочки, под которой понимается срединная оболочка, ограниченная координатной поверхностью.

Расчет таких оболочек осуществляется с учетом неоднородности поверхности оболочки в самих граничных условиях. Граничные условия для неоднородных по форме ферромагнитных оболочек получены из векторной формы граничных условий для топких оболочек с использованием теории возмущений. Эта теория хорошо применима, если рассматриваемая задача близка к той, которая может быть решена

точно. Предполагается при этом, что изменения формы граничной поверхности не носят сингулярного характера.

Решение краевой задачи в этом случае сводится, как и для оболочек, изготовленных из материалов с неоднородными магнитной проницаемостью и электрической проводимостью, к бесконечной системе алгебраических уравнений. В результате в поле за экранирующей оболочкой набор пространственных гармоник будет иным, чем в исходном поле: появятся гармоники более высокой степени и порядка, чем в исходном поле. Поэтому при проектировании оболочек со слабой поверхностной неоднородностью необходимо считаться с появлением гармоник, отличных от содержащихся в исходном поле. Если такие гармоники желательно исключить, то должны быть предусмотрены специальные меры: неоднородности в электромагнитных параметрах материала или необходимый эксцентриситет при использовании многослойных экранирующих оболочек.

3.3.3. ОБОЛОЧКИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Экранирующие функции оболочек можно варьировать, достигая высокой степени однородности поля в полости экрана, если использовать материалы с переменными электрической проводимостью γ и магнитной проницаемостью μ , при этом:

1. Использование тонкостенных оболочек с переменными μ и γ по поверхности приводит к появлению в возбужденных оболочкой полях гармоник более высокой степени и порядка, которые затухают значительно быстрее при изменении расстояния, чем гармоники низкой степени и порядка. При проектировании оболочек с заданными экранирующими функциями (в частности, для отдельных гармоник) можно рекомендовать задаваться набором возможных законов изменения μ и γ по поверхности оболочки и из результатов расчета устанавливать желаемый закон изменения μ и γ . Принципиальных трудностей при этом не встречается [3.5].

2. Использование толстостенных оболочек позволяет задаваться изменением параметров μ и γ при изменении толщины и рассчитывать экраны, обеспечивающие необходимые уменьшения исходного поля по амплитуде и по фазе. Если известны амплитуда и фаза, по

крайней мере, для двух гармоник различных периодов, то, используя эти значения, получаем систему уравнений, позволяющую найти толщину экрана, параметр затухания, а также электрическую проводимость и магнитную проницаемость [3.6].

3. В отдельных случаях можно рекомендовать использование анизотропных экранов (с определенными магнитной проницаемостью и электрической проводимостью по поверхности и толщине). Такие экраны обладают свойствами подавления высших пространственных гармоник в помехопесущих ЭМП по составляющим напряженности, тем самым создавая в полости экрана поле с составляющими напряженности высокой степени однородности.

3.3.4. СЕТОЧНЫЕ И РЕШЕТЧАТЫЕ ОБОЛОЧКИ

При проектировании экранирующих оболочек иногда предпочтение следует отдать сеточным и решетчатым оболочкам. Решетчатые оболочки имеют некоторые преимущества по сравнению со сплошными: улучшенный теплообмен с внешней средой, возможность визуального наблюдения за техническим состоянием ТС в процессе эксплуатации и более удобного его ремонта.

Следует помнить, что некоторые погрешности, свойственные сеточным экранирующим оболочкам, практически не поддаются учету: неоднородности падающего ЭМП, соизмеримые с размерами ячеек; недостаточно строгий учет сопротивления контактов и т. д. Возникновение таких погрешностей может быть оценено лишь при решении инженерных задач. Правильность же применимости тех или иных допущений может быть установлена при конструкторских проработках конкретных устройств.

3.4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Формирование моделей экранов блоков для оценки эффективности экранирования – достаточно сложная задача. В инженерной практике можно использовать упрощённые модели, адекватность которых в определённом диапазоне параметров подтверждается экспериментально. Методика не охватывает все факторы, необходимые для расчёта эффективности экранирования произвольного блока, но, тем не менее, даёт вполне приемлемый результат для предварительных оценок.

Эффективность экранирования в данной зоне определяется для сплошного металлического листа тремя факторами: потерями па отражение (P), потерями на поглощение (Π) и потерями на многократное отражение (B). Все факторы рассчитываются отдельно в дБ и складываются для получения суммарной эффективности экранирования.

Параметром многократного отражения в большинстве практических случаев можно пренебречь. Тогда эффективность экранирования есть сумма потерь на поглощение и отражение.

Потери на поглощение – функция физических характеристик экрана: проводимости, проницаемости, толщины и частоты источника электромагнитного возмущения. Очевидно, что потери на поглощение имеют смысл.

Полученный результат экранирования представляет собой идеализированный случай, при котором корпус аппарата представляется идеальным, состоящим из листов металла, причём ЭМВ падает нормально на каждую сторону корпуса. Здесь не учитываются размеры корпуса и то, что важно, наличие щелей в местах стыков металлических листов, из которых он изготовлен.

Больше приближена к действительности модель корпуса аппарата, где эффективность экранирования блока определяется с учётом щелей и зазоров в соединительных швах (паяных, сварных, болтовых и т. д.). Влияние отверстий в металлическом листе на коэффициент экранирования можно учитывать поправочными коэффициентами, учитывающими длину шва и расположение шва относительно направленности ЭМП. Эти коэффициенты могут быть получены экспериментально и представлены в виде экстраполируемых функций.

Эффективность защиты человека. В качестве средств защиты человека от действия ЭМП в широком диапазоне частот чаще всего рекомендуется использовать пассивные электромагнитные экраны, а также комбинацию активных и пассивных экранов. Наиболее эффективными могут оказаться при этом многослойные конструкции как пассивных, так и комбинированных (активных и пассивных) экранов. Среди них:

- Однотипные многослойные оболочки, выполненные из металлизированной материи и служащие в качестве индивидуальной защиты.

- Неоднотипные многослойные оболочки с управляемым экцентриситетом. Такие можно использовать для экранирования энергетических помещений, рабочих мест и транспортных объектов.

- Комбинированные экранирующие системы с компенсационными обмотками, способные компенсировать пространственные гармоники полей высокого порядка.

Из дополнительных мер, которые могут быть использованы для снижения напряженностей воздействующих на человека ЭМП, можно рекомендовать:

- Рациональное размещение основных источников ЭМП в зонах нахождения человека.

- Защиту человека расстоянием от источника ЭМП, учитывая, что магнитные напряженности снижаются с расстоянием как $(r/r_0)^{-3}$, электрические напряженности как $(r/r_0)^2$, где r_0 - базовый радиус источника ЭМП, r - координата расстояния от геометрического центра источника до защищаемого объекта.

- Защиту временем - уменьшением времени пребывания человека в зоне действия ЭМП с высокими напряженностями.

Для контроля напряженностей ЭМП и их снижения до требуемых пределов могут быть у ответственных ТС предусмотрены системы диагностирования и снижения ЭМП. В настоящее время можно рекомендовать:

- Системы диагностирования мультипольных компонент ЭМП, произвольно распределенных в энергетическом помещении или в жилых помещениях.

- Системы снижения мультипольных компонент ЭМП (в частности, с помощью обмоток с токами, предназначенными для компенсации дипольных и квадрупольных компонент произвольно распределенного в пространстве около крупного источника ЭМП).

Особый интерес могут вызвать:

- Селективные экраны, представляющие собой комбинацию активных обмоток и пассивных металлических хорошо проводящих электрический ток оболочек с резонансными контурами, настроенными на компенсацию ЭМП в низкочастотной зоне ($f = 0 \div 5$ Гц).

- Комбинированные многослойные проводящие электрический ток ферромагнитные экраны с включением биологических слоев (см. гл. 6). В качестве биологических слоев можно использовать естественные проводящие электрический ток среды разного вида: растущие деревья, водные растворы, проводящие воздушные среды, грунты и др. В ряде случаев такие биологические слои являются естественной принадлежностью окружающей среды. Важной задачей является уметь не

только учесть их влияние на распределение помехонесущего ЭМП, но и, воздействуя на параметры соответствующего биослоя, добиться необходимого снижения ЭМП до достижения биологически безопасных напряженностей.

При проектировании сеточных экранов необходимо иметь в виду следующее: при одинаковых d и a медные сетки имеют лучшие экранирующие свойства на низких частотах по сравнению со стальными во столько раз, во сколько удельная проводимость меди больше, чем стали; при $a = const$ одного и того же материала экранирующая эффективность сетки из толстой проволоки выше, чем сетки, выполненной из тонкой проволоки.

При проектировании экрана с функционально необходимыми отверстиями следует учитывать следующее: а) при экранировании сферическим экраном в ЭП наиболее неблагоприятной является экваториальная круговая щель, при экранировании в МП - меридиональная щель; б) замена одного большого отверстия несколькими малыми, общая площадь которых равна площади большого отверстия, приводит к повышению эффективности экрана в $1/n$ раз, где n - количество одинаковых отверстий; длинные щели по этой причине целесообразно разбивать перемычками на ряд коротких участков, в том числе щели перфораций.

Наибольшей эффективностью экранирования (свыше 40 дБ) обладают сплошные металлические оболочки.

Конкретный же выбор между медью и алюминием осуществляется на основе технической необходимости и экономической эффективности.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

4.1. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Инженерно-технические защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования ЭМП непосредственно в местах пребывания человека либо на мероприятиях по ограничению эмиссионных параметров источника ЭМП. Последнее, как правило, применяется на стадии разработки изделия, служащего источником ЭМП.

Одним из основных способов защиты от ЭМП является их экранирование в местах пребывания человека. Обычно подразумевается два типа экранирования: экранирование источников ЭМП от людей и экранирование людей от источников ЭМП. Защитные свойства экранов основаны на эффекте ослабления напряженности и искажения ЭП в пространстве вблизи заземленного металлического предмета.

Защита от ЭП промышленной частоты, создаваемого ЛЭП, осуществляется путем установления СЗЗ для ЛЭП и снижением напряженностей ЭМП в жилых зданиях и в местах возможного продолжительного пребывания людей путем применения защитных экранов.

Защита от МП промышленной частоты практически возможна только на стадии разработки изделия или проектирования объекта, как правило, снижение уровня МП достигается за счет векторной компенсации, поскольку иные способы экранирования МП промышленной частоты чрезвычайно сложны и дороги.

Основные требования к обеспечению безопасности населения от ЭП промышленной частоты, создаваемого системами передачи и распределения электроэнергии, изложены в Санитарных нормах и правилах «Защита населения от воздействия ЭП, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» № 2971-84.

При экранировании ЭМП в радиочастотных диапазонах используются разнообразные радиоотражающие и радиопоглощающие материалы, рассмотренные ранее в гл. 2-3.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Эти материалы используются в виде листов, сетки, либо в виде решеток и металлических трубок. Отрицательным свойством отражающих мате-

риалов является то, что они в некоторых случаях создают отраженные радиоволны, которые могут усилить облучение человека.

Более удобными материалами для экранировки являются радиопоглощающие материалы. Листы поглощающих материалов могут быть одно- или многослойными. Многослойные - обеспечивают поглощение радиоволн в более широком диапазоне. Для улучшения экранирующего действия у многих типов радиопоглощающих материалов с одной стороны впрессована металлическая сетка или латунная фольга. При создании экранов эта сторона обращена в сторону, противоположную источнику излучения.

Несмотря на то, что поглощающие материалы во многих отношениях более надежны, чем отражающие, применение их ограничивается высокой стоимостью и узостью спектра поглощения.

В некоторых случаях стены покрывают специальными красками. В качестве токопроводящих пигментов в этих красках применяют коллоидное серебро, медь, графит, алюминий, порошкообразное золото. Обычная масляная краска обладает довольно большой отражающей способностью (до 30 %), гораздо лучше в этом отношении известковое покрытие.

Радиоизлучения могут проникать в помещения, где находятся люди, через оконные и дверные проемы. Для экранирования смотровых окон, окон помещений, застекления потолочных фонарей, перегородок применяется металлизированное стекло, обладающее экранирующими свойствами. Такое свойство стеклу придает тонкая прозрачная пленка либо окислов металлов, чаще всего олова, либо металлов - медь, никель, серебро и их сочетания. Пленка обладает достаточной оптической прозрачностью и химической стойкостью. Будучи нанесенной на одну сторону поверхности стекла, она ослабляет интенсивность излучения в диапазоне 0,8 – 150 см на 30 дБ (в 1000 раз). При нанесении пленки на обе поверхности стекла - ослабление достигает 40 дБ (в 10000 раз).

Для защиты населения от воздействия ЭМИ в строительных конструкциях в качестве защитных экранов могут применяться металлическая сетка, металлический лист или любое другое проводящее покрытие, в том числе и специально разработанные строительные материалы. В ряде случаев достаточно использования заземленной металлической сетки, помещаемой под облицовочный или штукатурный слой.

В качестве экранов могут применяться также различные пленки и ткани с металлизированным покрытием.

Радиоэкранирующими свойствами обладают практически все строительные материалы. Данные об эффективности экранирования различными строительными материалами приведены в томе 2.

В качестве дополнительного организационно-технического мероприятия по защите населения при планировании строительства необходимо использовать свойство «радио-тени», возникающее из-за рельефа местности и огибания радиоволнами местных предметов.

В последние годы в качестве радиоэкранирующих материалов распространение получили металлизированные ткани на основе синтетических волокон. Их получают методом химической металлизации (из растворов) тканей различной структуры и плотности. Существующие методы получения позволяют регулировать количество наносимого металла в диапазоне от сотых долей до единиц мкм и изменять поверхностное удельное сопротивление тканей от десятков до долей ом. Экранирующие текстильные материалы обладают малой толщиной, легкостью, гибкостью; они могут дублироваться другими материалами (тканями, кожей, пленками), хорошо совмещаются со смолами и латексами.

4.2. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ГДЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЭКРАНЫ

Защита организма человека от действия ЭМИ предполагает снижение их интенсивности до уровней, не превышающих предельно допустимые. Защита обеспечивается выбором конкретных методов и средств, учетом их экономических показателей, простотой и надежностью эксплуатации.

Организация этой защиты подразумевает [4.1] оценку уровней интенсивности излучений на рабочих местах и их сопоставление с действующими нормативными документами; выбор необходимых мер и средств защиты, обеспечивающих степень защищенности в заданных условиях; организацию системы контроля над функционирующей защитой.

По своему назначению защита может быть коллективной, предусматривающей мероприятия для групп персонала, и индивидуальной - для каждого специалиста в отдельности. В основе каждой из них лежат организационные и инженерно-технические мероприятия. Организационные меры защиты направлены на обеспечение оптимальных вариантов расположения объектов, являющихся источниками излучения, и

объектов, оказывающихся в зоне воздействия, организацию труда и отдыха персонала с целью снизить до минимума время пребывания в условиях воздействия, предупредить возможность попадания в зоны с интенсивностями, превышающими ПДУ, т. е. осуществить защиту «временем». Внедрение в практику этих защитных мер начинается в период предупредительного и уточняется в период текущего санитарного надзора. К организационным мерам защиты следует отнести и проведение ряда лечебно-профилактических мероприятий. Это, прежде всего, обязательное медицинское освидетельствование при приеме на работу, последующие периодические медицинские обследования, что позволяет выявить ранние нарушения в состоянии здоровья персонала, отстранить от работы при выраженных изменениях состояния здоровья. В каждом конкретном случае оценка риска здоровью работающих должна базироваться на качественной и количественной характеристике факторов. Существенным с позиции влияния на организм является характер профессиональной деятельности и стаж работы. Важную роль играют индивидуальные особенности организма, его функциональное состояние. К организационным мерам следует отнести также применение средств наглядного предупреждения о наличии того или иного излучения, вывешивание плакатов с перечнем основных мер предосторожности, проведение инструктажей, лекций по безопасности труда при работе с источниками излучений и профилактике их неблагоприятного и вредного воздействия. Большую роль в организации защиты играют объективная информация об уровнях интенсивностей на рабочих местах и четкое представление об их возможном влиянии на состояние здоровья работающих.

Защита «временем» предусматривает нахождение в контакте с излучением только по служебной необходимости с четкой регламентацией по времени и пространству совершаемых действий; автоматизацию работ; уменьшение времени настроечных работ и т. д. В зависимости от воздействующих уровней (инструментальный и расчетный методы оценки) время контакта с ними определяется в соответствии с действующими нормативными документами. Защита рациональным (оптимальным) размещением подразумевает определение СЗЗ, зон недопустимого пребывания 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. 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 целых коллективов, на больших производственных площадях, а вторые уменьшают излучения при индивидуальной регламентации труда. Инженерно-технические меры защиты применяются в тех случаях, когда исчерпана эффективность организационных мер. Коллективная защита по сравнению с индивидуальной предпочтительней вследствие простоты обслуживания и проведения контроля над эффективностью защиты. Однако ее внедрение часто осложняется высокой стоимостью, сложностью защиты больших пространств. Нецелесообразно, например, ее использование при проведении кратковременных работ в полях с интенсивностью выше предельно допустимых уровней. Это ремонтные работы в аварийных ситуациях, настройка и измерение в условиях открытого излучения, при проходе через опасные зоны и т.д. В таких случаях показано применение индивидуальных средств защиты.

Тактика применения методов коллективной защиты от ЭМИ зависит от нахождения источника облучения по отношению к производственному помещению: внутри или снаружи. Индивидуальные средства защиты предназначены для предотвращения воздействия на организм человека ЭМИ с уровнями, превышающими предельно допустимые, когда применение иных средств невозможно или нецелесообразно. Они могут обеспечить общую защиту, либо защиту отдельных частей тела (локальная защита).

Способ защиты в каждом конкретном случае определяется с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой эффективностью защиты. На практике применяется либо один способ защиты либо одновременно несколько способов.

На каждое защитное приспособление составляется техническая документация с указанием назначения, диапазона частот, в котором приспособление может быть использовано, допустимой мощности рассеяния, обеспечивающей эффективность защиты и т. д.

Средства защиты должны обеспечивать соблюдение требований санитарно-гигиенических и противопожарных норм, не искажать существенно ЭМП, не снижать качество технического обслуживания и ремонта, не снижать производительность труда.

Индивидуальные инженерно-технические мероприятия проводятся в случаях, когда другие способы защиты не приемлемы или неэффективны.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение и раннее обнаружение состояния здоровья лиц, профессио-

нально связанных с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП. Лица с начальными проявлениями клинических нарушений, обусловленных воздействием ЭМП, а также с общими заболеваниями, течение которых может усугубляться под влиянием неблагоприятных факторов производственной среды, должны ставиться на диспансерный учет с проведением соответствующих гигиенических и терапевтических мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и восстановление состояния здоровья работающих.

Способ экранирования соответствует частотному диапазону ЭМП.

Следует выделить следующие частотные зоны: ЭСП ($f = 0$, Гц); ПМП ($f = 0$, Гц); ЭП и МП промышленной частоты ($f = 50, 60, 400$ Гц); ЭМП радиочастот ($f = 3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^{11}$, Гц).

Рассмотрим каждую из отмеченных зон.

Электростатическое поле. Защита человека осуществляется коллективными и индивидуальными средствами. К коллективным средствам относятся заземляющие, увлажняющие и экранирующие устройства. Экранирующие устройства обеспечивают снижение напряженности ЭСП в рабочей зоне до допустимых значений. Экранирующие устройства заземляются. В ряде случаев защитными экранами могут служить диэлектрические оболочки с высокой диэлектрической проницаемостью. Они оказывают некоторое экранирующее влияние на ЭСП.

Средствами индивидуальной защиты являются антиэлектростатическая одежда, антиэлектростатическая обувь, антиэлектростатические предохранительные приспособления (кольца, браслеты), антиэлектростатические средства защиты рук. Для изготовления антиэлектростатической одежды применяются материалы с удельным поверхностным электрическим сопротивлением не более 10^7 Ом. Электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной подошвы обуви должно быть от 10^6 до 10^8 Ом. Запрещается использование резиновой обуви.

Антиэлектростатический браслет одевают на руку оператора и заземляют через резистор сопротивлением 1 Мом. Сопротивление обеспечивает безопасность оператора при случайном появлении напряжения на заземленных частях оборудования. В полупроводниковой промышленности используют антиэлектростатические халаты. При

выполнении операций сидя тело человека заземляется антиэлектростатическим халатом и антиэлектростатической подушкой.

Постоянное магнитное поле. Защита обслуживающего персонала магнитных устройств и рабочих, занятых на обработке литых и металло-керамических постоянных магнитов осуществляется организационными и инженерно-техническими мероприятиями, которые предусматривают экранирование магнитных устройств и рабочих мест, причем экраны изготавливаются из материалов с высокой абсолютной магнитной проницаемостью. В качестве индивидуальных средств защиты от ПМП используют шапочки и юбки из пермаллоя.

Электрические поля промышленной частоты. Коллективная защита работающих на рабочих местах и в местах возможного их пребывания осуществляется стационарными и переносными экранирующими устройствами, выполненными из материалов с высокой электропроводностью (металлов). Диаметры канатов и прутков, из которых экраны изготавливаются, должны обеспечивать отсутствие видимой короны и быть не менее 6 мм. Между собой элементы экранов размещают на расстоянии 350–500 мм. Ячейки сеточных экранов составляют не более 50×50 мм.

Экранирующие устройства заземляются через заземлители или заземленные объекты.

Индивидуальная защита обслуживающего персонала, открытых распределительных устройств и ЛЭП от воздействия ЭП промышленной частоты осуществляется двумя видами экранирующих комплектов, которые включают в себя спецодежду, спецобувь, средства защиты рук и лица. Комплекты обеспечивают безопасность работающих, уменьшая величины токов смещения через тело человека до допустимых значений.

Оба вида комплектов применяются с каской общего назначения и электропроводящим надкасником.

Магнитные поля промышленной частоты. Защита работающих от неблагоприятного влияния ПемП осуществляется организационными и инженерно-техническими мероприятиями.

Снижение уровней ПемП инженерно-технически обеспечивается за счет экранирования источников ПемП и рабочих мест. Материалы экранов должны иметь высокие магнитные проницаемости. Возможно применение активных экранов.

Электромагнитное поле радиочастот. Средства защиты работающих в каждом конкретном случае выбираются с учетом рабочего

диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой степени защиты [4.2-4.3].

Формы реализации защитных мероприятий определяются видами производств, назначениями источников ЭМП, частотами ЭМП.

В качестве экранов применяют сплошные или перфорированные листы и сетки. Экранирование источников излучения или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих и поглощающих экранов. Отражающие экраны выполняются из заземленных металлических листов или сеток. Экраны источников имеют форму замкнутых помещений (камер), шкафов или кожухов. Для исключения отражения от внутренних поверхностей экранов они покрываются материалами, поглощающими электромагнитную энергию (пенопласт, компаунды и др.).

Экранирование рабочих мест выполняют, если невозможно осуществить экранирование источников ЭМП. С этой целью сооружают небольшие кабины, ширмы, шторы, щиты, козырьки из металла с поглощающим покрытием со стороны источника ЭМП.

При настройке, ремонте и испытаниях СВЧ-аппаратуры, когда интенсивность ЭМП превышает 10 Вт/м^2 , необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Выбор средств защиты определяется условиями облучения.

В зависимости от характера и мощности источников ЭМП, диапазона волн, особенностей производственного процесса можно рекомендовать несколько видов типовых экранов: отражающие – сплошные металлические, сеточные металлические, мягкие (эластичные) с хлопчатобумажной или другой ниткой и поглощающие экраны.

4.3. ЭКРАНЫ В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Средства индивидуальной защиты (СИЗ). К ним принадлежат специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, защитные очки и др. [4.4].

К средствам индивидуальной защиты предъявляются следующие общие требования:

- Материалы, используемые для их изготовления, а также вещества и продукты, которые могут выделяться при их эксплуатации, не должны причинять вреда здоровью человека и окружающей среде, и должны удовлетворять установленным санитарно-гигиеническим требованиям: быть легкими, но не в ущерб прочности конструкции и эффективности их использования; иметь конструкцию, максимально соответствующую физиологии пользователя, его физическим особенно-

стям и тяжести предполагаемой работы, а также климатическим условиям окружающей среды, для которых они предназначены; быть спроектированы и изготовлены так, чтобы в предусмотренных условиях их применения по назначению пользователь мог нормально функционировать.

В последнее время проведен ряд исследований по применению СИЗ. Однако неотложной задачей является создание единых методов физиолого-гигиенической, защитной и эксплуатационной оценки средств индивидуальной защиты, совершенствование их систем использования, правильное применение в соответствии с условиями труда работающих. Требуют научного обоснования и нормирования физические и химические параметры газовой среды подкостюмного пространства.

Средства индивидуальной защиты могут конструироваться по принципу тотальной (комбинезоны в комплекте со шлемами, масками, бахилами, перчатками) либо локальной защиты (очки, фартуки, шлемы, капюшоны и др.). Сам принцип использования СИЗ предусматривает их непродолжительное ношение, как правило, при аварийных ситуациях, испытаниях радиоизлучающих средств, выполнении ремонтных работ в зоне облучения при невозможности остановки аппаратуры, генерирующей ЭМП.

Поступающие на снабжение СИЗ от ЭМП далеки от совершенства и сами по себе нуждаются в дальнейшей разработке, в том числе поиске новых видов материалов для изготовления. Существующие СИЗ неудобны в эксплуатации (например, радиозащитный комбинезон весьма тяжел и неудобен, требует специального заземления).

Защитные очки применяются как отдельно, так и в комплексе с другими СИЗ. Линзы очков изготавливают из специального стекла (например, покрытого двуокисью олова - ТУ 166-63), вырезанные в виде эллипсоидов с размером полукруга 25x17 мм и вставленные в оправу из пористой резины с вшитой в нее металлической сеткой.

Для изготовления защитного стекла можно использовать различные материалы. Это зависит от степени их оптической прозрачности и защитных свойств для определенных частот ЭМИ. Следует иметь в виду, что защиту очками до 10 дБ можно получить лишь на частоте излучения более 3 ГГц. При более низких частотах (менее 1-2 ГГц) они бесполезны. Поэтому в перспективе при разработке СИЗ от ЭМИ защита глаз, области лица должна быть тотальной по типу шлема со светопрозрачным участком на уровне глаз, но обладающим достаточным радиозащитным свойством в широком диапазоне частот, включая 1-2 ГГц.

Защитные маски изготавливаются из любого светопрозрачного материала с включением в него каких-либо радиоотражающих структур: напыление металлом, пленки из окислов металлов, покрытие из металлизированных сеток.

Форма и размер маски выбираются так, чтобы величина дифракционного затухания на уровне глаз была не менее затухания защитного материала. С целью обеспечения дыхания и теплообмена в защитной маске по ее периметру делают перфорационные отверстия. Для повышения затухания ЭМИ перфорационным материалом внутреннюю поверхность отверстий по всей толщине маски покрывают радиозащитным материалом.

Защитные шлемы, фартуки, куртки, бахилы и другие элементы локальной защиты изготавливают с учетом всех требований сквозного и дифракционного затухания.

В практической деятельности необходимо иметь в виду, что защитные свойства материалов от ЭМИ и изделий из них - не одно и то же. Это связано с различными радиочастотными свойствами защитных изделий в целом, наличием мест стыков отдельных частей конструкций. Неизбежным является появление резонансных эффектов, свойственных различным неровностям на изделиях, размеры которых кратны длине волны действующего ЭМИ. Надо отметить, что если пренебречь данными эффектами, то сквозное затухание какого-либо материала всегда больше его сквозного затухания в конструкции. Хотя большинство методов измерений рассчитано только на определение экранирующих свойств материалов, они пригодны и для изделий в целом.

4.4. ЭКРАНЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕР ЗАЩИТЫ

При организации инженерно-технических мер защиты от ЭМИ РЧ и СВЧ всегда надо учитывать принципы, на основе которых действуют те или иные защитные средства, устройства, конструкции. В этих случаях основными принципами являются сквозное и дифракционное затухание и радиопоглощение.

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

ражениями. Поэтому предпочтение отдается тонкой металлической фольге в несколько сотых миллиметра либо сеточным экранам. На величину сквозного затухания влияет ориентация ЭМВ по отношению к направленности проводов и плоскости сетки. Так, при параллельной поляризации с уменьшением угла падения электромагнитного луча от 90 до 30° происходит усиление сквозного затухания на 3-10 дБ, при перпендикулярной поляризации - ослабление на 3-10 дБ в зависимости от частоты излучения и характеристики сетки.

Чаще всего используются радиопоглощающие материалы. Защита, основанная на принципе радиопоглощения, применяется при создании аналогов свободного пространства при антенных нагрузках; при невозможности применения каких-либо других защитных материалов вследствие возможного нарушения технологического процесса; при обкладывании мест стыков внутренней поверхности шкафов с генераторной и усилительной аппаратурой, генерирующей ЭМИ; при закладывании щелей между теми деталями волноведущих структур, которые не могут быть соединены сваркой или пайкой. Используемые радиопоглощающие материалы должны отвечать следующим требованиям: максимальное поглощение электромагнитных волн в широком частотном диапазоне, минимальное отражение, отсутствие вредных испарений, пожаробезопасность, небольшие габариты и вес. По максимальному поглощению и минимальному отражению лучшими качествами обладают материалы с ячеистой структурой, пирамидальной или шиповидной поверхностью. Радиопоглощающие материалы разделяются на материалы интерференционного типа, где гашение ЭМВ происходит за счет интерференции, и материалы, в которых электромагнитная энергия превращается в тепловую за счет наведения рассеянных токов, магнитогистерезисных или высокочастотных диэлектрических потерь. По электрическим и магнитным свойствам различают диэлектрические и магнитодиэлектрические материалы, по рабочему диапазону частот поглощения – узко- и широкодиапазонные. Со стороны, не подлежащей облучению, радиопоглощающие материалы покрываются, как правило, радиоотражающими, в результате чего характеристики всей радио-экранирующей конструкции во многом улучшаются. Критерием, характеризующим защитные свойства радиопоглощающего материала, выступает коэффициент отражения по мощности. Принцип поглощения электромагнитной энергии лежит в основе применения поглотителей мощности, используемых в качестве нагрузок на генераторы вместо открытых излучателей. Таким образом, обеспечивается защита пространства от проникновения в нее ЭМИ. Поглотители мощности -

это отрезки коаксиальных или волноводных линий, частично заполненных поглощающими материалами. Энергия излучения поглощается в заполнителе, где преобразуется в тепловую энергию. Заполнителями могут быть: чистый графит (или в смеси с цементом, песком, резиной, керамикой, порошковым железом), дерево, вода. Для понижения уровня мощности излучения в тракте (или на открытое излучение) можно применять и аттенюаторы. По принципу действия их разделяют на поглощающие и предельные. Поглощающие являются отрезками коаксиальной или волноводной защиты, в которой помещены детали с радиоизлучающим покрытием. Предельные аттенюаторы представляют собой отрезки круглых волноводов, диаметр которых значительно меньше критической длины волны в рабочем диапазоне длин волн данного аттенюатора. В этом случае мощность излучения, проходящая по аттенюатору, затухает по экспоненциальному закону.

В ряде случаев для радиопоглощения используются лесонасаждения (см. гл. 6). Защитный эффект лесонасаждений наиболее выражен, когда они находятся в 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.

При нахождении источников СВЧ и РЧ внутри помещений защиту целесообразно проводить в местах проникновения электромагнитной энергии из экранизирующих кожухов, улучшать методы радиогерметизации стыков и сочленений, применять насадки с радиопоглощающей нагрузкой. При внешних источниках применяются различные защитные изделия из радиотражающих материалов: металлизированные обои, металлизированные шторы, сетки на окнах и другие. Наибольшей эффективностью эти защитные средства обладают в СВЧ диапазоне, на более низких частотах их применение ограничено дифракцией. В некоторых случаях для защиты от излучений внешних источников используют специальные коридоры со стенками из радиотражающих материалов (листовой алюминий, латунная сетка и т. п.).

Оценку эффективности перечисленных коллективных средств защиты производят по степени сквозного и дифракционного затуханий. – величина, характеризующая степень затухания ЭМИ, дБ/м; f – частота излучения ЭМИ, МГц.

4.5. ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Спектр излучения персонального компьютера (ПК) включает в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области спектра, а также широкий диапазон ЭМВ других частот. Опасность рентгеновских лучей считается сейчас специалистами пренебрежимо малой, поскольку этот вид лучей поглощается веществом экрана [4.5, 4.10].

В отличие от ионизирующего излучения низкочастотные излучения не могут расщеплять или ионизировать атомы, и раньше считалось, что неионизирующее излучение не может вредно влиять на организм, если оно недостаточно сильно, чтобы вызвать тепловые эффекты или электрический шок.

Однако результаты лабораторных экспериментов говорят о другом. В исследованиях было обнаружено, что ЭМИ частотой 50 Гц могут инициировать биологические сдвиги (вплоть до нарушения синтеза ДНК) в клетках животных. Эпидемиологические исследования и работы другого рода показали, что существует связь между нахождением в местах, где проходят ЛЭП, и возникновением опухоли у детей. Особенно поразил тот факт, что ЭМВ обладают необычным свойством: опасность их воздействия совсем не уменьшается при снижении интенсивности излучения, а некоторые ЭМИ действуют на клетки лишь при малых интенсивностях излучения или на конкретных частотах.

Чтобы сделать рациональный выбор защитного экрана, необходимо иметь полную информацию об излучениях ПК. Если ЭМИ от ПК удовлетворяет требованиям международных стандартов, то нет необходимости в приобретении фильтра, снижающего ЭМИ, а необходимы антибликовый фильтр и фильтр, снимающий электростатический потенциал. Если невозможно получить точную информацию о реальных излучениях ПК, то даже при наличии сертификата соответствия Госстандарта России необходимо использование защитного экрана для снижения ЭМИ ПК до безопасных значений. При этом визуальные характеристики экрана должны соответствовать условиям работы конкретного оператора. Желательно проведение добровольной сертификации экрана на соответствие техническим условиям. Следует, однако, проводить испытания экранов в комплексе с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), на котором будет установлен данный экран. Способы снижения уровней излучений, воздействующих на человека, разрабатываются в следующих направлениях: создание малоизлучающих ЭЛТ;

применение внешних экранов и других средств защиты; переход на технику отображения без использования ЭЛТ.

ЭМИ с поверхности и через поверхность экрана ЭЛТ трубки может быть частично экранировано с помощью проводящего покрытия, наносимого на внутреннюю или внешнюю поверхность предохранительного стекла; или же с помощью дополнительного защитного фильтра, который располагается перед экраном. Выбор материала экрана зависит от остаточного ЭМИ в требуемом диапазоне частот, уровня яркости экрана ЭЛТ и требований по психофизическим параметрам и восприятию изображения. При разработке защитных экранов-фильтров особое внимание уделяют следующим параметрам: прозрачности, эффективности электромагнитного экранирования и долговечности.

Конструктивно просветные электромагнитные экраны могут выполняться в виде: тонких пленок, одна из которых является токопроводящей, нанесенных на лицевую сторону поверхности электронно-лучевой трубки; тонкопленочного полимерного материала с токопроводящим покрытием; силикатного стекла с токопроводящим покрытием; комбинированного стеклополимерного материала с токопроводящим покрытием (например, изготавливаются из затемненного пластика). Частично улучшаются визуальные характеристики изображения на экране: снижается количество бликов, повышается контрастность, но непрочность материала приводит к быстрому накоплению повреждений и помутнению поверхности).

В зависимости от требуемой эффективности экранирования просветного электромагнитного экрана количество токопроводящих слоев в нем - из одного материала или нескольких - варьируется от одного до пяти, причем лицевая поверхность может иметь или не иметь антибликовое покрытие.

Основными проблемами при разработке сеточных металлических экранов являются: подбор оптимальных размеров «смотрового окна»; нанесение антибликовых покрытий на экран; расположение нитей сетки относительно раstra ЭЛТ; способы крепления сетки в оправе экрана.

Первая проблема связана с решением таких частных задач, как эффективность экранирования просветного электромагнитного экрана от ЭМИ ЭЛТ, способность электромагнитного экрана снимать ЭСП с экрана ЭЛТ, снижение деионизации воздуха в зоне дыхания оператора, влияние электромагнитного экрана на разрешающую способность изо-

бражения, изменение координат цветности и контраста изображения и т. д.

Вторая проблема связана с решением задач отработки способов нанесения покрытий на поверхности защитного экрана с целью уменьшения интегрального коэффициента отражения (для увеличения яркостного контраста изображения), а также нанесения антибликовых покрытий на стеклянную подложку защитного экрана.

Третья проблема возникает при наложении двух или нескольких дискретных структур на поверхность экрана ЭЛТ, что приводит к появлению муара на изображении. Глаз человека воспринимает муаровые волны при достаточно заметной их интенсивности и сравнительно большом периоде их повторения (от 2 до 20 строк растра ЭЛТ), что часто встречается на практике.

Таблица 4.1

**ПАРАМЕТРЫ
ИССЛЕДОВАННЫХ ПРОСВЕТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ**

Краткая ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКРАНА	КОЭФФ. пропускания, %	ШАГ СЕТКИ, МКМ	ТОЛЩИНА НИТИ, МКМ	МАТЕРИАЛ НИТИ
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА, натянута на рамку	30	96	40	БрОФ6S 0,4
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА, натянута на рамку	35	160	60	Л80
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА, натянута на рамку	63	155	30	БрОФ6S 0,4
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА, распол. между двумя стекл. пластинами; толщ. 7 мм	50	157	40	БрОФ6S-0,4
СЕТКА ИЗ ПОЛИЭФИРНОЙ НИТИ с токопров. и антиотр. покрытием SunFlex (анг.)	45	107	61	

В табл. 4.1 приведены параметры исследованных просветных электромагнитных экранов.

На рис. 4.1 показана зависимость затухания ЭМИ (SE) от частоты (f) при использовании различных типов электромагнитных экранов (типы и характеристики экранов см. в табл. 4.1).

У всех указанных сеточных металлических материалов эффективность экранирования не уменьшается с увеличением частоты, как

это происходит у сетки с полиэфирными нитями, а остается практически на высоком уровне. Лучшие экранирующие свойства демонстрирует сетка с меньшим коэффициентом пропускания (первая строка табл. 4.1). Однако недостатком, и довольно значительным, является ее низкое светопропускание, приводящее к сильному понижению яркости экрана ЭЛТ.

По сравнению с экранами из силикатного стекла с токопроводящим покрытием на основе SnO_2 , у которых эффективность по электрической составляющей резко падает из-за уменьшения толщины скин-слоя, сеточные металлические экраны имеют больше преимуществ.

Деионизирующий эффект работающего видеомонитора частично устраняется установкой перед экраном ЭЛТ защитного экрана с заземленным контуром. При этом экран создает как бы защитный заслон для воздушной среды в зоне дыхания оператора. Таким образом, установленный перед экраном видеомонитора защитный экран позволяет эффективно решать задачу защиты оператора ПК от ЭМИ экрана ЭЛТ.

Эффективным оказывается применение фильтров новых конструкций с дополнительным экранированием боковых сторон корпуса, а также использование разработанных в России поглощающих устройств.

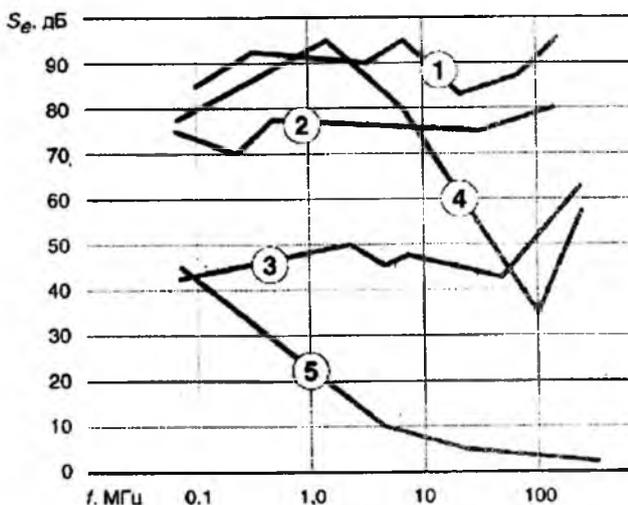


Рис. 4.1. Зависимость затухания ЭМИ от частоты

Экранирующий корпус. Электрические излучения цепей внутри устройства видео-дисплейного терминала могут быть экранированы с помощью металлического кожуха, но он обладает множеством недостатков, например высокой стоимостью и нетехнологичностью изготовления. Поэтому в последние годы ведутся исследования формовочных материалов, состоящих из полимерных смол, таких как полипропилен и др., с наполнителями из алюминиевых чешуек, латунных волокон и других металлических наполнителей для использования их в качестве материала для изготовления кожухов видеодисплеев. Этот метод экранирования признан наиболее перспективным. Далее указаны некоторые характерные особенности композитных материалов на основе полимерных смол, применяемых для экранирования электромагнитного излучения. Формовка металлизированных смол позволяет производить защитные кожухи с эффективностью экранирования от ЭМИ 30 - 60 дБ. В качестве наполнителей для полимерных смол применяются следующие проводящие материалы: металлические наполнители (алюминиевые и латунные волокна, алюминиевые чешуйки); неметаллические наполнители (сажа, углеродные волокна); металлизированные стекловолокна, металлизированные углеродные волокна и другие композитные материалы.

На качество экранирования оказывает влияние также и форма материалов. В последовательности увеличения электропроводности идут: длинные волокна, короткие, чешуйки круглой формы, порошок.

Способ экранирования с использованием в качестве наполнителя алюминиевых волокон и чешуек был разработан в США. Данный наполнитель характеризуется низкой стоимостью изготовления при повышенной эффективности экранирования, а особенность заключается в том, что по сравнению с другими металлическими частицами они имеют небольшую удельную массу и при высокой наполняемости удельная масса смолы не так уж и велика.

Исследовательским институтом по промышленной технике Токійского университета предложен способ экранирования с помощью латунных волокон с диаметром 40...60 мкм и длиной 3 мм [4.5]. Особенность этих волокон по сравнению с другими состоит в низкой стоимости их изготовления. Однако ввиду весьма большого их диаметра при низкой наполняемости не достигается требуемая эффективность экранирования. Для получения удовлетворительной степени экранирования следует доводить наполняемость смол такими волокнами до величины 15...25 % по объему. Вследствие этого смола имеет большую удельную массу, а внешний вид изделия ухудшается.

В последнее время в качестве наполнителя для материалов, из которых производят кожухи-корпуса для экранирования от ЭМИ, рассматриваются волокна из нержавеющей стали. Перспективность этого направления объясняется сравнительной дешевизной их изготовления, обусловленной малым диаметром волокон (менее 10 мкм), а прочность на растяжение достаточна для получения сравнительно длинных волокон. Следует отметить, что при наполняемости около 1 % по объему достигается достаточная эффективность экранирования. Материалы, изготовленные с применением таких волокон, также обладают и повышенной стойкостью к воспламенению.

Для приготовления полимерных смол с целью экранирования ЭМИ в качестве других наполнителей применяется сажа. Однако ее, как правило, требуется слишком много для достижения достаточного эффекта экранирования, поэтому для улучшения формовочных характеристик сажу применяют вместе с другими металлическими наполнителями.

Безопасность» ноутбуков. Несколько лет назад существовало мнение, что портативные компьютеры типа ноутбуков безопасны для пользователей и не нуждаются в таких дополнительных мерах защиты, как призрачные фильтры. В основе подобных представлений лежал тот факт, что в портативных компьютерах используются экраны на основе жидких кристаллов, которые не генерируют вредных излучений, присущих обычным мониторам с ЭЛТ. ЭСП и рентгеновское излучение у жидкокристаллических (далее - ЖК) экранов действительно отсутствуют, но что касается ЭМИ, то исследования показали: во многих портативных компьютерах оно значительно превышает экологические нормативы.

Нормативы шведского стандарта MPR II, рекомендованные Советом Европейского экономического сообщества для стран ЕЭС, распространяются на дисплеи, содержащие ЭЛТ. Однако если уровни излучения от дисплеев с ЭЛТ нормируются исходя из требований безопасности, то логично оценить соответствие этим нормам и аппаратуры с ЖК-экранами. Ведь эти ПК обычно располагаются ближе к пользователю и, следовательно, источники излучения будут с большей вероятностью воздействовать на области жизненно важных органов человека, тем более что зачастую пользователи ноутбуков имеют привычку располагать свой компьютер на коленях. ЭЛТ является не единственным источником излучения. Поля могут генерироваться преобразователем напряжения питания (при работе от электросети), схемами управления

и формирования информации на дискретных ЖК-экранах и другими элементы аппаратуры.

Для ПК с ЖК-экранами свойственны два режима электропитания - от встроенного аккумулятора или от сети. В первом случае, как показали измерения, излучения, естественно, меньше, но они существуют, причем в диапазонах частот, упомянутых в MPR II. В режиме электропитания от сети ПК излучает электрическую составляющую переменного ЭМП, мало отличающуюся по интенсивности от ПК с дисплеями на ЭЛТ.

Уровни ЭМИ портативных компьютеров превышают нормативные параметры для многих компьютеров с мониторами на ЭЛТ. Для повышения ЭМБ мониторов с ЭЛТ фирмами были предприняты специальные меры, ведь продать такой компьютер без сертификата безопасности по визуальным и эмиссионным параметрам трудно.

Антибликовые, контрастирующие фильтры на экранах дисплеев могут одновременно защищать от электростатического потенциала и в определенной степени - от электрической составляющей переменного ЭМИ.

У современных дисплеев экран покрывается почти прозрачным слоем металла, который заземляется. Это делается для того, чтобы уменьшить излучения от монитора. Но экран все же излучает, и излучение можно ослабить с помощью внешнего защитного фильтра, обязательно с заземляемым проводящим покрытием.

К настоящему времени испытано очень много образцов различных типов защитных фильтров. К сожалению, многие из проверенных защитных фильтров либо неэффективны, либо вовсе ни от чего не защищают. Без сомнения, установка даже самого хорошего защитного фильтра на ЭЛТ лишь в 2-4 раза может снизить уровень облучения сидящего перед экраном ПК человека, уменьшая электрическую составляющую ЭМИ в непосредственной близости от экрана, и вовсе не снижая, а может даже увеличивая интенсивность поля в стороны от экрана по оси ЭЛТ на расстояниях более 1 - 1,5 м.

Указываемые в рекламных материалах и в документации на защитные фильтры значения по ослаблению переменного ЭМИ в 95...99% относятся к стендовым испытаниям этих фильтров и никогда не достигаются в реальных условиях на рабочих местах. С результатами стендовых испытаний совпадает на рабочих местах только величина ослабления фильтром электростатического потенциала экрана дисплея. Это означает необходимость комплексной оценки ЭМО в рабочих помещениях с компьютерами (в дисплейных классах, в операторских за-

лах вычислительных центров и т. п.) с учетом взаимного расположения рабочих мест.

Для снижения потенциально опасного излучения видеотерминалов целесообразно предпринимать специальные меры защиты от низкочастотных ЭМП. Поскольку источник высокого напряжения дисплея - строчный трансформатор - помещается в задней или боковой части терминала, уровень излучения со стороны задней панели дисплея выше, причем стенки корпуса не экранируют излучение. Поэтому пользователям следует находиться не ближе чем на 1,2 метра от задних или боковых поверхностей соседних терминалов.

К сожалению, на защитные фильтры не существует никаких общегосударственных нормативных документов.

Для приготовления полимерных смол с целью экранирования ЭМИ в качестве других наполнителей применяется сажа. Для улучшения формовочных характеристик сажу применяют вместе с другими металлическими наполнителями. С краткой сводкой характеристик наполнительных субстанций можно ознакомиться в табл. 4.2.

Следует отдавать предпочтение мониторам, корпус которых изготовлен из композитных материалов с применением металлических включений (волокна, чешуйки). При этом наполнители из алюминия и нержавеющей стали представляются наиболее предпочтительными с точки зрения эффективности экранирования ЭМИ.

Чтобы сделать рациональный выбор защитного экрана, необходимо иметь полную информацию об излучениях ПК. Если ЭМИ от ПК удовлетворяет требованиям международных стандартов, то нет необходимости в приобретении фильтра, снижающего ЭМИ, а необходимы антибликовый фильтр и фильтр, снимающий электростатический потенциал.

Если невозможно получить точную информацию о реальных излучениях характеристиках компьютера, то даже при наличии сертификата соответствия Госстандарта России необходимо использование защитного экрана для снижения ЭМИ компьютера до безопасных значений. При этом визуальные характеристики экрана должны соответствовать условиям работы конкретного оператора. Желательно проведение добровольной сертификации экрана на соответствие техническим условиям в комплекте с монитором, на котором будет установлен данный экран.

ЭСП и рентгеновское излучение у ЖК-экранов действительно отсутствуют, по что касается ЭМИ, то исследования показали: во мно-

гих портативных компьютерах оно значительно превышает экологические нормативы.

Таблица 4.2

**ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПОЛНИТЕЛЬНЫХ СУБСТАНЦИЙ,
применяемых при изготовлении материалов для защитных кожухов**

ПАРАМЕТРЫ	МАТЕРИАЛ				
	волокна из нерж. стали	латунные волокна	алюмин. чешуйки	сажа	металлизир. волокна
	РАЗМЕР				
	D8...10 мкм, длина 3...10 мм	D40...60 мкм. длина 2...5 мм	1*1—5*5, толщина 30...60 мкм	—	D10...30 мкм, длина 3...6 мм
НАПОЛНЯЕМОСТЬ ПО ВЕСУ, (%)	5...15	40...60	20...40	20...50	20...40
УДЕЛЬНАЯ МАССА, кг/м³	7,8	8,4	2,7	1,9	3,2...4,1
СТОЙКОСТЬ К ВОСПЛАМЕНЕНИЮ	Хорошо	Удовл.	Удовл.	Плохо	Удовл.
ВНЕШНИЙ ВИД	Хорошо	Плохо	Удовл.	Удовл.	Удовл.

4.6. ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Поле мобильного телефона накладывается на низкочастотное ЭМП, создаваемое объектами электроэнергетики: электростанциями, ЛЭП, электрифицированным транспортом (метро, трамваи, троллейбусы, железная дорога и др.), трансформаторными подстанциями, а в помещениях разнообразными бытовыми приборами. Дополнительно на человека воздействует и акустическое поле, создаваемое окружающей средой и микрофоном самого мобильного телефона [4.6-4.7].

При рассмотрении путей воздействия на мозг человека эти группы и необходимо учитывать, имея в виду и то, что отдельные из полей могут находиться на предельно допустимых уровнях (ПДУ) или превышать их.

В России созданы специальные документы, регламентирующие характеристики основных источников ЭМП: СанПиН 2.2.2 542-96 (Санитарные нормы и правила), в этом документе также оговаривается и допускается применение «сертифицированных Минздравом защитных устройств». Пользователю мобильного телефона необходимо иметь в

виду, что сертификаты и эргономические показатели никакого прямого отношения к гарантии безопасности здоровья не имеют. Медики доказали, что безопасных мобильных телефонов не бывает. Пользователям мобильных телефонов следует знать и помнить, что сертификация и гигиеническая оценка продукции производится метрологическими приборами согласно нормативным документам, которые на сегодняшний день не учитывают целый ряд опасных для человека факторов и, соответственно, никакого прямого отношения к здоровью человека не имеют. Такое же небрежное отношение пользователей часто бывает связано с отсутствием каких-либо знаний или информации об опасности для здоровья человека излучений от электронных средств.

Российские нормы основаны на таком уровне чувствительности, при котором появляются какие-либо физиологические изменения (нарушения работы органов и систем), которые исчезают с прекращением воздействия электромагнитной волны. В США подход к гигиеническим нормам можно назвать «тепловым» (в качестве порога выбирается такой порог излучения, которому соответствует 1 стадия какого-либо патологического (нарушения) или необратимого процесса в органе или системе). Таким образом, российский подход к предельно допустимым уровням ЭМИ более жесткий. Для устройств, работающих в области частот 30–300 МГц, предельная напряженность ЭП волны составляет 80 В/м. Для частот свыше 300 МГц – предельно допустимая мощность излучения 10 мкВт/м². Для населения напряженность ЭП меньше в 5–10 раз без ограничения длительности облучения. При применении всевозможной бытовой и промышленной техники в России эти нормы должны соблюдаться. Согласно действующим нормативам («Временные допустимые уровни воздействия ЭМИ, создаваемых системами сотовой радиосвязи») допустимый порог облучения пользователя сотового телефона не должен быть выше 100 мкВт/см². Качество ЭМБ источников ЭМП определяется соответствием стандартам Российской Федерации и международным стандартам MPR и TCO. Предельно допустимая величина ЭП MPR II – 2,5 В/м, по стандарту TCO – 1 В/м. Стандарты нормируют излучение в двух диапазонах: 20 Гц – 2 кГц – 400 кГц.

Стандарты сотовой связи и собственно аппараты разрабатываются зарубежными производителями, которые придерживаются жестких норм. Отметим, что старые советские нормы считали неблагоприятным облучение, минимальная плотность потока мощности которого была 10 мкВт/см². Если на человека происходило воздействие подобного уровня облучения, то для него сокращалась продолжительность

рабочего дня, прописывалось молоко, производилась доплата за вредность и т. д. В РФ нормы пересмотрены. Сейчас минимальная вредная плотность потока мощности составляет уже 100 мкВт/см^2 .

Пиковая мощность телефона колеблется для разных моделей от 1 до 2 Вт. Но GSM телефоны не постоянно излучают данную мощность. Примерно каждые 4–6 с (это зависит от установок сети) телефон изменяет выходную мощность и старается держать ее минимально необходимой для связи. Данная функция не только экономит батарею, улучшает качество сети в целом, но и предохраняет от вредного воздействия ЭМП. В головной мозг пользователя мобильного телефона поступает примерно 20 % излучаемой энергии. При пиковой мощности 2 млн мкВт это составляет около 400 тыс. мкВт. Для соответствия старым нормам (вся эта мощность распределяется по освещенной стороне головы равномерно) поверхность освещенной стороны головы должна быть не менее 40 тыс. см (квадрат 2×2 метра). По новым нормам поверхность освещенной стороны головы должна быть не менее 4 тыс. см (квадрат примерно 63×63 см). Но реальное облучение неравномерное, поэтому и плотность потока мощности на отдельных участках головы будет значительно выше. Эти параметры характерны для классической штыревой антенны длиной примерно в четверть длины волны (с учетом покрытия это примерно 70 мм). В современных аппаратах производители стараются делать антенны значительно короче. Учитывается так называемая добротность.

Добротность тем выше, чем короче антенна. Добротность также определяется величиной запасенной энергии, и эта энергия концентрируется в ближнем поле, например в районе антенны, и не излучается. Поэтому голове пользователя мобильного телефона приходится подвергаться воздействию излученной мощности и запасенной энергии. За счет поглощения части запасенной энергии головой (при расположении головы около короткой антенны) близкое расположение несколько снижает ее (антенны) добротность. Из средств защиты предлагается пользоваться либо отражающим экраном (проволочной сеткой), либо поглощающим экраном (сеткой из резистивных проводников, например из ниток, пропитанных углеродом), либо их комбинацией. В паспорте мобильного телефона должны быть указаны все его параметры и характеристики. Особенно такая величина, как норма допустимого облучения человека, выраженная в мощности электромагнитной волны (Вт), приходящейся на 1 кг живого веса – *Specific Absorption Rate* (SAR). Чем меньше SAR, тем безопаснее телефон для человека. В Европе общепринятая норма SAR не должна превышать $1,6 \text{ Вт/кг}$ в про-

должение 6 мин в любом объеме этой части тела массой 10 кг. Поэтому покупателям мобильных телефонов рекомендуется придерживаться принципа «Чем меньше – тем лучше» («Лучше меньше, да лучше»). Также пользователям мобильных телефонов предлагается обратить внимание на то, что в момент вызова мобильный телефон «ищет» базовую станцию, после чего устанавливается выходная мощность (в зависимости от удаленности, месторасположения и чувствительности базовой станции). Чем точнее мобильный телефон способен измерить уровень сигнала от базовой станции, тем лучше качество связи и расход энергии телефоном. Максимально допустимая мощность излучения будет при максимальной удаленности от базовой станции, например при разговоре в салоне автотранспорта, находящегося в движении. В данном случае тарифы (стоимость звонка) определяются только возможностями и особенностями сервиса. В настоящее время с целью уменьшения вредного воздействия ЭМП на организм пользователя мобильной связью к производителю трубок предъявляются определенные требования. На сегодня существуют международные стандарты, целью которых служит минимизация вероятности облучения при пользовании мобильными телефонами. Так, сами трубки должны отвечать определенным техническим критериям: допустимый уровень излучения не должен быть выше 2 Вт на килограмм веса пользователя. Производители сотовых телефонов обязаны указывать показатели ЭМИ в инструкциях по эксплуатации или на упаковке, и ни один магазин в США и Европе не имеет права продавать трубки, если эти данные в инструкции не стоят. При использовании устройства громкой связи или наушников доза облучения снижается. Правда, в последнем случае концентрироваться излучение будет в том месте, где в данный момент находится мобильник. Причем независимо от того, пользуется ли человек телефоном или нет, когда телефон устанавливает контакт с базовой станцией (а происходит это несколько раз за день), излучение все равно присутствует, пусть и небольшое.

Что предлагает современная промышленность для защиты от вредных воздействий мобильного телефона? Защита организма человека от вредного воздействия ЭМП основывается на создании устройств, которые изменяют слабый внешний электромагнитный сигнал в виде вектора, направленного навстречу повреждающему сигналу, поэтому этот сигнал резко затухает. С внесением вблизи живого организма мощного затухания в виде защитного устройства, откликающегося на определенные частоты внешнего сигнала (для этого используются электропроводящие аппликаторы строго определенных размеров), зна-

чительно снижается электромагнитная составляющая сигнала, и, следовательно, перераспределяются эквипотенциальные поля и уровень их влияния на организм. На этом и основано создание аппликационных защитных устройств. В настоящее время производители предлагают различные типы защитных устройств [4.5].

Фактически можно выделить несколько реально работающих методов защиты естественного ЭМП человека от патогенного воздействия ЭМИ искусственного и геопатогенного происхождения [4.6]:

- 1) устранить любые ЭМП техногенного происхождения по принципу оптико-волоконной связи;
- 2) снизить интенсивность ЭМИ до величин, меньше пороговых;
- 3) экранировать человеческий организм, т. е. вывести его из полосы техногенного излучения;
- 4) снизить естественный уровень чувствительности человека к ЭМИ техногенного происхождения;
- 5) провести процесс адаптации человеческого организма к существующему уровню ЭМИ путем повышения естественных защитных систем организма, которые нейтрализуют излучение модификацией собственного биополевого статуса организма.

В основной своей массе эти устройства представляют собой пассивные переизлучатели, или модуляторы существующего воздействия. Необходимо также сказать, что любые меры, направленные на усиление собственного биополя и укрепление иммунной системы, в меньшей степени способствуют повышению резистентности организма к негативному излучению электромагнитных устройств.

4.7. ЗАЩИТА В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

ОАО «ЦКБ РМ» является разработчиком уникальной номенклатуры радиопоглощающих материалов (РПМ) и поглотителей электромагнитных волн (ПЭВ), нашедших широкое применение при оснащении безэховых камер и экранированных испытательных помещений, в том числе для испытаний на соответствие требованиям электромагнитной совместимости.

Широко известные в нашей стране РПМ «Бамбук», «Ясень», «Кварц», «Универсал» продолжают работать в безэховых камерах, а новые разработки ЦКБ РМ – материалы «Крона», «Тандем» – постоянно закупаются различными организациями [4.8-4.9].

За последние 4 года получено больше 20 патентов РФ на изобретения и полезные модели: поглотители электромагнитных волн, много-

слойные радиопоглощающие покрытия, средства защиты от ЭМИ излучения, защитно-маскировочные устройства, имитатор радиолокационных целей.

Разработанные предприятием индивидуальные многофункциональные маскировочные покрытия для различных видов ВВТ приняты на снабжение МО РФ и в настоящее время осуществляются их серийные поставки с нарастающим объёмом.

Предприятие имеет лицензию МО РФ на деятельность в области создания средств защиты информации и является аккредитованной испытательной лабораторией восьмого управления Генерального штаба вооруженных сил РФ в области средств защиты информации.

В 2007 г. была проведена в интересах ГРАУ ОКР по созданию радиорассеивающего материала для маскировочного костюма, который успешно прошел государственные испытания.

В 2009 г. была успешно проведена ОКР по созданию костюма оператора блокиратора радиоуправляемых взрывных устройств. Наличие нано-структурного ферромагнитного микропровода в составе ткани костюма обеспечивает снижение уровня падающего электромагнитного излучения до 1000 раз.

В настоящее время ведётся разработка экранирующих материалов и устройств, в том числе для защиты от несанкционированного доступа к информации по электромагнитному каналу, применяемых для защиты оконных проёмов выделенных помещений.

Одна из последних разработок ОАО «ЦКБ РМ» – защитно-маскировочный экран (ЗМЭ). Он предназначен для скрытия от средств разведки противника и защиты бронированной техники (ВВТ) от современных средств поражения, действующих из верхней полусферы, в том числе от ВТО. ЗМЭ обеспечивает защиту укрываемой бронетехники комбинированным гибким покрытием на поверхности земли и в окопах от боеприпасов кумулятивного действия с головками самонаведения, управляемых и неуправляемых. ЗМЭ вызывает срабатывание взрывателей мгновенного действия на безопасных для защищаемой техники удалениях. Защитный маскировочный экран соответствует требованиям, предъявляемым к технике при ведении боевых действий в различных климатических условиях.

Конструкция ЗМЭ позволяет снизить вероятность поражения ВВТ, а также важных стратегических объектов военного и гражданского назначения (пункты управления, базы ВМФ, ВВС, склады вооружений, АЭС и др.). Уникальность технического решения ЗМЭ обеспечивает возможность создания укрытий различной формы и размера. В

настоящее время решается вопрос о принятии ЗМЭ на снабжении ВС МО РФ

В ОАО «ЦКБ РМ» активно ведутся работы по исследованию возможности применения нано-структурного ферромагнитного микропровода (НФМП) в различных областях техники. Этот материал обладает сочетанием уникальных свойств, в том числе магнитных. Каждый отрезок длиной от 2 мм и диаметром 0,01 мм (тоньше человеческого волоса) является своеобразным магнитным маркером. При воздействии на такой маркер магнитным полем будут происходить скачкообразные изменения его намагниченности, что фиксируется несложным приёмным устройством. Форма импульса характерна для каждого типа НФМП.

Всё это даёт возможность создавать недорогие и в высшей степени надёжные системы защиты подлинности объектов. Такими объектами могут стать различные пропуска, запрещённые к выносу документы и литература, личное оружие, предметы антиквариата и т. д. Магнитные маркеры могут быть скрытно размещены на защищаемых объектах. Способы размещения магнитных маркеров могут быть самыми разнообразными. НФМП устойчив к механическим нагрузкам и к воздействию химических веществ. Малые размеры маркера позволяют замешать его в термоклей, который в дальнейшем можно наносить пистолетом-аппликатором, или замешать маркеры вместе с гранулами полимера перед его экструзией. В дальнейшем полученный пластик можно использовать для изготовления карт доступа или других изделий, нуждающихся в маркировке. Магнитные маркеры устойчиво обнаруживаются как на металлических поверхностях, так и за металлическими экранами. Это значительно расширяет спектр применения таких маркеров. Например, маркер можно разместить внутри гильзы патрона стрелкового оружия или внутри пули. Или внутри обычного дверного ключа, а замок снабдить устройством распознавания. Такую дверь невозможно будет открыть «дубликатом» ключа, подойдёт только оригинал. Использование маркеров, скомпонованных из различных видов НФМП, позволяет создавать метки с более обширной, чем просто «данет», «многобитовой» информацией – аналог оптического штрих-кода. (Патент РФ на полезную модель №№ 83854, 84588 и др.). На предприятии имеется опытно-промышленная установка, позволяющая за одну смену изготавливать 200 км НФМП т. е. около 20 млн маркеров.

В ЦКБ РМ разработана и запатентована технология изготовления экологически чистых экранирующих тканей для обеспечения медико-биологической защиты персонала и населения, работающего и

проживающего в условиях вредного воздействия электромагнитных полей различной частоты и интенсивности. Предприятие получает заказы на пошив спецодежды, защитных штор, жалюзи и других швейных изделий, предназначенных для локализации повышенного уровня излучений в помещениях, перенасыщенных электронными приборами (лаборатории СВЧ-техники, диагностические и физиотерапевтические центры, компьютерные клубы, редакции СМИ, окна зданий вблизи базовых станций сотовой связи и т. д.).

Все разработанные ЦКБ РМ материалы защищены патентами РФ и нашли применение, как в оборонно-промышленном комплексе, так и в мирной жизни нашей страны.

ГЛАВА 5. СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИРОДНЫХ ЭКРАНОВ

5.1. ВИДЫ ПРИРОДНЫХ ЭКРАНОВ

Из природных экранов следует выделить зелёные насаждения; водную и воздушную среды; грунты.

Использование в качестве защиты лесонасаждений также основано на радиопоглощении. Защитный эффект лесонасаждений наиболее выражен, когда они находятся в 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.

Когда мы рассматривали влияние загрязнения окружающей среды ЭМП на технические устройства, то предпочтительное внимание уделяли разным способам экранирования. При снижении воздействия загрязнения окружающей среды ЭМП на человека подход должен быть несколько иным.

Напомним, что экранирование зданий, помещений и применение индивидуальных средств защиты приводят к созданию для человека гипогеоэлектромагнитных условий со всеми вытекающими последствиями. Проблематичны для населения и методы защиты, связанные с ограничением времени пребывания человека в ЭМП. Существующие в настоящее время Государственные нормативные документы не содержат для населения подобные регламентации, и предполагается, что население подвергается воздействию ЭМП круглосуточно. Таким образом, основными видами пассивной защиты для населения могут быть защита расстоянием и градостроительные мероприятия (озеленение, специальная планировка прилегающих к излучающим объектам районов, использование естественного и создание затеняющего искусственного рельефа местности) и т. д.

За счет планировочных и градостроительных мероприятий можно снизить уровень ЭМП как на территории жилой зоны, так и внутри зданий. Определенная ориентация зданий - глухим торцом к излучению, уменьшение этажности, увеличение разрывов между зданиями могут снизить уровень ЭМП на 3...10 дБ. К сожалению, планировка и застройка селитебных территорий, прилегающих к излучающим объектам, как правило, осуществляется без учета мероприятий по защите населения от ЭМП. Это приводит в дальнейшем к осложнениям в отношениях между населением и владельцами излучающих объектов, что обычно кончается не в пользу последних.

Неприменимы для населения средства индивидуальной защиты (СИЗ), как не только создающие гипогеоэлектромагнитные условия, но и просто не эстетичные и не естественные атрибуты для человека.

СИЗ применяются обычно для производственного персонала, когда другие защитные меры невозможны или недостаточно эффективны: при проходе через зоны повышенной интенсивности ЭМП, при ремонтных и наладочных работах в аварийных ситуациях, во время кратковременного контроля и измерения ЭМП.

Индивидуальная защита необходима для людей с имплантированными (вживленными) кардиостимуляторами - устройствами для регулирования частоты сердечных сокращений. Работоспособность кардиостимуляторов может быть нарушена внешними ЭМП. Чтобы обезопасить людей, в некоторых странах выпускают экранирующие рубашки из радиозащитной ткани.

Улучшению электромагнитной среды селитебных территорий может способствовать использование элементов окружающей среды: воды, воздуха, земного грунта и зелёных насаждений.

5.2. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Важную роль в снижении электромагнитной нагрузки на окружающую среду могут играть зеленые насаждения и, в первую очередь, лесопарковые зоны, создание и поддержание которых крайне необходимо. На рис. 5.1 приведены зависимости от частоты сквозного (погонного) затухания леса для зимы и лета.

Таблица 5.1

Ослабление ЭМИ с помощью местных предметов

Вид предмета	Ослабление ЭМИ в диапазоне волн, дБ		
	сантиметровые	дециметровые	метровые
Сосновый кустарник рядовой посадки высотой 2,5 м и глубиной:			
10 м	1,0	0,5	0,1
20 м	10,0	5,0	4,0
Лесопосадка (спелая), дБ/м			
летом	0,65	0,15	-
зимой	0,25	0,05	-
Щиты деревянные, сосновые, размером 2х2 м, толщиной			
20 мм	1,2	1,0	0,7
30 мм	2,3	1,5	1,0
За одноэтажным домом на расстоянии:			
3 м	-	-	9,0
10 м	-	-	2,7

В качестве биологических экранов можно использовать естественные, проводящие электрический ток, среды разного вида: растущие деревья, водные растворы, проводящие воздушные среды и др. В ряде случаев такие биологические слои являются естественной принадлежностью окружающей среды. Важной задачей является уметь не только учесть их влияние на распределение ЭМП, но и, воздействуя на параметры соответствующего биоэкрана, добиться необходимого снижения ЭМП до достижения биологически безопасных уровней полей [5.1].

В качестве дополнительных организационно-технических мероприятий по защите человека от ЭМИ при планировании строительства необходимо использовать свойство «радиотени», возникающего из-за рельефа местности и огибания радиоволнами местных предметов (табл. 5.1).

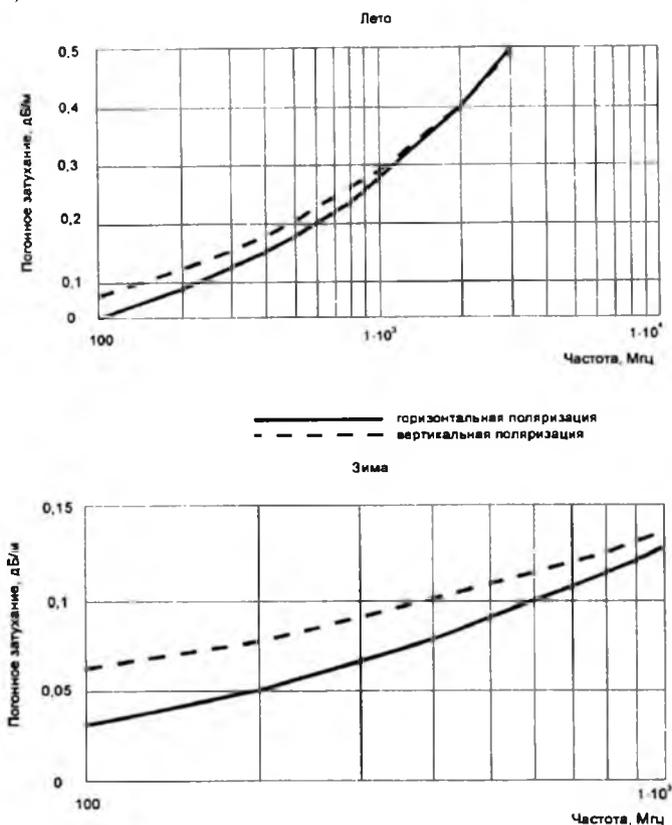


Рис. 5.1. Сквозное затухание, вносимое лесом летом и зимой

5.2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

В качестве экранирующих структур можно использовать зелёные насаждения: деревья, кусты и другие растительные покровы. Их электрические свойства (ϵ, γ) зависят от влажности и температуры древесины, от параметров окружающей воздушной среды. Характеристики растительных покровов изменяются из-за естественных сезонных изменений (например, опадание листвы). Они характеризуются значительной анизотропией в вертикальной плоскости и поляризационными свойствами.

Разные литературные источники дают разные значения $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м) и γ для различных пород деревьев ($\mu_r = \mu / \mu_0 \approx 1$ для всех растительных покровов, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м). Некоторые из них приведены в табл. 5.2 [5.2].

Таблица 5.2

№№ п/п	Материал (вдоль волокон)	Параметры материала		
		ϵ_r	$\gamma, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	μ_r
1.	Сосна	3-4	$0,33 \cdot 10^{-6}$	≈ 1
2.	Ель	2-3	$0,33 \cdot 10^{-6}$	≈ 1
3.	Береза	$\approx 2,5$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	≈ 1
4.	Ольха	-	$0,16 \cdot 10^{-6}$	≈ 1
5.	Липа	-	-	≈ 1
6.	Осина	-	-	≈ 1
7.	Бук	2,2-3,2	$0,6 \cdot 10^{-8}$	≈ 1
8.	Дуб	3,5	$0,14 \cdot 10^{-6}$	≈ 1

5.2.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Можно привести несколько примеров использования биоэкранов для снижения напряженностей электромагнитной среды.

Многослойный экран из зелёных насаждений. Электромагнитная среда в окружающем воздушном пространстве формируется под воздействием ЭМП мощных силовых источников, среди которых можно выделить: стационарные и передвижные электростанции; линии электроснабжения (ЛЭП, кабельные трассы и т. д.); тяговые сети электротранспорта; трансформаторные подстанции и др. Возникает потребность в снижении электромагнитной нагрузки до нормативных показателей. Одним из средств снижения – использование растительных покровов (зелёных насаждений), которые наряду с очисткой воздушной среды от вредных примесей, могут использоваться для снижения напряженностей ЭМП. В качестве таких зелёных насаждений могут быть использованы многорядные посадки деревьев. Последние будут играть роль экранов в связи с тем, что древесина обладает вполне приемлемыми электрическими свойствами: электрической проводимостью γ , магнитной μ и диэлектрической ϵ проницаемостями.

Дальнейшее рассмотрение проведено для тяговых сетей электрифицированного железнодорожного транспорта, как на постоянном токе, так и на переменном. А в качестве экранирующих структур предполагаются к использованию многорядные лесопосадки, размещённые вдоль направления движения транспорта. Такие посадки ранее использовались для защиты железной дороги от снежных заносов, для снижения акустической нагрузки на среду вокруг технических объектов и т. д.

Источники ЭМП в тяговых сетях. Тяговая сеть создаёт ЭМП, напряженности \dot{E} и \dot{H} которых описываются в воздушном пространстве зависимостями:

$$\left| \dot{E}_r \right| = \left| \dot{E}_{r_0} \right| \cdot (r_0/r)^{(p+2)}, \quad \left| \dot{H}_\Phi \right| = \left| \dot{H}_\Phi \right|_{r=r_0} \cdot (r_0/r)^{(p+1)}, \quad (5.1)$$

где $\left| \dot{E}_{r_0} \right| = \frac{C\dot{U}}{2\pi\epsilon_0}$, $\left| \dot{H}_\Phi \right|_{r=r_0} = \frac{I_z}{2\pi r_0}$ – модули комплексов электрической и магнитной напряженностей на поверхности источника внешнего поля, P – порядок пространственной гармоники ($P = 1$ – дипольная,

$p = 2$ – квадрупольная и т. д.); r_0 – максимальный радиус сечения выпуклого тела, описанного около источника поля.

В выражениях (5.1) использована круговая цилиндрическая система координат r, Φ, z . Здесь \dot{U} – комплексное напряжение в тяговой сети, B, C – емкость цепи, Φ ; I_z – ток тяговой подстанции; p – порядок пространственной гармоники ($p = 1$ – дипольная, $p = 2$ – квадрупольная и т. д.); r_0 – максимальный радиус сечения выпуклого тела, описанного около источника поля.

Комплексные напряжение и ток в тяговой сети могут быть описаны в виде:

$$\dot{U}_k = U_k \exp(j\phi_{uk}), \quad \dot{I}_{zk} = I_{zk} \exp(j\phi_{ik}), \quad (5.2)$$

где ϕ_{uk}, ϕ_{ik} – начальные фазы k -х гармоник напряжения и тока соответственно.

Тяговая сеть представляет собой устройство, при помощи которого электрическая энергия от подстанции передается к электровозам. Она является источником ЭМП частот, представленных в табл. 5.3 [5.3].

Таблица 5.3

№№ п/п	Источники ЭМП в тяговой сети	Гармоники ЭМП, Гц	Примечание
1.	Собственные колебания съемного полоза	1-2	Частотный диапазон в значительной мере зависит от типа электровозов, размещения и видов тяговых подстанций
2.	Основное питание от тяговых подстанций	50	
3.	Спектр гармоник, производимых выпрямительной схемой электровоза	1000-2000	
4.	Экспериментально определенные резонансные частоты	≈ 2000	
5.	Электрическая дуга под полозом	$> 2\ 000\ 000$	

При наличии зелёных насаждений, выполняющих роль экранирующих структур, выражения (5.1) должны быть скорректированы:

$$\left| \dot{\vec{E}}_r \right| = K_E \cdot \left| \dot{\vec{E}}_{r_0} \right| \cdot (r_0/r)^{(p+2)}, \quad \left| \dot{\vec{H}}_\phi \right| = K_H \cdot \left| \dot{\vec{H}}_\phi \right|_{r=r_0} \cdot (r_0/r)^{(p+1)}, \quad (5.3)$$

где K_E, K_H - коэффициенты экранирования электрической и магнитной напряженностей соответственно.

Как следует из (5.3), электрические напряженности ЭМП затухают быстрее, чем магнитные, поэтому в дальнейшем остановимся на исследовании распределения лишь магнитных напряженностей ЭМП.

Пример 1. Экранирующие структуры. Пусть вдоль железной дороги имеются многорядные посадки деревьев: всего рядов n , в каждом ряду m деревьев и находятся они на расстоянии a м друг от друга, между рядами расстояния одинаковые и равны b м. Размеры деревьев (для упрощения, одного вида) усредним: высота каждого h м (считаем, что $h > h_0$, где h_0 - вертикальный размер источника излучения – поезда), радиус r_0 м.

Используется следующий подход к расчёту эффективностей экранирования многорядными посадками деревьев.

Каждый i -ряд деревьев можно рассматривать в качестве сплошного слоя с толщиной

$$\delta_i = \frac{2mr_0}{(m-1)b + 2mr_0}, \quad \text{м} \quad (5.4)$$

и электрическими параметрами $\gamma_i, \mu_i, \epsilon_i$.

Таким образом, получаем i - слойный экран ($i \in [1 \div \mathbf{v}]$), находящийся на пути распространения ЭМП, коэффициент экранирования магнитных напряженностей ЭМП которым рассчитывается в виде:

$$K_H = \prod_{i=1}^{i=\mathbf{v}} K_H^{(i)} \left[1 + \left(\frac{\xi_i}{\xi_{i+1}} \right)^3 \right], \quad (5.5)$$

$$K_H^{(i)} = \left[\frac{1}{N} \sum_{n,m} |K_{nm}^{(i)}|^2 \right]^{1/2}, \quad (5.6)$$

$$K_{nm}^{(i)} = \frac{(q_i - p_i)(a_{1i}b_{3i} - a_{3i}b_{1i})}{(q_i + p_i)(a_{1i}b_{3i} - a_{3i}b_{1i}) - 2a_{1i}b_{1i}c_i d_i p_i q_i + 2(a_{3i}b_{3i}/c_i d_i)}, \quad (5.7)$$

где $p_i = (\mu_i - \mu_0)\delta_i / (2\mu_0)$; $q_i = 2 / (j\omega\mu_0\gamma_i\delta_i)$; $\xi_1 < \xi_2 < \dots < \xi_v$;

Δ_i - толщина i -го экрана; $\delta_i = (2/k) \operatorname{tg}(k\delta_i/2)$; $k_i = \sqrt{j\omega\mu_i\gamma_i}$;

$((\Delta_i\lambda) \rightarrow 0, \delta_i \rightarrow \Delta_i)$; μ_i, μ_0 - магнитные проницаемости материала i -го экрана и окружающей среды; λ - длина электромагнитной волны;

ξ_1 - расстояние до поверхности первого экрана ($i=1$); $j = \sqrt{-1}$;

γ_i - электрическая проводимость материала i -го экрана;

$a_{1i} = F_{nm}(\xi_i)$; $a_{2i} = F'_{nm}(\xi_i)$; $b_{1i} = P_{nm}(\xi_i)$; $b_{2i} = P'_{nm}(\xi_i)$;

$a_{3i} = F''_{nm}(\xi_i)$; $b_{3i} = P''_{nm}(\xi_i)$ $\mathbf{v}_{j+1,j} = \mu_{j+1} / \mu_j$; штрихи у функций

обозначают производные по аргументу ξ_i (один штрих - первая, два

штриха - вторая); $F_{nm}(\xi_i)$ и $P_{nm}(\xi_i)$ - координатные функции первого и второго рода, для которых существуют предельные соотношения:

$$F_{nm} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = 0; F_{nm}(\infty) = \infty; P_{nm} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \infty; P_{nm}(\infty) = 0$$

Рассмотрение проведено в общем виде применительно к многослойным экранам, ограниченным полными координатными поверхностями, отвечающими условиям:

$$h_{x_e} = 1, \quad \frac{\partial}{\partial x_e} \left(\frac{h_{x_l}}{h_{x_k}} \right) = 0 \quad (5.8)$$

где e, l, k - индексы, соответствующие осям координатной системы x_1, x_2, x_3 .

Условиям (5.8) удовлетворяют цилиндрические (декартовы), прямоугольные, полярные, эллиптические, параболические и другие координаты на плоскости $Z = \text{const}$ в сочетании с координатой Z ,

отсчитываемой в направлении, нормальном к этой плоскости) и сферическая система координат. $c_i = \left(h_{x_1} / h_{x_2}^2 \right)_{x_1 = \xi_i}$; d_i - постоянная разделения.

Результаты расчётов. Выполнены расчёты магнитных напряженностей ЭМП по (5.4) с учётом (5.2), (5.5)-(5.8), считая экранирующие поверхности круговыми цилиндрическими (система координат r, φ, z), со следующими данными:

$$\begin{aligned} U &= 27,5 \text{ кВ}; \quad I_z = 1500 \text{ А}; \quad C = 8,22 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}; \quad p = 1; \quad \kappa = 100; \\ R &= 0,15 \text{ м}; \quad b = 3,0 \text{ м}; \quad \delta_i = 0,132 \text{ м}; \quad \gamma_i = 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}, \\ \epsilon_i &= 3,54 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}, \quad \mu_i = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \quad \nu = 4 \text{ (сосна)}; \\ a_1 &= I_m(\lambda r); \quad b_1 = \tilde{K}_m(\lambda r); \quad a_2 = \lambda I'_m(\lambda r); \quad p_i \approx 0; \\ a_2 &= |\lambda| (\text{sgn } \lambda)^m K_m(|\lambda| r); \quad k \in [1,14 \cdot 10^{-5} \div 2,28 \cdot 10^{-3}] \sqrt{-1} \text{ м}^{-1}; \\ \Delta(I_m(\lambda r_i), \tilde{K}_m(\lambda r_i)) &= r_i^{-1}; \quad q_i \in [0,581 \cdot 10^5 \div 1,162 \cdot 10^{11}] (-j) \text{ м}. \end{aligned}$$

В рядах удержаны члены с $m \leq 5$.

При проведении расчётов по (5.2) в учёт была принята лишь дипольная пространственная гармоника ($p=1$) для магнитных напряженностей ЭМП, имея в виду, что пространственные гармоники более высокого порядка затухают быстрее $\left(1/r^{p+1} \right)$.

Установлено [5.3], что на затухание магнитных напряженностей ЭМП частотой $f = 50$ Гц ($\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$) зелёные насаждения практически не влияют. Ощутимое влияние начинается с частот $f > 1000$ Гц. Что же касается частот $f > 10^6$ Гц, то они затухают, проходя через зелёные насаждения полностью.

Таким образом, зелёные насаждения могут осуществлять, кроме известных, ещё одну функцию – снижать напряженности ЭМП от электрифицированного транспорта и тем самым уменьшать воздействие внешних ЭМП на средства связи, теле- и радиовещание.

Пример 2. Многослойный экран из посадок деревьев. Большую опасность для окружающей среды представляет высокоскоростной железнодорожный транспорт. Получая электрическую энергию из энергосистемы, он является источником ЭМП промышленной частоты (в меньшей степени и ряда сопутствующих частот, в том числе и близких к нулевой), воздействующего на пассажиров и окружающую среду. Кроме того, сам поезд, являясь проводящим телом и перемещаясь ортогонально магнитному полю Земли, становится источником низкочастотных колебаний (с частотой до нескольких единиц Гц), также воздействующих на пассажиров и окружающую среду. Для защиты окружающей среды от движущего транспорта уже издавна используются лесозащитные посадки. В основном они преследуют цель защитить окружающую среду от акустических полей и пыли, создаваемых транспортом, так и сами железнодорожные пути от снежных заносов в зимнее время. Исследования показывают, что с помощью лесопосадок можно решить и задачу снижения воздействия на окружение от ЭМП высокоскоростного транспорта. Для этого можно рекомендовать использовать посадки деревьев разных пород вдоль железнодорожных путей, выполненные в несколько полос с определенными расстояниями между деревьями в одной полосе и между полосами (в шахматном порядке). Для оценки этих расстояний необходимо решить задачу о распространении ЭМП в среде, которую можно трактовать как комбинированный экран, внутренним слоем которого служит металлическая оболочка самого транспортного средства, а внешним слоем могут служить посадки деревьев. Поскольку древесина обладает определенными электрической проводимостью, магнитной и электрической проницаемостями, то от выбора породы деревьев, их диаметра, частоты насаждения и количества линий посадок будет зависеть экранирующий эффект всего комбинированного экрана. Физическая модель такой задачи представлена на рис. 5.2.

Во внутреннем слое (D_2) затухание ЭМП обусловлено как магнитными свойствами металлической оболочки, так и вихревыми токами $\gamma_2 \vec{E}_2$, индуцируемыми в ней. Во внешнем слое (D_4) затухание определяется, в основном, вихревыми токами, индуцируемыми в древесине посадок с плотностью $\gamma_4 (\vec{E}_4 + [\vec{v} \times \vec{B}_4])$, где член $\gamma_4 [\vec{v} \times \vec{B}_4]$ обусловлен магнитогидродинамическим эффектом. Тока-ми смещения и переноса, в первом приближении, можно пренебречь.

При таких допущениях математическая модель для расчета распределения напряженностей \vec{E}_i, \vec{H}_i ($i \in [1-5]$) ЭМП в воздушном пространстве записывается в виде [5.4]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H}_i &= \vec{\delta}_i + \vec{\delta}_{cm}; \quad \vec{\delta}_i = \gamma_i (\vec{E}_i + [\vec{v}_i \times \vec{B}_i]); \\ \operatorname{rot} \vec{E}_i &= -\frac{\partial \vec{B}_i}{\partial t}, \quad \text{в областях } D_i, \quad i \in [1-5]. \end{aligned}$$

В ортогональной криволинейной системе координат (q_1, q_2, q_3) задача должна быть дополнена условиями в начале координат и в бесконечности. Решение поставленной задачи не представляет принципиальных трудностей, может быть найдено приведением системы исходной задачи к дифференциальным уравнениям математической физики в частных производных с использованием метода конформных преобразований для дискретных областей, каковыми являются посадки деревьев. Геометрические параметры: l - расстояние между деревьями в слое; n - количество слоев деревьев; h - расстояние от электропоезда до первого растительного слоя; d - усредненный диаметр находящихся в посадках деревьев, могут быть найдены при известных материальных параметрах древесины $\gamma_0, \mu_0, \epsilon_0$ и заданной эффективности экранирования, с целью удовлетворения действующим предельно-допустимым концентрациям ЭМП по существующим нормативным документам.

Расчет защитного эффекта лесонасаждений можно производить по номограммам рис.5.1. При нахождении источников СВЧ и РЧ внутри помещений защиту целесообразно проводить в местах проникновения электромагнитной энергии из экранирующих кожухов, улучшать методы радио-герметизации стыков и сочленений, применять насадки с радиопоглощающей нагрузкой. При внешних источниках применяются различные защитные изделия из радио-отражающих материалов: металлизированные обои, металлизированные шторы, сетки на окнах и другие. Наибольшей эффективностью эти защитные средства обладают в СВЧ диапазоне, на более низких частотах их применение ограничено дифракцией.

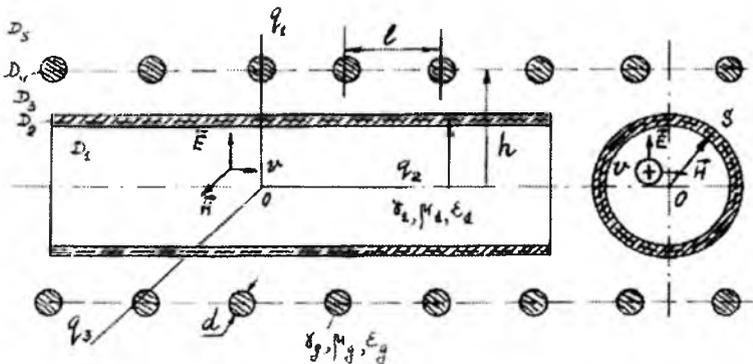


Рис. 5.2. Физическая модель комбинированного биоэкрана для высокоскоростного железнодорожного транспорта:

внутренний слой (D_2) экрана представляет собой круговой цилиндрический экран, которым аппроксимируется электропоезд; внешний слой (D_4) – посадки деревьев

В некоторых случаях для защиты от излучений внешних источников используют специальные коридоры со стенками из радиотражающих материалов (листовой алюминий, латунная сетка и т.п.). Оценку эффективности перечисленных коллективных средств защиты производят по степени сквозного и дифракционного затуханий.

5.3. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНЫХ СРЕД

5.3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Вода может быть представлена в нескольких состояниях: в виде жидкой фазы, в виде твердой фазы (снега, льда) и пара.

Удельное электрическое сопротивление воды в виде жидкой

фазы $\rho_{\text{э}}$ существенно зависит от температуры. Минерализация воды резко понижает ее удельное электрическое сопротивление. Так, у ладонской воды оно составляет $2,6 \cdot 10^4$ Ом·м, а у морской - порядка 0,3 Ом·м (для сравнения: бумага - 10^{15} , медь - $2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м). По приведен-

ным значениям $\rho_{\text{э}}$ можем судить, что чистая вода является плохим

проводником электричества. Электрическая проводимость воды может служить показателем загрязнения, как части водоема, так и его в целом.

Вода является хорошим растворителем. Характеристикой жидкости как растворителя является дипольный момент. У воды он весьма высокий ($6,13 \cdot 10^{-29}$ Кл·м), что обуславливает ее свойства хорошего растворителя веществ, молекулы которых тоже полярны. Однако для сравнения способности одних веществ растворять в себе другие более удобным, чем дипольный момент, оказалось понятие *диэлектрической проницаемости*.

Диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз напряженность поля с данным веществом ниже, чем в вакууме. Диэлектрическая проницаемость воды при 20°C - $\epsilon = 81$.

Способность воды растворять соли возрастает с повышением температуры и понижается с ее уменьшением. Этим обстоятельством объясняется выпадение солей из воды сильно минерализованных озер осенью и в зимний период.

Электрические свойства *снега* пока изучены недостаточно. Сухой снег, прежде всего, характеризуется малой электрической проводимостью. Выполненные исследования для сухого снега плотностью порядка $100 - 500 \text{ кг/м}^3$ при температуре от -2 до -16°C показали, что

ρ_{Σ} довольно высокое ($2,8 \cdot 10^5 - 2,6 \cdot 10^7$ Ом·м) и близко к удельному сопротивлению сухого льда. Напротив, влажный снег обладает малым

ρ_{Σ} , падающим до 10 Ом·м.

Сухой снежный покров является диэлектриком. Диэлектрическая проницаемость снежного покрова ϵ зависит от частоты ЭМВ, их длины и от состояния снега (температуры, плотности, структуры, влажности). Диэлектрическая проницаемость снега значительно меньше, чем льда ($\epsilon = 73 \div 95$, $\epsilon = 3 \div 8$), и увеличивается с возрастанием его плотности и влажности.

Электрические свойства *льда* тоже неоднородны. Величина проводимости и ее экспоненциально быстрое возрастание с повышением температуры резко отличают лед от металлических проводников и ставят его в один ряд с полупроводниками. Обычно лед бывает очень чист химически, даже если растет из грязной воды или раствора (вспомните чистые прозрачные льдинки в грязной луже). Это обусловлено низкой растворимостью примесей в структуре льда. В результате при замерзании примеси оттесняются на фронте кристаллизации в жидкость и не

входят в структуру льда. Именно поэтому свежеснег всегда белый, а вода из него отличается исключительной чистотой. Природа мудро предусмотрела гигантскую очистительную станцию для воды в масштабе всей атмосферы Земли. Поэтому рассчитывать на большую примесную проводимость (как, например, в легированном кремнии) во льду не приходится. Но в нем нет и свободных электронов, как в металлах. Лишь в 50-е годы XX века было установлено, что носителями заряда во льду являются неупорядоченные протоны, то есть лед является протонным полупроводником.

При приложении внешнего ЭП поля лёд способен проводить постоянный ток и в то же время испытывать сильную диэлектрическую поляризацию, то есть проявлять одновременно и свойства полупроводника и свойства изолятора. В последние годы не прекращаются попытки обнаружить при низких температурах у чистого льда сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические свойства, как в объеме, так и на межфазных границах. Полной уверенности в их существовании пока нет, хотя обнаружено несколько псевдопьезоэффектов, связанных с наличием дислокаций и других структурных дефектов.

Наличие водяного пара в воздушной среде, возникшей в результате испарения воды, не превышает 2 %, а поэтому мало влияет на электромагнитные характеристики окружающей среды, и может не приниматься в расчёт при оценке экранирующих характеристик воздушной среды.

5.3.2. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Вода является диамагнетиком ($\mu_r = 0,99991 < 1$), и ее свойства не должны зависеть от воздействия МП. Однако исследования японского профессора Хидеаки Инаба из университета Чиба, показали, что вопреки этому под действием сильного МП происходит изменение важнейших физических свойств воды [5.5]. Так при воздействии МП в 6 Тл температура плавления обычного льда увеличивается на 5,6 милликельвинов и на 21,8 милликельвинов для льда тяжелой воды. Лед тяжелой воды - замороженная вода, в которой атомы водорода заменены на дейтерий. В дальнейшем было выяснено, что существует зависимость между температурой плавления и величиной МП, приложенного к образцу. Профессор Хидеаки считает, что тепловое движение частично заряженных атомов в воде приводит к возникновению силы Лоренца при воздействии на нее МП. Подавляя тепловое движение,

сила Лоренца делает водородные связи прочнее, при этом увеличивается и температура плавления.

В современном мире существует целый пласт явлений, которые с точки зрения классической физики либо маловероятны, либо вообще невозможны. К таким явлениям относятся различные феномены остаточного влияния МП на элементы биотехносферы, в частности, феномен магнитной воды. Так что же такое магнитная вода?

Молекула воды имеет два положительных заряда атомов водорода и два отрицательных заряда атома кислорода. В результате образуются четыре водородных связи между четырьмя молекулами воды. Величина этих связей равна 25 кДж/моль. В силу таких особенностей водородных связей, структура воды крайне неустойчива. Наличие таких связей обуславливает поверхностное натяжение воды, ее магнитную восприимчивость, высокую диэлектрическую проницаемость и другие свойства.

О том, что МП каким-то образом изменяет свойства воды, было известно еще в XIII в. Но лишь в XX веке на это явление стали обращать внимание физики и биологи. Магнитная обработка воды оказалась весьма эффективной при борьбе с накипью. Воду предварительно подвергали магнитной обработке, в результате чего накипь резко уменьшалась.

Магнитная обработка помогает не только предотвращать выпадение неорганических солей из воды, но и значительно уменьшать отложения органических веществ, например парафинов. Такая обработка оказывается полезной при добыче и перекачке высокопарафинистой нефти, причем замечено, что действие поля возрастает, если нефть оводнена.

Эффект ускорения кристаллизации и уменьшения размеров кристаллов, выпадающих из магнитной воды, используется и в других областях, например в строительной индустрии. Большая эффективность применения омагниченной воды наблюдается при производстве бетона, затверждение которого ускоряется с 28 до 7 дней, а прочность повышается в среднем на 45 %. При этом расход цемента сокращается приблизительно на 16 %.

Сегодня область применения омагниченной воды чрезвычайно разнообразна. Но возникает вопрос: на какую воду (идеально чистую или реально существующую) лучше действует МП? Конечно, на воду, представляющую собой смесь различных соединений водорода с кислородом и притом содержащую в растворе различные газы и другие растворенные вещества. Приведем перечень основных изменений, па-

блюдавшихся у природной воды, обязательно протекающей в магнитном поле: ускорение коагуляции и слипания взвешенных в воде твердых частиц; образование кристаллов соли при выпаривании не на стенках, а в объеме; изменения смачиваемости твердых поверхностей; ускорение и усиление адсорбции; ускорение растворения твердых тел; изменение концентрации растворенных газов; возрастание слипания минеральных частиц в 2-4 раза.

Постараемся разобраться, что будет, если к определенному кубическому объему воды приложить постоянное МП. В этом случае все молекулы воды, представляющие собой маленькие заряженные диполи выстроятся вдоль силовых линий МП, то есть вдоль оси X. При тепловом движении дипольной молекулы воды перпендикулярно силовым линиям МП, вдоль оси Y, будет возникать момент сил F_1, F_2 (сила Лоренца), пытающихся развернуть молекулу в горизонтальной плоскости. При движении молекулы в горизонтальной плоскости, вдоль оси Z, будет возникать момент сил в вертикальной плоскости. Но полюса магнита будут всегда препятствовать повороту молекулы, а, следовательно, и тормозить любое движение молекулы перпендикулярно линиям МП. В молекуле воды, помещенной между двумя полюсами магнита, остается только одна степень свободы – это колебание вдоль оси X - силовых линий приложенного МП. По всем остальным координатам движение молекул воды будет тормозиться. Таким образом, молекула воды становится как бы «зажатой» между полюсами магнита, совершая лишь колебательные движения относительно оси X. Определенное положение диполей молекул воды в МП вдоль силовых линий поля будет сохраняться, делая воду более структурированной и упорядоченной.

Уменьшение образования накипи и других отложений солей остается наиболее широкой областью применения магнитной обработки. Если в воде присутствуют диссоциирующие соли (реальная вода), при магнитной обработке происходит несколько процессов: смещение электромагнитными силами полей равновесия между структурными компонентами воды; физико-химический механизм увеличения центров кристаллизации в объеме жидкости после ее магнитной обработки, а также изменение скорости коагуляции (слипания и укрупнения) дисперсных частиц в потоке жидкости.

Как видно, магнитное воздействие на воду вызывает множество эффектов, природу и область применения которых еще только предстоит изучать. Проникновение в суть этого явления открывает не только практические возможности, но и новые свойства воды [6.5].

5.3.3. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Эффективными могут оказаться биологические экраны со слоем соленой воды и др. среды, в которых существенную экранирующую роль будут играть токи переноса. Так, для транспортных объектов, перемещающихся в проводящих средах и рассеивающих ЭМП столь же широкого частотного диапазона в окружающей среде (например, в морской воде с воздействием на ее флору и фауну), могут представить интерес задачи по оптимизации внешней оболочки транспортного средства не только с учетом достаточных прочностных характеристик, но и с минимизацией воздействия на окружающую среду [5.2].

5.4. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУШНЫХ СРЕД

5.4.1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Естественные электромагнитные параметры воздушной среды. Распределение ЭМП в воздушной среде зависит не только от инфраструктуры окружающего пространства, но и, в первую очередь, от её электромагнитных параметров: электрической проводимости γ_B , магнитной μ_B и диэлектрической ϵ_B проницаемостей.

Рассмотрим влияние этих параметров на электромагнитные процессы в зависимости от метеорологических условий и от практической деятельности человека.

Электрическая проводимость воздуха. Известно, что воздух, как, впрочем, и другие газы, является лучшим изолятором электричества при обычных условиях давления и температуры. Однако работы Эльстера, Кейтеля и Вильсона показали, что и атмосфера обладает несомненной проводимостью, а опыты Эберта (Ebert) и Эмдена (Emden) выяснили тот факт, что с высотой электропроводимость воздуха быстро возрастает, колеблясь в зависимости от метеорологических и других условий. Тогда перед физиками возникла проблема установить природу этой проводимости [5.2].

Работами многих учёных (Дж. Томсона его учеников в лаборатории Кавендиша (Cavendish) в Кембридже в период 1897 - 1903 гг.)

было установлено, что весьма слабая электропроводимость, наблюдаемая во всяком газе и в атмосфере в их нормальном состоянии, имеет причину в их ионизации. Став на такую точку зрения, нетрудно было объяснить самый факт рассеяния электричества в атмосфере, а равно и его зависимость от различных метеорологических и прочих условий.

Еще Эльстер и Гейтель выдвинули гипотезу об участии в ионизации ряда причин, и прежде всего причины космической - действия солнечных лучей. Опыты Ленарда (Lenard) над крайними ультрафиолетовыми лучами, испускаемыми раскаленными парами алюминия, цинка и других металлов, обнаружили сильнейшую поглощаемость этих лучей атмосферой и чрезвычайно сильную степень ионизации ее в результате этого поглощения.

Ионизация воздуха УФ лучами происходит следующим образом: вследствие поглощения лучистой энергии молекулой воздуха из последней выходит отрицательный электрон и остаток превращается в положительный ион. Отрицательный электрон, соединяясь с нейтральной молекулой воздуха, образует отрицательный ион. Ввиду того что солнечная фотосфера содержит в себе раскаленные пары указанных выше металлов, а кроме того, водород, испускающий при искровом разряде самые крайние УФ лучи, то предположение Эльстера и Гейтеля об участии Солнца в ионизации воздуха делается чрезвычайно правдоподобным. Это предположение объясняет, весьма просто, целый ряд важнейших явлений в атмосфере, связанных с наблюдениями за ее ионизацией. Например, большую степень ионизации летом, чем зимой; в солнечные дни, чем в пасмурные, и т. д.

Однако если мы примем во внимание необычайно сильную поглощаемость крайних УФ атмосферою, то необходимо будет заключить, что в действительности непосредственная ионизация ее УФ Солнца имеет место только в самых верхних слоях. Те же верхние слои воздуха, по-видимому, ионизируются рядом других причин космического характера, а именно бомбардировкой космической пылью, солнечными электронными радиациями и т. д. В нижние слои атмосферы ионы могут проникать лишь вследствие диффузии или увлекаться постоянными восходящими и нисходящими токами воздуха. Но для объяснения ионизации нижних слоев воздуха и этот вывод встречает затруднения в факте быстрого исчезновения ионизации по прекращении действия ее источника. Вследствие медленного движения нисходящих потоков воздух, ионизированный вверху, будет, по-видимому, достигать поверхности Земли лишь через такое время, когда вся его ионизация давно исчезла. Поэтому является необходимым для объяснения

ионизации нижних слоев атмосферы обратиться к рассмотрению другого ее источника - радиоактивности атмосферного воздуха, стоящей в известной связи с солнечным лучеиспусканием и, следовательно, зависящей от периода пятнообразования.

Дальнейшие наблюдения, выполненные Эльстером и Гейтелем, выявили наличие в воздухе радиоактивных элементов, тория и актиния, а также зависимость их количеств от метеорологических и геофизических факторов. Ими же был констатирован факт, что воздух подвалов, пещер и подземелий ионизирован в гораздо большей степени, чем воздух над поверхностью Земли. Особенно сильно ионизированным оказался воздух, извлеченный из почвы каким-либо искусственным образом. Поэтому естественно было сделать предположение, не обуславливается ли радиоактивность атмосферного воздуха примесями к нему радиоактивных веществ и их эманаций, поступающих в него из почвы? А так как эта радиоактивность, в свою очередь, обуславливает ионизацию воздуха, то необходимо прийти к заключению, что одним из источников ионизации нижних слоев атмосферного воздуха и являются именно радиоактивные начала, находящиеся в почве. Впрочем, имеются основания полагать, что радиоактивность воздуха обусловлена рядом сложных и разнообразных процессов, происходящих в природе вообще, а следовательно, является одной из форм энергии.

Несмотря на всю сложность данного вопроса и трудность разграничения роли радиоактивности почвы и солнечного лучеиспускания в ионизации атмосферного воздуха, все же суточные и годовые вариации в степени ионизации воздуха могут быть отнесены за счет лучей Солнца. Большая ионизация воздуха летом сравнительно с зимой и в хорошую погоду сравнительно с пасмурной может быть объяснена вполне удовлетворительно, если мы примем во внимание более сильную инсоляцию почвы летом и в ясную погоду. Этими факторами обуславливается более интенсивное и более свободное общение почвенного воздуха и атмосферного. Быть может, теми же причинами необходимо объяснить и суточные колебания ионизации воздуха, которые согласны с колебаниями некоторых метеорологических элементов.

Необходимо отметить, что число положительных и отрицательных ионов, заключающихся в атмосферном воздухе при обычных условиях, очень мало по сравнению с полным числом его молекул. Как известно, в 1 кубическом сантиметре газа при обычных условиях давления и температуры содержится около 30 триллионов молекул. В то же время в том же объеме количество ионов равно в среднем 800-1000. Это количество ионов варьирует в полном соответствии с временем

года и дня, зависит от геологических, топографических и метеорологических условий и от хода элементов погоды: так, например, летом число ионов значительно больше, чем зимой, в ясную и сухую погоду больше, чем в дождливую и облачную, при тумане опускается до нуля. Чрезвычайно интересен вопрос о том, существуют ли колебания в степени ионизации атмосферного воздуха, имеющие больший период - период 11-летний, связанный с таковым же периодом в деятельности Солнца. К сожалению, благодаря отсутствию массовых и ежедневных измерений степени ионизации атмосферного воздуха вопрос этот не разрешен до сих пор. А между тем потребность экспериментального разрешения этого важного вопроса диктуется как со стороны биологии, так и самими предположениями в существовании такового периода в ионизации атмосферы.

Как известно, в эпоху повышенной деятельности Солнца количество притекающей к Земле лучистой энергии Солнца значительно повышается. Этот повышенный прилив энергии к Земле в форме электромагнитных или корпускулярных излучений, без сомнения, вызывает усиление интенсивности физико-химических процессов в земной коре и атмосфере.

Нодон (Nodon) опубликовал результаты опытов, показывающих, что радиоактивные излучения значительно ускоряются солнечными лучами, содержащими излучения особого порядка. Эти последние проникают сквозь тонкий слой свинца и других металлов, причем поглощаются металлами тем сильнее, чем выше атомный вес металла, из которого сделан экран. Действие этих лучей более всего заметно в период усиленной активности Солнца. Если, таким образом, степень радиоактивных излучений, находящихся в воздухе, усиливается в период повышенной солнечной деятельности, то, следовательно, и ионизация атмосферного воздуха также должна повыситься в тот же период.

Присутствие в атмосфере радиоактивных эманаций приписывается выделению пород, находящихся на поверхности Земли. Однако наблюдения, произведенные Бонгардом (Bongard) в Линделбурге, подтвердили зависимость количества эманаций от барометрического давления на поверхности Земли и температуры экспериментального слоя воздуха. Кроме того, Бонгардом была замечена периодичность изменения эманации с периодом в 27-28 дней. Причину этой периодичности Бонгард приписал солнечной активности.

Еще необходимо отметить наличие эффекта Столетова-Галльвакса (Hallwachs) у земной поверхности. Как было показано, некоторые металлы обладают свойством быстро терять отрицательный

заряд под влиянием прямого солнечного света. Даже когда металлическая пластинка не заряжена, она испускает отрицательные лучи, принимая, таким образом, положительный заряд. Каким лучам Солнца необходимо приписать этот фотоэлектрический эффект? Из видимой части спектра только одна фиолетовая часть оказывает подобное действие. Путем точных изысканий установлено, что ряд минералов, прежде всего полевой шпат и гранит, также обнаруживают под влиянием этого излучения фотоэлектрический эффект. На этом основании Эльстер и Гейтель предположили, что под воздействием солнечного света у многих каменных пород отрицательно заряженной земной поверхности выступают в воздух отрицательные электроны. Эти последние в случае наличия соответствующих условий могут также служить причиной ионизации атмосферы у самой земной поверхности.

Связь между степенью ионизации воздуха и пятнообразовательным процессом была обнаружена на целом ряде физических явлений в атмосфере. Прежде всего, эта связь очень ясно проявилась в колебаниях условий радиопередачи. Это влияние ионизации получает теоретическое объяснение в уравнениях Максвелла - Герца, так как ионизацией, как мы видели выше, обуславливается электропроводность воздуха. Таким образом, электромагнитные волны, распространяющиеся в хорошо проводящей среде, приобретают характер затухающих колебаний, и их логарифмический декремент затухания увеличивается прямо пропорционально степени электропроводимости.

Ввиду того, что ионизация воздуха в течение суток подвержена значительным колебаниям, зависящим от силы и напряженности солнечного света, то и радиопередача стоит в зависимости от этого фактора.

В то же время внимание исследователей было привлечено тем фактом, что качество приема радиоволн значительно ухудшается под влиянием пятнообразования. Наблюдения, произведенные с этой целью, установили, что в дни прохождения солнечных пятен через центральный меридиан Солнца прием радиоволн вообще претерпевает значительные аномалии в сторону его затруднения. Данное явление сильнее всего сказывается при работе с длинными волнами, как показали наблюдения Пиккара (Pickard) в Вашингтоне, что, впрочем, и следовало ожидать согласно теоретическим соображениям. Аэстэн (Austin) нашел тесную зависимость между месячными индексами радиоприема и солнечной радиацией.

Наконец, были сделаны попытки установить влияние солнечного затмения на атмосферное электричество, например в 1900, 1905, 1912,

1914 и в 1927 гг. Исследователи пришли к заключению о влиянии данного космического феномена на проводимость атмосферы. Были произведены наблюдения над влиянием солнечного затмения на радиопередачу.

Таким образом, установлено, что электрическая проводимость воздуха γ_B носит электролитический характер и в значительной мере зависит от многих земных и космических обстоятельств, с которыми нельзя не считаться.

Магнитная проницаемость воздуха μ_B . Воздух относится к парамагнетикам и при нормальных условиях (давлении, влажности и температуре) составляет $\mu_B \approx 1,00000038\mu_0$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Магнитная проницаемость воздуха, как впрочем, и другие электромагнитные параметры воздуха зависят от метеорологических условий (температуры, давления и влажности), от качества воздушной среды (различные взвеси и вкрапления), от изменения космических связей.

Диэлектрическая проницаемость воздуха ϵ_B . Величина относительной диэлектрической проницаемости воздуха составляет немногим больше единицы и является переменной величиной. Она зависит от давления и температуры воздуха и от общего количества водяных паров в воздухе. Величина диэлектрической проницаемости меняется при изменении метеорологических условий, а также различна на разных высотах над поверхностью земли. Поскольку диэлектрическая проницаемость меняется в зависимости от высоты, то электромагнитная волна, распространяющаяся в горизонтальном направлении, рефрагирует, а ее траектория отклоняется от прямой линии. Из-за большого количества переменных, входящих в задачу, не представляется возможным дать ее общее решение для любых возможных распределений диэлектрической проницаемости по высоте в любой точке трассы радиоволн.

Следует дополнительно отметить, что диэлектрическая проницаемость воздуха ϵ_B , как и большинства других газов, в значительной степени зависит от частоты ЭМП. Это необходимо учитывать, поскольку таблицы справочников обычно содержат данные для статического поля или малых частот вплоть до нескольких единиц кГц без указания данного факта. В то же время существуют оптические методы

получения диэлектрической проницаемости по коэффициенту преломления при помощи рефрактометров. Полученное оптическим методом значение диэлектрической проницаемости воздуха значительно отличается от табличных данных. Так, например, при нормальных условиях и частоте 0,9 МГц $\epsilon_B = (1,00058986 \pm 0,00000050)\epsilon_0$, где $\epsilon_0 = (1/36\pi) \cdot 10^{-9}$ Ф/м. При наличии статического поля $\epsilon_B = 1,00025\epsilon_0$.

Изменение электромагнитных параметров воздушной среды в результате деятельности человека. Деятельность человека в разных масштабах пространства и времени приводит к изменению электрического состояния атмосферы и электризации облаков. Урбанизация, опустынивание и загрязнение воздуха, которые изменяют характеристики электризации облаков, могут влиять на эволюцию осадков и динамику облаков [5.6].

Некоторые виды деятельности человека могут вызвать изменения состояния атмосферного электричества в разных масштабах пространства и времени. Так, уничтожение пригородных лесов приводит к возможностям возникновения перепадов давления, к сильным ветрам и бурям, способствующим передаче больших электрических зарядов в атмосфере, к появлению градиентных электрических полей. Замечены изменения в формировании облаков, в возникновении атмосферных токов проводимости. Существует достаточно сведений о том, что городские районы влияют на бальность облачности и выпадение осадков. Выбросы промышленных объектов в виде окислов различных элементов (CO_2 , N_2O_5 , P_2O_5 и т. д.) создают условия для возникновения токов переноса и электрическим разрядам между облаками и строительными конструкциями на земле. Возникают турбулентности, способствующие облачным формированиям и увеличению осадков.

Загрязнение воздушной среды выхлопными газами от транспорта добавляет большое количество взвешенных частиц в атмосферу в широком диапазоне размеров ($2 \cdot 10^{-9} \div 10^{-5}$ м в радиусе) и влияет на локальный электрический климат региона.

Высоковольтные ЛЭП растягивается на большие расстояния по поверхности Земли и вносят большое количество ионов в атмосферу. Они производят ионы одной полярности и внедряют объемные заряды в атмосферу. Ионы производятся в туманную погоду в большем объеме. Объемный заряд освобождается от проводов.

Высокие структуры, такие как высотные башни для передачи сигналов телевидения и связи, дымовые трубы, высотные здания и молниеотводы существенно влияют на электрическое состояние атмосферы. Кроме того, атмосферные ионы концентрируются вокруг высоких объектов. Эти объекты производят ЭП и тем самым выступают в качестве источника бесперебойного поступления ионов в атмосферу. Они же оказывают влияние на возникновение грозовых разрядов под грозовыми тучами. Повышение ЭП и ионизации около таких объектов может инициировать процесс электрического пробоя именно в таких структурах, а не в облаке, и таким образом может вызвать разряд молнии, которые иначе не могли бы иметь место.

Водяные просторы, загрязненные выбросами с морских судов, значительно снижают перенос электрических зарядов от воды в атмосферу.

Самолеты, летящие в грозовых облаках, являются причиной концентрации ЭП вокруг их. Иногда это приводит к срабатыванию разряда молнии по плоскости крыла. Электрическое возмущение вызывает полёт ракеты и ее след.

Парусные суда перед грозой обеспечивают электрическую аномалию на открытой поверхности моря.

Лабораторные эксперименты по разделению зарядов при замерзании воды показали, что такие передачи зарядов очень чувствительны к небольшим следам аммиака в атмосферном воздухе. Даже небольшие концентрации некоторых веществ, таких как галогениды и сульфаты щелочных металлов и поверхностно-активных органических соединений могут не только влиять на величину, но и на полярность зарядов. Небольшая часть газов, выделяющихся из трубы, может повлиять на разделение зарядов в облаках, выбрасываемых в атмосферу в результате деятельности человека, тем самым снижая электропроводимость атмосферы.

Стоит отметить, что наличие даже малых концентраций (ниже, чем $1 \text{ в } 10^{10}$) некоторых газообразных молекул, содержащих галогены, таких как гексафторид серы, может существенно изменить процессы диэлектрического пробоя в воздухе. Возникают двойные электрические слои на поверхности раздела воздух-вода, лед, воздух и вода-лед интерфейсов. Электрические свойства этих двойных слоев находятся под сильным влиянием газов и поверхностно-активных веществ, выбрасываемых в атмосферу различными источниками загрязнения.

Особую роль играет криптон-85, радиоактивный побочный продукт ядерных реакторов, который выбрасывается в атмосферу. Он яв-

ляется химически инертным газом, имеет период полураспада 10,76 лет и может быть рассеян по всей атмосфере при общей циркуляции. Ионизация в атмосфере из-за распада изотопа криптона-85 увеличивает общий дебит ионов в атмосфере. Увеличение скорости ионизации за счет этого фактора может привести к уменьшению полного сопротивления глобальной цепи примерно на 10 %. А любое изменение в состоянии ионизации воздуха, в котором облако растет, будут влиять на рост электрической активности и возникновения молний в облаке.

Ионизирующее излучение от радиоактивных осадков ядерного взрыва производят дополнительную ионизацию в атмосфере. Ядерные аварии на электростанциях существенно влияют на состояние атмосферы. После Чернобыльской аварии во время дождей электрическая проводимость воздушной среды возросла примерно в 11 раз, поле атмосферного электричества уменьшилось в 10 раз и плотность пространственного заряда уменьшилась в 10 раз от нормальных значений. А поскольку радиоактивные материалы вводятся в атмосферу при таких инцидентах на атомных электростанциях на большие территории, благодаря атмосферной циркуляции, то они создают условия для существенных изменений электрического состояния атмосферы.

Низкая частота излучений от мощных передатчиков ОНЧ или выбросов от ЛЭП может усилить выпадение электронов в стратосфере. Благодаря этому будет увеличиваться ионизация воздуха региона и уменьшаться сопротивление столбов атмосферы. Эта дополнительная ионизация может значительно увеличить электропроводимость воздуха во время грозы и тем самым увеличить проводимость тока, протекающего в верхней части облака.

Природные земные токи (теллурические) вызваны электромагнитной индукцией от изменяющегося во времени ГМП внешнего происхождения. Они также возникают, когда проводящие тела, такие как морская вода, движутся через постоянное МП Земли. Природные земные токи сильно зависят от антропогенных систем, таких как кабели связи, ЛЭП, магистральные трубопроводы транспортировки газа, железные дороги и т. д. Они возникают вследствие сильной коррозии, когда проводники размещены вблизи от транспортных средств, электрифицированных на постоянном токе (например, железных дорог или трамваев). Природные теллурические токи часто во много раз больше, чем токи, текущие в глобальной атмосферной цепи. Они, без сомнения, являются частью процесса снабжения электрической среды Земли. Однако, взаимодействие отмеченных двух явлений и возможное влияние

техногенных земных токов на глобальные атмосферные токи в настоящее время четко не установлено и заслуживает дальнейшего изучения.

Из сказанного следует:

1. Процессы индустриализации, урбанизации и других видов практической деятельности человека приводят к существенным изменениям электрической проводимости по регионам, увеличению магнитной и диэлектрической проницаемостей.

2. Возведение высоких объектов приводит к изменению зарядов генерирующих процессов; распределению зарядов и грозовой активности в облаках.

3. Случайное изменение атмосферного электричества в воздушной среде может вызвать изменения некоторых метеорологических процессов. Например, изменения ЭП в воде и грозовых облаках может существенно изменить процессы взаимодействия в среде, терминальные скорости и форму капли воды. Такие изменения могут существенно ускорить или изменить эволюцию атмосферных осадков и таким образом влиять на динамику облаков.

Изменение электромагнитных параметров воздушной среды в результате природных катаклизмов. Электромагнитные параметры воздушной среды существенно меняются в местах природных катаклизмов - скопления грозовых туч, очагов зарождения воздушных вихрей, районах землетрясений и т. д. Риск попадания в места повышенной опасности высок, особенно в районах предполагаемых землетрясений, ибо электромагнитные параметры воздушной среды начинают меняться задолго до землетрясения, о котором порой никто не догадывается [5.8-5.11].

Так, например, механические напряжения, накапливающиеся в земной коре перед землетрясением, сопровождаются ростом напряженностей электрического поля. Причем чем ближе к будущему эпицентру, тем больше. Если средняя напряженность ЭП над поверхностью Земли составляет 120-140 В/м, то за день до катаклизма – до нескольких сотен тысяч В/м. Это можно видеть невооруженным глазом: начинают светиться горы, земля, электропроводы. В момент толчка над эпицентром на несколько секунд возникает ярчайшая вспышка. Столь наэлектризованная атмосфера влияет на все виды высокочувствительных электронных систем (в том числе и на бортовые системы авиалайнеров).

5.4.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Учёт экранирующих свойств воздуха (затухание ЭМП в воздушной среде) в практических задачах можно произвести по упрощённой методике С. А. Щелкунова [5.9], использующей метод полных сопротивлений (приблизительно считаем, что затухание магнитной и электрической напряженностей ЭМП происходит примерно одинаково):

$$П = 1,85 d \sqrt{f(\mu / \mu_0)\gamma}, \text{ дБ}, \quad (5.9)$$

где $П$ - коэффициент затухания из-за поглощения в воздушной среде (преобразование электромагнитной энергии в тепло из-за тепловых потерь); f - частота, Гц; γ - удельная электропроводность воздуха, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; μ - магнитная проницаемость воздуха в зоне исследований, Гн/м; ϵ - диэлектрическая проницаемость воздуха, Ф/м; d - расстояние, на котором фиксируется затухание напряженностей ЭМП, м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума.

Если считать электромагнитные параметры воздушной среды постоянными и использовать упрощённую методику расчёта, то можно положить $П \equiv d$, что соответствует равномерному затуханию электромагнитной волны с расстоянием.

В реальности следует считаться с более существенным снижением напряженностей ЭМП в воздушной среде по (5.1).

5.5. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРУНТОВ

5.5.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Электрические свойства грунтов. Способность грунтов проводить и поглощать электрический ток широко используется на практике при геофизических исследованиях, при осушении и электрическом оттаивании грунтов. Электрические свойства грунтов используются при расчете заземляющих устройств электростанций, ЛЭП, для расчета

защитных устройств в целях борьбы с коррозией трубопроводов и т. д. Наиболее важными электрическими свойствами являются электропроводимость и диэлектрическая проницаемость грунтов [5.12-5.13].

Электропроводимость грунтов - способность грунтов проводить электрический ток. Это свойство характеризуется величиной удельной электропроводимости или удельного электрического сопротивления.

Удельное электрическое сопротивление измеряется в ом•м и ом•см, удельная электропроводность - в Ом⁻¹•м⁻¹ и Ом⁻¹•см⁻¹. Удельное электрическое сопротивление численно равно полному сопротивлению в омах 1 м³ грунта с основанием 1 м² и длиной 1 м, измеренному перпендикулярно плоскости куба.

Электропроводимость и электрическое сопротивление грунтов являются сложными и достаточно изменчивыми характеристиками. Их величина зависит от большого комплекса факторов, наиболее важными из которых являются минералогический состав грунтов, их дисперсность, структурно-текстурные особенности, влажность, химический состав и концентрация порового раствора, температура и давление. Вследствие этого электропроводимость и удельное электрическое сопротивление грунтов в зависимости от их состояния могут изменяться в очень широких пределах.

Электропроводимость минеральных и органических частиц, слагающих грунты, разнообразна по своей природе и величине. Среди них по характеру электропроводимости выделяются проводники, полупроводники и диэлектрики, взаимное соотношение которых во многом определяет электрические свойства грунтов. Идеальными проводниками являются самородные металлы, содержание которых в горных породах ничтожно. Преобладающее же большинство минералов, слагающих скелет грунтов, представляют собой полупроводники и диэлектрики. Они обладают как электронной, так и ионной электропроводностью. У минералов - диэлектриков, составляющих основную массу породообразующих минералов, преобладает ионная электропроводность, роль которой увеличивается с повышением температуры среды. Особенно сильно возрастает ионная электропроводимость у легко гидролизующихся глинистых минералов, у которых наряду с типичной ионной электропроводимостью наблюдается мольная. Роль последней электропроводимости особенно велика у глинистых растворов. При прочих равных условиях электропроводимость грунтов находится в прямой зависимости от количества хорошо проводящих минералов.

Электропроводимость грунтов в значительной степени зависит от их влажности, состава и концентрации порового раствора. Электро-

проводимость сухих грунтов во много раз меньше, чем влажных, что объясняется резкой разницей удельного электрического сопротивления воздуха и воды. Поэтому трещиноватые и кавернозные сухие скальные грунты имеют очень высокое удельное электрическое сопротивление. Электропроводимость сухих несвязных грунтов также высокая и определяется в основном сопротивлением контактов твердой фазы между отдельными зернами. Наличие воды в грунтах резко повышает их электропроводимость. Можно считать, что удельное сопротивление влажных грунтов является в основном функцией электропроводимости поровых вод, поскольку минеральный скелет обладает, как показано выше, высоким электрическим сопротивлением.

Природные воды, находящиеся в порах грунтов, представляют собой природный электролит различного состава. Для него характерна ионная электропроводность. Удельное сопротивление природных вод в зависимости от их химического состава и концентрации изменяется в широких пределах (от 10^{-2} до 10^3 ом·м и более) и уменьшается с увеличением концентрации природных вод. Все это обуславливает увеличение электропроводимости влажных грунтов при возрастании концентрации поровых вод.

Наибольшие изменения электропроводимости с повышением влажности грунтов наблюдаются в пористых осадочных породах. Например, при увлажнении сухого песчаника на 2-3 % его удельное электрическое сопротивление уменьшается на несколько порядков. У магматических и метаморфических пород, характеризующихся незначительной пористостью (в них преобладают закрытые поры), эта зависимость выражена слабее.

Удельное электрическое сопротивление дисперсных грунтов в естественных условиях благодаря наличию в их порах воды во много раз меньше сопротивления основных породообразующих минералов. В тонкодисперсных грунтах при гигроскопическом их увлажнении электропроводность близка к нулю. По мере дальнейшего увеличения влажности происходит достаточно резкое ее увеличение. С увеличением влажности до 60-80 % от величины полной влагоемкости электропроводность возрастает до максимума. При дальнейшем увеличении влажности в слабозасоленных грунтах электропроводимость может уменьшиться вследствие разбавления содержащегося в порах раствора электролита.

В глинистых породах наблюдается явление поверхностной проводимости, которое имеет место при концентрации раствора электролита до 0,1 н. Явление поверхностной проводимости в глинистых грун-

тах указывает на существование электропроводности их гидратного слоя, относительная величина которого обратно пропорциональна степени засоления грунта и прямо пропорциональна его дисперсности. Удельная электропроводность в порах таких грунтов складывается из удельной электропроводности свободного порового раствора и из поверхностной проводимости избыточных ионов межфазового слоя.

Величина поверхностной проводимости глинистых грунтов также зависит от их влажности. Р. И. Злочевская (1969) показала, что по мере возрастания влажности глинистых грунтов их поверхностная проводимость возрастает, достигает максимума в области влажностей, несколько больших нижнего предела пластичности, а затем падает при более высоких влажностях.

Электропроводность грунтов зависит также от структурно-текстурных особенностей грунтов: от формы упаковки грунтовых частиц и общей пористости.

Большая часть грунтов, особенно их слоистые осадочные и метаморфические разности, характеризуется электрической анизотропией: электропроводность слоистых (и сланцеватых) грунтов вдоль напластования всегда выше, чем перпендикулярно напластованию. Это свойство грунтов характеризуется коэффициентом анизотропии.

Электропроводность грунтов в значительной степени зависит от температуры. С возрастанием температуры удельное электрическое сопротивление грунтов падает и, следовательно, возрастает их электропроводность. В частности, электросопротивление осадочных пород при возрастании температуры на 40-50 °С уменьшается в 2 раза и более. С понижением температуры грунта и образованием льда в его порах электрическое сопротивление резко возрастает.

Диэлектрическая проницаемость грунтов. Основной характеристикой диэлектрических особенностей грунтов является их диэлектрическая проницаемость. При изучении грунтов по их диэлектрическим свойствам обычно пользуются безразмерной относительной диэлектрической проницаемостью, которая показывает, во сколько раз электрическая сила, действующая на любой заряд в данной среде, меньше, чем в вакууме.

Диэлектрическая проницаемость наряду с электропроводностью и магнитной восприимчивостью является свойством грунтов, определяющим характер распространения в них переменных ЭМП. Она обусловлена свойством молекул, атомов и ионов, слагающих различные компоненты грунтов, поляризоваться в ЭП.

Диэлектрическая проницаемость грунтов определяется химико-минералогическим составом твердой, жидкой и газообразной составляющих, их соотношением в единице объема, структурными особенностями грунтов, частотой поляризующего поля, температурой и давлением.

Относительная диэлектрическая проницаемость основных породообразующих минералов колеблется от 3-4 до 10-12 (например, у кварца 4,3-5,6, у полевых шпатов 4,5-7,2, слюд 5,4-11,5, кальцита 7,5-8,7, гипса 4,2 и др.), и лишь у некоторых минералов она существенно возрастает (например, у рутила - 86). Диэлектрическая проницаемость чистого воздуха близка к 1; ее величина для воды при температуре 0 °С равна 88, при повышении температуры до 100 °С она уменьшается до 55. Диэлектрическая постоянная льда при температуре - 2 °С равна 79, при температуре - 18°С она снижается до 3. Такое разнообразие величины диэлектрической проницаемости твердой, жидкой и газообразной составляющих грунта свидетельствует, что в естественных условиях в зависимости от состава и состояния пород она будет изменяться в более узких пределах по сравнению с удельным электрическим сопротивлением грунтов. Действительно, величина диэлектрической проницаемости грунтов составляет 4-40, причем у большинства из них она ниже 20.

Наименьшие значения диэлектрической проницаемости характерны для сухих пористых пород, причем с увеличением пористости грунтов они уменьшаются. Поскольку диэлектрическая постоянная у воды выше, чем у породообразующих минералов и газов, то увеличение влажности грунтов приводит к увеличению их диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость зависит от температуры грунтов: с повышением температуры она уменьшается у воды и влажных пород и возрастает у сухих. Диэлектрическая проницаемость мерзлых дисперсных грунтов также зависит от температуры: при понижении последней происходит значительное ее уменьшение.

Диэлектрическая проницаемость грунтов в переменных полях зависит от частоты поляризующего тока. С увеличением частоты тока диэлектрическая проницаемость уменьшается. Наиболее сильно она снижается у влажных грунтов, для воздушно-сухих пород характер этой зависимости менее интенсивен. Например, образец песчаника, насыщенный водой до влажности 12%, снижает диэлектрическую проницаемость в 100 раз при увеличении частоты тока от 10^2 до 10^7 Гц. В то же время диэлектрическая проницаемость воздушно-сухого об-

разца этого же песчаника остается практически постоянной на всех частотах.

Магнитные свойства грунтов. Все грунты в большей или меньшей степени обладают магнитными свойствами. Это обусловлено тем, что основная часть породообразующих минералов относится к группе парамагнетиков. Кроме того, в грунтах практически всегда содержится некоторое количество ферромагнитных соединений (например, магнетит, пирротин, ильменит, гематит и др.).

В качестве параметров, характеризующих магнитные свойства грунтов, обычно используются величины магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, коэрцитивной силы и др.

Намагниченностью называется результирующий магнитный момент единицы объема грунта, вызванный однородным МП. Эта величина представляет собой вектор. Ее размерность Тл/см³.

Для одних веществ (ферромагнетиков) намагниченность является сложной функцией внешнего МП, для других (диа- и парамагнетиков) - в определенных интервалах полей и температур эта функция может быть линейной.

Магнитная восприимчивость является коэффициентом пропорциональности между намагниченностью и внешним МП, создавшим ее, и численно равна отношению намагниченности к напряженности МП.

Магнитная восприимчивость является одной из важнейших характеристик магнитных свойств. По ее величине все вещества формально делятся на два класса: класс диамагнетиков и класс парамагнетиков. Некоторые материалы характеризуются положительной магнитной восприимчивостью и высокими ее значениями ($10 \div 10^5$). Они могут приобретать очень сильную намагниченность. Такие материалы называются ферромагнитными. Приуроченность минералов к тому или иному классу определяется структурой электронных оболочек атомов, входящих в состав минерала, и структурой его кристаллической решетки.

К диамагнитным минералам относятся многие самородные металлы (медь, цинк, серебро, золото и др.), сера, графит, а также такие важнейшие породообразующие минералы, как кварц, кальцит, гипс, ангидрит, галит и др.

Среди горных пород к чистым диамагнетикам могут быть отнесены каменные соли, мел и известняк.

Большая часть минералов и горных пород относится к группе сильных парамагнетиков (например, пирит, рутил, эпидот, шпинель, турмалин, авгит, роговая обманка, сидерит, доломит, биотит и др.).

К собственно ферромагнитным минералам относится самородное железо, магнитная восприимчивость которого достигает тысяч единиц. Большинство минералов железа является ферромагнетиками (магнетит, титано-магнетиты, пирротин и др.). Магнитная восприимчивость магнетита достигает 20, у остальных минералов - не более 0,4.

Магнитные свойства грунтов определяются их химико-минералогическим составом и структурой - соотношением в грунтах диа-, пара- и ферромагнитных минералов и их взаимосвязью. Однако ведущая роль в создании определенных магнитных свойств грунтов принадлежит ферромагнетикам, поскольку их магнитная восприимчивость обычно на много порядков превышает магнитную восприимчивость основных породообразующих диа- и парамагнитных минералов. Даже незначительное содержание в грунтах ферромагнитных минералов (десятые и сотые доли процента) оказывается достаточным для проявления в них типичных ферромагнитных свойств.

Наибольшей магнитной восприимчивостью обладают породы магматического происхождения, для которых в целом характерно уменьшение к от ультраосновных пород к кислым в соответствии с изменением их минералогического состава.

Магнитная восприимчивость метаморфических пород несколько меньше по сравнению с магматическими. Незначительная магнитная восприимчивость характерна для глинистых сланцев, филлитов, кристаллических сланцев, кварцитов, гнейсов, мраморов и других пород. Высокие значения этого параметра свойственны железистым кварцитам, роговикам, серпентинитам, скарнам и магнетитовым сланцам.

Осадочные породы обычно практически немагнитны или очень слабомагнитны, что, отчасти, обусловлено небольшим содержанием в них ферромагнитных соединений. Наименьшей магнитной восприимчивостью обладают известняки, доломиты, ангидриты, гипсы, соли и другие хемогенные породы, состоящие в основном из диамагнитных минералов. Слабо магнитные и магнитные разновидности установлены среди песков, песчаников и глин, причем обычно (но не всегда) при переходе от песчано-пылеватых пород к глинистым их магнитная восприимчивость возрастает.

Магнитные свойства имеют значение при формировании различных типов грунтов, особенно тонкодисперсных глинистых разновидностей.

В процессе осаждения глинистых суспензий и последующей сушки осадка в МП установлено, что характер образующейся трещиноватости зависит как от напряженности внешнего МП, так и от минералогии глин. Наиболее интенсивная трещиноватость во всех случаях возникала на монтмориллонитовых глинах; на образцах гидрослюдистых глин она возникает только при большой напряженности МП ($12 \cdot 10^4$ А/м), а образцы каолинита всегда оставались монолитными. В нулевом (скомпенсированном) поле трещиноватость или вообще не возникает или, если и возникает, то имеет радиальное направление.

Повышенная прочность осадков, сформировавшихся в нулевом поле, обусловлена, по мнению Ю. Б. Осипова (1968), двумя причинами: во-первых, изотропным строением осадков и, во-вторых, наличием в них более высокодисперсных агрегатов вследствие распада грунтовых агрегатов в этих условиях, что способствует увеличению поверхностной энергии и, как следствие этого, приводит к возрастанию механической прочности грунтов.

Особенно сильно сказывается действие МП на формирование мезоструктуры глинистых пород. Увеличение напряженности МП вызывает возрастание агрегированности частиц и повышение ориентации как самих частиц, так и их агрегатов. При этом установлено, что частицы гидрослюдистой и каолинитовой глин реагируют даже на геомагнитное поле, причем качество ориентации частиц при переходе от нулевого к ГМП увеличивается скачком.

Таким образом, магнитные свойства глинистых грунтов оказывают влияние на формирование мезоструктуры не только в сильных полях, но и в геомагнитном поле. Изменение мезоструктуры грунтов вызывает соответствующее изменение их физических и механических свойств. В связи с этим изучение магнитных свойств грунтов и их влияние на формирование прочности грунтов имеет большое научное и практическое значение.

5.5.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

При определённых условиях можно использовать экранирующие свойства грунтов для снижения электромагнитной нагрузки на отдельные технические устройства и производственные помещения. Для расчёта снижения электрических и магнитных напряженностей ЭМП за пределами защиты из грунтов можно использовать общеизвестные

формулы, в которые подставляются электромагнитные свойства грунтов и соответствующие геометрические размеры.

Так по упрощённой методике, использующей метод полных сопротивлений по С. А. Щелкунову [5.1], можно определить общий коэффициент затухания ЭМП в экранирующей среде по формуле (приближенно считается, что затухание магнитной напряженности ЭМП и электрической примерно одинаково) [5.6]:

$$\mathcal{E} = P + \Pi + B, \text{ дБ}, \quad (5.10)$$

где P - коэффициент затухания вследствие отражения на граничных плоскостях; Π - коэффициент затухания из-за поглощения в стенке экрана (преобразование электромагнитной энергии в тепло из-за тепловых потерь); B - корректирующий коэффициент, который учитывает многократные отражения внутри экрана (может отсутствовать при $\Pi > 10 - 15$ дБ).

Для коэффициентов P, Π, B можно использовать выражения:

$$P = 20 \lg \frac{|(Z_{вш} + Z_{\mathcal{E}})^2|}{|4Z_{\mathcal{E}}Z_{вш}|}, \text{ дБ}, \quad (5.11)$$

$$\Pi = 1,85 d \sqrt{f(\mu / \mu_0)} \gamma, \text{ дБ}, \quad (5.12)$$

$$B = 20 \lg \left| 1 - e^{2d \sqrt{\pi f \mu \gamma}} e^{j2d \sqrt{\pi f \mu \gamma}} \right|, \text{ дБ}. \quad (5.13)$$

где $Z_{вш}, Z_{\mathcal{E}}$ - полные волновые сопротивления, определяются в виде:

$$Z_{вш} = \begin{cases} Z_{вш} = 377 \text{ Ом} - \text{ для дальней зоны;} \\ Z_{вш} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{rf} \text{ Ом} - \text{ для ближней зоны} \end{cases}, \quad (5.14)$$

$$Z_{\mathcal{E}} = \sqrt{j2\pi f \mu / (\gamma + j2\pi f \epsilon)}. \quad (5.15)$$

r - расстояние от источника помехи, м; f - частота, Гц; γ - удельная электропроводность среды, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; μ - магнитная проницаемость среды, Гн/м; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м;

d - толщина среды, м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума.

Для экрана, при условии, что толщина стенки больше глубины проникновения,

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{\pi f \mu / \gamma} (1 + j). \quad (5.16)$$

Для некоторых распространённых грунтов электромагнитные параметры: относительная магнитная μ_r и диэлектрическая ϵ_r проницаемости, электрическая γ проводимость представлены в табл. 5.4.

Учёт экранирующих свойств грунтов используется в настоящее время при решении различных вариантов обратных задач сейсмологии, определении надёжности, прочности и сейсмостойкости конструкций сложных технических систем, применяемых в различных областях, при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды. Исследуемые перспективные пути связаны с выделением качественной информации о важных закономерностях взаимодействия сейсмических волн со слоисто-неоднородными грунтами, фундаментами и основаниями, конструкциями зданий и сооружений различного назначения, трубопроводных систем.

Полученные результаты могут быть применены для решения широкого круга задач в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, для эффективного решения которых необходимы знания закономерностей взаимодействия сейсмических волн со сложно построенными структурами. Среди этих задач можно отметить, например, учет влияния физико-механической и геометрической структуры сложно построенных неоднородных грунтов на интенсивность сейсмических волн; изучение свойств грунтов и природных экранирующих систем; разработка эффективных искусственных сейсмозащитных систем (сейсмозащитных структурно-неоднородных экранов, оснований, фундаментов зданий и сооружений различного назначения, экранирующих поясов и т. п.); оптимизация выбора распределения неоднородностей в конструкциях ограждений с целью обеспечения их наиболее эффективной сейсмостойчивости.

Таблица 5.4

Электромагнитные параметры различных видов грунта

№ п/п	Тип грунта	Электромагнитные параметры грунта		
		μ_r	ϵ_r	γ , 1/Ом·м
1	Торф, чернозем, глина	≈ 1	3-4	0.017 – 0.05
2	Лесс, супеси, суглинок	≈ 1	4,5-7,2	0.003 – 0.01
3	Песок, песок с галькой	≈ 1	7,5-8,7	0.002 – 0.003
4	Мерзлый грунт	≈ 1	7-8	0.0001 – 0.00001
5	Садовая земля	≈ 1	4,2	0,025

ГЛАВА 6. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВИДИМОГО, ИНФРАКРАСНОГО, УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

6.1. ЗАЩИТА ОТ ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Возможность отрицательного воздействия условий освещения на работающих обуславливается рядом факторов:

- отсутствием или недостаточностью естественного света;
- пониженной освещенностью;
- повышенной яркостью и неравномерностью ее распределения;
- прямой и отраженной блескостью;
- повышенной пульсацией освещенности;
- повышенным уровнем ультрафиолетового излучения.

Отсутствие или недостаток естественного света в производственных помещениях связаны со строительством безоконных и бесфонарных зданий или зданий соответствующих строительно-планировочных решений (одноэтажных многопролетных или многоэтажных зданий большой ширины) с недостаточным по нормам коэффициентом естественной освещенности.

С отрицательным воздействием на работающих отсутствия естественного света связано явление «светового голодания», «Световое голодание» - это состояние организма, обусловленное дефицитом ультрафиолетового излучения и проявляющееся в нарушении обмена веществ и снижении резистентности организма.

Кроме того продолжительная работа в помещении без естественного света может оказывать неблагоприятное психофизиологическое воздействие на работающих из-за отсутствия связи с внешним миром, ощущения замкнутости пространства, особенно в небольших по площади помещениях, монотонности искусственной световой среды, Все это вызывает неприятные субъективные ощущения у работающих, приводит к ухудшению их самочувствия, настроения и снижению работоспособности.

В соответствии с гигиеническими критериями оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса («Гигиенические критерии Р.2.2.755-99») условия труда без естественного света относятся к 3-му классу 2-й степени вредности (3,2). Условия труда при недостаточности естественного света ($KEO < 0,6\%$) относятся к 3-му классу 1-й степени вредности (3.1).

Для компенсации УФ недостаточности в помещениях без естественного света используются УФ-облучательные установки длительного действия (совмещенные с осветительными установками) или облучательные установки кратковременного действия (фотарии).

Другими мерами для предупреждения неблагоприятного воздействия условий труда в помещениях без естественного света являются:

- использование для искусственного освещения газоразрядных источников света со спектральным составом, близким к спектру естественного света;

- повышение нормируемой освещенности для соответствующего разряда зрительных работ на одну ступень по шкале освещенности СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»;

- устройство динамического освещения, т.е. освещения, при котором предусматривается изменение уровня освещенности или спектрального состава излучения источников света в динамике рабочего дня в периоды, предшествующие развитию утомления;

- использование специальных архитектурных приемов, имитирующих естественное освещение (витражи, ложные окна и т.п.),

В помещениях с недостаточным естественным освещением должно предусматриваться совмещенное освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, т.е. искусственное освещение функционирует в дневное время.

Степень вредности условий труда при пониженной освещенности от искусственного освещения (E_H) оценивается по следующим критериям:

- при фактической освещенности (E_Φ) менее нормируемой, но более 0,5 нормируемой освещенности (E_H), т.е. $0,5E_H < E_\Phi < E_H$, условия труда относятся к 3-му классу 1-й степени вредности (3.1);

- при фактической освещенности менее 0,5 нормируемого значения $E_\Phi < 0,5E_H$ условия труда относятся к 3-му классу 2-й степени вредности (3.2).

При аттестации рабочих мест согласно «Методическим указаниям по оценке условий освещения рабочих мест» 1998 г., утвержденным Минтруда РФ, рекомендуется при расположении рабочей зоны в разных помещениях вначале оценить степень вредности фактора (естественное освещение, искусственное освещение) для каждого помещения,

т.е. для каждого помещения определить в соответствии с гигиеническими критериями класс условий труда - 2, 3.1 и 3.2.

Для этого по хронометражным данным определяется относительное время работы (в долях единицы) в каждом из помещений. Установленным классам условий труда условно присваиваются следующие баллы: класс 2 - 0,0; класс 3.1 - 1,0; класс 3.2 - 2,0. Затем определяется суммарное значение баллов путем умножения относительного времени пребывания в каждом помещении на баллы, соответствующие классу условий труда в данном помещении (раздельно от естественного и искусственного освещения). Полученные произведения суммируются по формуле:

$$G = G_1 \cdot t_1 + G_2 \cdot t_2 + \dots + G_n \cdot t_n,$$

где G - расчетная сумма баллов по исследуемому фактору для данного рабочего места; G_1, G_2, \dots, G_n - баллы, соответствующие классам вредности по тому же фактору для каждого из помещений; t_1, t_2, \dots, t_n - время пребывания работающего в каждом из помещений; n - число помещений.

Окончательная оценка условий освещения производится на основании рассчитанной суммы баллов следующим образом: класс 2, если $0 < G < 0,5$; класс 3.1, если $0,5 < G < 1,5$; класс 3.2, если $1,5 < G < 2,0$.

Так, например, работа выполняется в трех разных помещениях. По результатам обследования условий освещения установлено, что в одном из них, с классом вредности по искусственному освещению 3.2 ($G \approx 2$), работник находится 30 % рабочего времени, во втором, имеющем допустимые условия освещения (класс 2, $G = 0$), - 50 %, и в третьем, с классом вредности 3.1 ($G = 1$), - 20 % рабочего времени. Рассчитываем:

$$G = 2 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,2 = 0,8$$

Полученная величина входит в неравенство $0,5 < G < 1,5$, и, следовательно, данному рабочему месту по условиям искусственного освещения следует присвоить класс вредности 3.1.

Та же процедура должна быть проделана при оценке степени вредности по естественному освещению.

Обеспечение требуемой освещенности в помещении и на рабочем месте достигается правильным устройством осветительной установки и правильной ее эксплуатацией (соблюдение сроков чистки светильников, замена перегоревших ламп и ламп со сниженным световым потоком, контроль уровней освещенности).

Неблагоприятные условия для зрительных работ могут возникать не только при пониженной, но и при чрезмерно высокой освещенности. Здесь следует указать, что зрительный анализатор человека реагирует не на освещенность объекта, т.е. не на упавший на него световой поток, а на яркость, т.е. на световой поток, отразившийся от объекта по направлению к глазу. Яркость объекта или поверхности, на которой он рассматривается, тем выше, чем выше их освещенность и отражательная способность.

Даже диффузные поверхности при очень больших освещенностях и достаточно высоком коэффициенте отражения (освещенность выше 5000 лк при коэффициенте отражения более 0,5) могут производить слепящее действие, если размеры таких поверхностей велики, или вызывать состояние зрительного дискомфорта. Неблагоприятное воздействие повышенной яркости может иметь место также при наличии рабочих поверхностей, освещаемых по способу «на просвет»; повышенная яркость света в плоскости экрана средств отображения информации приводит к ухудшению видимости изображения.

Предотвращению отрицательного воздействия повышенной яркости способствуют правильное устройство осветительных установок, соблюдение требуемых уровней освещенности, а также ограничение площади освещаемых или светящихся поверхностей. Наибольшая опасность возникает при освещении поверхностей с направленным или направленно рассеянным отражением в результате зеркального отражения от них световых лучей в направлении глаз работающих, что вызывает ослепленность. То же может иметь место и при наблюдении ярких световых проемов, источников света, световых приборов, светящихся панелей.

Свойство светящихся поверхностей вызывать вследствие чрезмерной яркости зрительный дискомфорт и нарушения деятельности зрительного анализатора называется блескостью, а происходящие при этом психофизиологические сдвиги в виде субъективных жалоб и объективных изменений зрительного аппарата - слепимостью.

При оценке условий труда по фактору освещения разделяют прямую и отраженную блескость. Прямая блескость - это блескость, проявляющаяся при наличии светящихся поверхностей (остекление, от-

крытые источники света, светящие поверхности светильников) в направлении, близком к направлению линии зрения.

Критерием оценки слепящего действия прямой блескости является показатель ослепленности (P) для осветительных установок производственных зданий (или показатель дискомфорта (M) для помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий). Условия труда, при которых показатель ослепленности превышает его нормированное значение - $P > P_{II}$, относятся к 3-му классу 1-й степени вредности (3.1).

Исключение прямой блескости в осветительных установках обеспечивается использованием источников света в осветительной арматуре (использование открытых ламп не допускается), применением светильников с экранирующими отражателями и рассеивателями, соблюдением высоты подвеса светильников. Большое значение для ограничения ослепленности, создаваемой светильниками, имеет защитный угол, создаваемой отражателями, а в светильниках с люминесцентными лампами - также планками экранирующей решетки.

Для снижения инсоляции и слепящей яркости остекления оконных проемов используются солнцезащитные средства: светорассеивающие шторы жалюзи, светозащитные козырьки и т.д.

Другим проявлением слепящего действия больших яркостей является отраженная блескость. Отраженная блескость - это блескость, проявляющаяся при наличии в поле зрения элементов зеркального отражения светящихся поверхностей (работа с металлом, стеклом, пластмассой, работы со средствами отображения информации, с экранами визуального наблюдения).

При наличии отраженной блескости условия труда относятся к 3-му классу 1-й степени вредности (3.1).

В качестве мер для ограничения отраженной блескости служат следующие:

- использование светильников с рассеивателями (желательно применение специальных осветителей уменьшенной яркости и увеличенной площади);

- соответствующее расположение светильников относительно рабочей поверхности - такое, чтобы зеркально отраженные поверхностью лучи не попадали в глаза работающих, т.е. чаще всего должно быть боковое или заднебоковое направление света;

- применение антибликовых покрытий и специальных защитных антибликовых фильтров на экране визуального наблюдения;

- использование матовых покрытий (окраски) рабочих поверхностей и поверхностей оборудования, а также стен помещения, являющихся фоном.

К вредным факторам искусственного освещения газоразрядными источниками света относится пульсация освещенности - изменение освещенности во времени, обусловленное малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток которых пульсирует при переменном токе с удвоенной частотой последнего, т.е. в обычных условиях 100 Гц. Пульсации освещенности неразличимы при фиксировании глазом неподвижных объектов и легко обнаруживаются при рассмотрении движущихся предметов, которые приобретают при этом многократные контуры. При этом возникает также иллюзия искажения характера движения предметов, которые кажутся неподвижными или вращающимися в противоположную сторону.

Явление искажения восприятия движущихся или вращающихся с определенной скоростью объектов наблюдения называется стробоскопическим эффектом и может явиться причиной травм на производстве. Однако пульсации освещенности вредны и при работе с неподвижными объектами - они оказывают неблагоприятное воздействие на центральную нервную систему вызывая развитие тормозных процессов в коре головного мозга, томление зрения и головную боль.

Критерием оценки относительной глубины колебаний освещенности является коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$. При $K_{п}$, превышающем максимально допустимые значения, установленные в нормах ($K_{п} > K_{пв}$), условия труда относятся к 3-му классу 1-й степени вредности (3.1).

Ограничение пульсации до безвредных значений достигается;

- включением ламп по схемам, обеспечивающим питание части ламп в светильнике отстающим, части ламп - опережающим током (для люминесцентных ламп);
- поочередным присоединением соседних в ряду светильников (реже соседних рядов) к разным фазам;
- установкой в одной точке двух или трех светильников на разные фазы;
- питанием различных ламп в многоламповых люминесцентных светильниках от разных фаз;
- использованием в светильниках высокочастотных пускорегулирующих аппаратов (ПРА).

Среди средств индивидуальной защиты от сильного светового потока (например, от слепящего действия вспышки при ядерном взрыве) можно выделить различного вида защитные очки: щелевые очки; защитные экраны; динамические защитные устройства, представляющие собой очки со специальными светофильтрами (подробнее см. в [6.5]).

6.2. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для защиты от инфракрасного излучения (ИКИ) в производственных условиях могут быть использованы коллективные средства защиты и индивидуальные.

Коллективные средства защиты представлены на рис. 6.1.

К основным видам защиты от ИКИ относятся: 1. защита временем; 2. защита расстоянием; 3. экранирование, теплоизоляция или охлаждение горячих поверхностей; 4. увеличение теплоотдачи тела человека; 5. индивидуальные средства защиты; 6. устранение источника тепловыделения.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания работающего в зоне действия излучения. Безопасное время пребывания человека в зоне действия ИК излучения зависит от его интенсивности (плотности потока) и определяется по табл. 6.2.



Рис. 6.1. Классификация средств промышленной теплозащиты

Безопасное расстояние определяется в зависимости от длительности пребывания в рабочей зоне и допустимой плотности ИКИ.

Мощность ИКИ можно уменьшить путем конструкторских и технологических решений (замена режима и способа нагрева изделий и др.), а также покрытием нагреваемых поверхностей теплоизолирующими материалами.

Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. В свою очередь, по степени прозрачности они делятся на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

К первому классу относят металлические водоохлаждающие и футерованные асбестовые, альфалиевые, алюминиевые экраны.

К второму – экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой. Экраны первого и второго классов могут орошаться водяной пленкой.

Таблица 6.2

Время безопасного пребывания людей в зоне ИКИ

Плотность потока ИКИ, Вт/м ²	До 350	500	700	1200	2000	2100
Время пребывания, мин	Не ограничено	20	15	10	5	4,5

К третьему классу относят экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы.

Одним из эффективных коллективных средств защиты от ИКИ является создание определенного термического сопротивления на пути теплового потока в виде экранов различных конструкций – непрозрачных, прозрачных и полупрозрачных.

Непрозрачные экраны. В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют альфоль (алюминиевую фольгу), алюминий листовой, белую жечь, алюминиевую краску. Экран состоит из несущего каркаса, отражающей поверхности и деталей крепления к экранируемому оборудованию (рис. 6.1). Межэкранное пространство при установке нескольких простых одинарных экранов принимается обычно (по конструктивным соображениям) равным 20–25 мм. Уменьшение межэкранного пространства до 5 мм улучшает теплозащитные свойства экранов вследствие устранения конвективного теплообмена между слоями экрана. Теплоотражающие экраны для трубопроводов изготавливаются в виде квадратных коробов или полуци-

линдрических скорлуп, оклеенных внутри альфолем. При температуре трубопровода выше 90°C нужен двойной экран. Достоинством теплоотражающих экранов является высокая эффективность, малая масса, экономичность. Однако применение их ограничивается, так как они не выдерживают высоких температур и механических воздействий. Эффективность экранов ухудшается при отложении на них пыли, сажи и при окислении.

В качестве непрозрачных теплопоглощающих экранов используют металлические заслонки и щиты, футерованные огнеупорным или теплоизоляционным кирпичом, асбестовые щиты на металлической раме, сетке или листе и другие конструкции. Футерованные экраны могут применяться при интенсивности облучения до 10 кВт/м^2 ; асбестовые до 3 кВт/м^2 . Эффективность футерованных экранов равна примерно 30%; асбестовых – 60%. Непрозрачные экраны радиационного охлаждения – это сварные или литые (с замкнутым змеевиком) конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой (см. рис. 6.2). Их можно футеровать с одной стороны. Временные экраны можно изготовлять в виде металлических щитов, орошаемых водой. Футерованные теплоотводящие экраны могут применяться при любых встречающихся в практике интенсивностях облучения, не футерованные – при интенсивностях $5\text{--}14 \text{ кВт/м}^2$, орошаемые щиты – при интенсивностях $0,7\text{--}3,5 \text{ кВт/м}^2$.

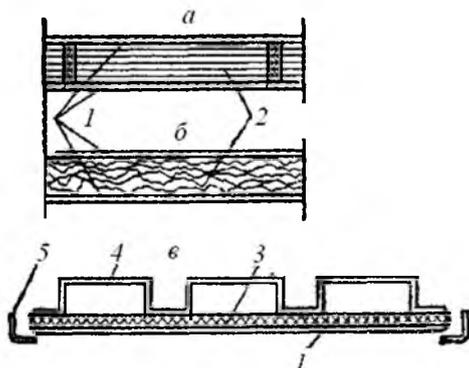


Рис. 6.1. Конструктивные схемы непрозрачных теплозащитных экранов: *a* – экран из альфольа, уложенного рядами в воздушных прослойках; *б* – экран из скомканного альфольа в воздушных прослойках; *в* – комбинированный; *1* – металлический лист; *2* – слой альфольа; *3* – слой из теплоизоляционного металла; *4* – профилированный алюминиевый лист; *5* – рамка

В *прозрачных экранах* излучение распространяется внутри них по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран. Эти экраны изготовляют из различных стекол, применяют также пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу).

Полупрозрачные экраны. Их применяют в тех случаях, когда экран не должен препятствовать наблюдению или вводу через него инструмента, материалов. В качестве полупрозрачных теплопоглощающих экранов используют металлические сетки с размером ячейки 3–3,5 мкм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло.

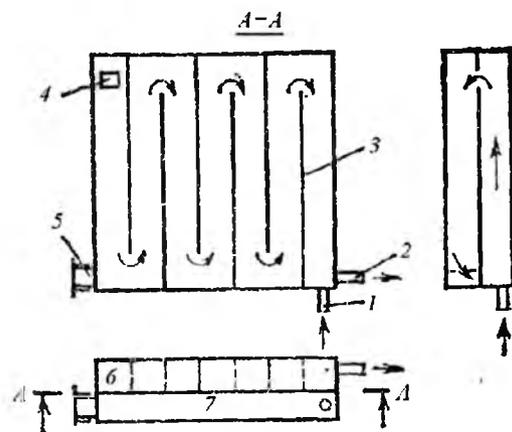


Рис. 6.2. Водо-охлаждаемый экран для радиационного охлаждения и защиты от теплового облучения рабочих мест:

1 – подвод воды; 2 – сток воды; 3 – перегородки; 4 – переливное окно; 5 – труба с водой для промывки экрана; 6 – полость с перегородками; 7 – полость без перегородок

Полупрозрачные экраны объединяют свойства прозрачных и непрозрачных экранов. К ним относятся металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие; теплопоглощающие; теплоотводящие.

Это деление достаточно условно, так как каждый экран обладает способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе определяется тем, какая его способность выражена сильнее.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего значительную часть падающей на них лу-

чистой энергии они отражают в обратном направлении. В качестве теплоотражающих материалов используют альфоль, листовой алюминий, оцинкованную сталь.

Теплопоглощающими называют экраны, выполненные из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов используют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

В качестве теплоотводящих экранов наиболее широко применяются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки, либо орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла или металла.

Поток воздуха, направленный непосредственно на работающего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду. Выбор скорости потока воздуха зависит от тяжести выполняемой работы и интенсивности ИК излучения, но она не должна превышать 5 м/с, так как в этом случае у работающего возникают неприятные ощущения (например, шум в ушах). Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или при подмешивании к нему мелко распыленной воды (водо-воздушный душ).

В качестве индивидуальных средств защиты применяется спецодежда из хлопчатобумажной и шерстяной тканей, из тканей с металлическим покрытием (отражающих до 90% ИК излучения). Для защиты глаз предназначены очки, щиты со специальными стеклами - светофильтрами желто-зеленого или синего цвета.

При оценке теплотехнических качеств различных средств защиты от инфракрасного излучения используются следующие основные нормативные документы:

-ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

-ГОСТ 12.4.123-83. ССБТ. Средства защиты от инфракрасного излучения. Классификация. Общие технические требования.

-ГОСТ 12.4.123-83 «Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования».

К числу мероприятий, способных ослабить вредное действие теплового излучения, относятся:

а) механизация работ, направленная на то, чтобы работники меньше подвергались тепловому облучению;

- б) устройство у тепловыделяющих производственных источников цепных или водяных завес;
- в) применение экранов из материалов, обладающих малой теплопроводностью;
- г) осуществление аэрации горячих цехов;
- д) устройство специальных комнат отдыха, а также душей, снабжение работников подсоленной газированной водой (3 г соли на 1 л воды);
- е) применение такой организации труда, которая допускает чередование лиц, работающих в сильно облучаемых местах;
- ж) обязательное применение специальных очков для защиты от инфракрасного излучения.

Лечебно-профилактические мероприятия предусматривают организацию рационального режима труда и отдыха. Длительность перерывов в работе и их частота определяются интенсивностью ИК излучения и тяжестью работы. Наряду с периодическими проверками проводятся медосмотры с целью профилактики профессиональных заболеваний.

Выбор теплозащитных средств в каждом отдельном случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. Установленные в цехе теплозащитные средства должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания; не затруднять осмотр, чистку, смазку агрегатов; обеспечивать полную гарантию безопасности работы; обладать необходимой прочностью; иметь минимальные эксплуатационные расходы.

Теплозащитные средства должны обеспечивать тепловую облученность на рабочих местах не более $0,350 \text{ кВт/м}^2$ и температуру поверхности оборудования не выше 308 К (35°C) при температуре внутри источника теплоты до 373 К (100°C) и не выше 318 К (45°C) при температуре внутри источника теплоты выше 373 К.

Теплоизоляция поверхностей. Теплоизоляция горячих поверхностей (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее выделение теплоты, так и лучистую его часть. Кроме улучшения условий труда теплоизоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижает расходы топлива (электроэнергии, пара) и приво-

дит к увеличению производительности агрегатов, Следует иметь в виду, что теплоизоляция, повышая рабочую температуру изолированных элементов, может резко сократить срок их службы. Решение о теплоизоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры изолированных элементов. Если она окажется выше предельно допустимой, защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами.

Таблица 6.3

Теплофизические свойства теплоизоляционных материалов

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Максимальная температура	Значения коэффициентов в уравнении $\lambda = a + bT$, Вт/(м·К)	
			$c \cdot 10^{-1}$	$a \cdot 10^{-3}$
Алюминиевая фольга при толщине воздушных слоев 0,01 м	20–40	350	0,07	0,085
Асбест распушенный	250	220	0,3896	0,197
	340	–	0,215	0,24
	650	–	0,581	0,19
	800	700	0,781	0,19
Асбестовый матрац, заполненный: совелитом; стекловолокном; вермикулитом. Асбестовая ткань в несколько слоев	280	450	0,553	0,116
	200	450	0,07	0,21
	220	450	0,179	0,23
	500–600	450	0,579	0,255
Асбестовый картон	900	–	1136	0,17
Войлок: строительный; отеплительный	230	900	0,005	0,262
	200	100	0,003	0,186
	100	100	0,0033	0,19
Асбестовермикулитовые изделия (плиты, сегменты, скорлупы). Вермикулит вспученный в засыпке (зонолит)	250	600	0,179	0,23
	300	600	0,248	0,23
	350–380	750	0,4005	0,15
	0			
Диатомит молотый	400–500	800	0,146	0,28

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Максимальная температура	Значения коэффициентов в уравнении $\lambda = a + bT$, Вт/(м·К)	
			$c \cdot 10^{-1}$	$a \cdot 10^{-3}$
Диатомитовые изделия (кирпич, скорлупы, сегменты)	400–500	800	0,146	0,28
	0	900	0,411	0,232
	500			
корундовые (алундовые); циркониевые; карборундовые (карбофакс); графитовые	2600	1700	15,713	1,9
	3300	1800	11,253	0,64
	2600	1500	18,27	10,0
	1600	2000	151,8	41,0
Кирпич; диносовый; магнезитовый; хромитовый; шамотный; пеношамотный	1950	1700	0,709	0,7
	2800	1700	4,186	1,7
	3100	1700	11,88	0,41
	1900	1450	6,672	0,6
	600	1150	0,604	0,145
	950	1350	2,172	0,23
Минеральная вата в набивку под сетку	230	600	0,027	0,186
Минераловатные прошивные маты: на металлической сетке; на стеклоткани	200	600	0,027	0,186
	260	300	0,073	0,186
Перлит вспученный в засыпке	180	900	0,263	0,116
Перлитовые изделия на керамической связке (плиты, сегменты, скорлупы)	250	900	0,189	0,186
	300	900	0,247	0,186
	350	900	0,363	0,186
	400	900	0,479	0,186
То же, на цементной связке	250	600	0,212	0,186
	300	600	0,247	0,186
	350	600	0,305	0,186
	400	600	8,363	0,186
Совелит	250	500	0,664	0,087
Совелитовые изделия (плиты, сегменты, скорлупы)	350	500	0,247	0,186
Торфоизделия	400	500	0,271	0,186
	275	100	0,226	0,151
	350	100	0,342	0,151

Ассортимент теплоизоляционных материалов разнообразен. Обычно для теплоизоляции применяются материалы, теплопроводность которых при температурах 50-100°С меньше 0,2 Вт/(м·К). При выборе материала для теплоизоляции необходимо принимать во внимание механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. Если температура изолируемого объекта высокая, то обычно применяется многослойная изоляция: сначала ставится материал, выдерживающий высокую температуру (так называемый высокотемпературный слой), а затем уже более эффективный материал с точки зрения теплоизоляционных свойств. При этом толщина «высокотемпературного слоя» выбирается из условий, чтобы температура на его поверхности не превышала предельную температуру применения следующего слоя. В табл. 6.3 приведены значения теплопроводности и максимальной температуры различных теплоизоляционных материалов и конструкций.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. Мастичная изоляция осуществляется путем нанесения на горячую поверхность изолируемого объекта изоляционной мастики. Мастичную изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации. Оберточная изоляция изготавливается из волокнистых материалов – асбестовая ткань, минеральная вата, войлок и др. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов. Засыпную изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах там, где требуется большая толщина изоляционного слоя или при изготовлении теплоизоляционных панелей.

Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями, скорлупами применяют для облегчения работ. Смешанная изоляция состоит из нескольких слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышения долговечности изоляции под кожухом.

Исходными данными для расчета толщины теплоизоляции являются: температура сред (t' и t'') разделяемых теплоизоляционной перегородкой, допустимая температура на поверхности изоляции t_d и геометрические размеры теплоизолируемой поверхности (площадь поверхности F , м²).

При расчете теплоизоляции следует придерживаться следующего порядка. Сначала устанавливают допустимые тепловые потери объекта при наличии изоляции. Затем выбирают материал изоляции и, задавшись температурой изолируемой поверхности, определяют значение теплопроводности λ_i (см. табл. 6.3). Зная температуры на внутренней и внешней поверхностях изоляции и значение теплопроводности, определяют требуемую толщину изоляции. После этого производят поверочный расчет и определяют значения средней температуры изоляционного слоя и температуры на разделе поверхностей.

Тепловые потери Q в условиях стационарного теплового потока в многослойной плоской теплоизоляции

$$Q = \frac{(t' - t'')F}{\frac{1}{\alpha'} + \frac{1}{\alpha''} + \sum \frac{\delta_{uzi}}{\lambda_i}}, \text{ Вт}, \quad (6.1)$$

где α' и α'' – коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя к стенке и от внешней поверхности изоляции к окружающей среде, Вт/(м²·К); δ_{uzi} – толщина i -го слоя теплоизоляции, м; λ_i – теплопроводность i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м·К).

Температура t_m в стыке слоев $m-1$ и m

$$t_m = t' - \frac{Q}{F} \left[\frac{1}{\alpha'} + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\lambda_i}{\delta_{uzi}} \right)^{-1} \right], \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (6.2)$$

Для условий стационарного потока в цилиндрической теплоизоляции длиной l_y (м) из n слоев

$$Q = \frac{(t' - t'')l_y}{\frac{1}{\alpha' \pi d_1} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha'' \pi d_{n+1}}}, \quad (6.3)$$

$$t_m = t' - \frac{Q}{l_y} \left(\frac{1}{\alpha' \pi d_1} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right), \quad (6.4)$$

где d_i – диаметр i -го слоя изоляции, м.

Определение коэффициентов теплоотдачи связано с рядом трудностей. При ориентировочных расчетах термическим сопротивлением теплоотдачи от горячей жидкости к стенке и самой стенки можно пренебречь. Тогда температуру изолируемой поверхности можно принять равной температуре горячей жидкости и теплообмен будет определяться только термическим сопротивлением изоляции и теплоотдачей от внешней поверхности изоляции к окружающей среде.

Теплозащитные экраны. Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. Кратность ослабления теплового потока m при установке n экранов со

степенью черноты $\epsilon_{\text{Э}}$ и пренебрежимо малыми термическими сопротивлениями $R_{\text{Э}i} = \delta_{\text{Э}i} / \lambda_{\text{Э}i}$ определяется по формуле

$$m = \frac{E_1}{E_2}, \quad m = \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{1,\text{Э}}} (n+1), \quad (6.5)$$

где E_1 и E_2 – интенсивность теплового излучения на рабочем месте до и после установки экранов соответственно; $\epsilon_{1,2}$ и $\epsilon_{1,\text{Э}}$ – приведённая степень черноты соответственно источника и рабочего места и источника и экрана.

Эффективность установки теплозащитного экрана оценивается долей задержанной теплоты и определяется по формуле

$$\eta_{\text{Э}} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = 100 \frac{m-1}{m}, \quad \% \quad (6.6)$$

Металлические сетки применяют при интенсивностях облучения до $0,35-1,05 \text{ кВт/м}^2$. Эффективность экранов из сетки: один слой – 33–50, два слоя – 57–74%.

Цепные завесы применяют при интенсивностях облучения $0,7-5 \text{ кВт/м}^2$. Эффективность цепной завесы около 70%. Для повышения эффективности можно применять орошение завесы водяной пленкой и устраивать двойные экраны.

Армированное стальной сеткой стекло применяют для экранирования тех поверхностей кабин и пультов управления, которые должны пропускать видимый свет, но четкого различения объектов через них не требуется. Допустимая интенсивность облучения и эффективность экранов из армированного стекла такая же, как и у цепной завесы. Эффективность экрана может быть повышена орошением водяной пленкой и устройством двойного экрана.

Полупрозрачные теплоотводящие экраны выполняют в виде металлических сеток, орошаемых водяной пленкой, или паровой завесы. Эти экраны имеют коэффициент эффективности до 75% и применяют при интенсивностях облучения 0,7–2,1 кВт/м².

Прозрачные экраны. Для изготовления поглощающих прозрачных экранов используют различные бесцветные или окрашенные стекла (силикатные, кварцевые, органические). Для повышения эффективности применяют двойное остекление с вентилируемой воздушной прослойкой.

Стекла всех теплозащитных экранов обладают спектральной селективностью, и поэтому их эффективность в большой степени зависит от спектрального состава излучения. При длине волны излучения более 5 мкм для защиты может быть использовано обычное оконное стекло толщиной 1 мм. При длине 2,8–5 мкм требуется бесцветное стекло толщиной 5 мм. При длине волны в диапазоне 0,78–2,8 мкм требуется применять теплозащитное стекло толщиной 5–6 мм.

Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника излучения теплоты (см. рис. 6.4). Наибольшую эффективность при температуре до 1100 °С имеет органическое стекло толщиной 6–8 мм. Выше этой температуры - закаленное стекло, окрашенное в массу, со светопропусканием 40%. Данные об эффективности теплозащиты, приведенные на рис. 3.3, определены при условии периодически отсутствующего теплового потока (нестационарный процесс нагрева). Если тепловой поток действует на стекло постоянно, то эффективность теплозащиты снижается в среднем на 10 % по сравнению с периодически действующим потоком.

Расчет экранов. Температуру внутренней (обращенной к источнику) поверхности экрана $T_{Э1}$ рассчитывают по формуле

$$T_{Э1} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{Н,Э} T_{Н,П}^4 + T_{В}^4}{1 + \varepsilon_{Н,Э}}}, \text{ } 0 \text{ } K, \quad (6.7)$$

где $\varepsilon_{H,\text{Э}}$ – приведенная степень черноты наружной поверхности источника и экрана; $T_{H,\text{П}}$ – температура экранируемой поверхности источника, $^{\circ}\text{K}$; $T_{\text{В}}$ – среднее значение температуры воздуха в рабочей зоне, $^{\circ}\text{K}$.

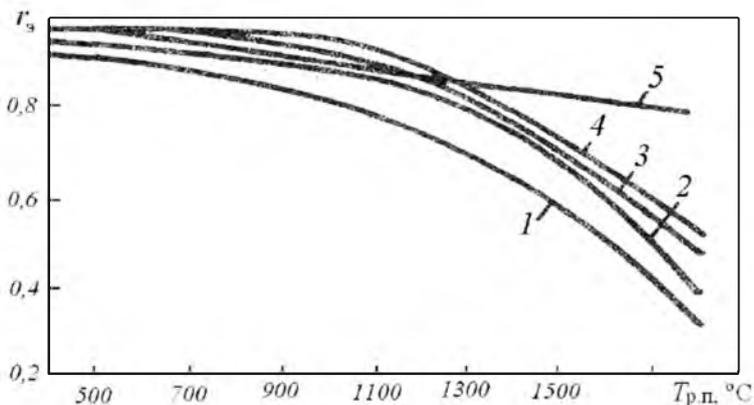


Рис. 6.3. Эффективность теплозащиты стекол $r_{\text{э}}$ в зависимости от температуры $T_{\text{р.п}}$ источника излучения (рабочего пространства печи): 1 – силикатного стекла; 2 – силикатного стекла со стальной сеткой; 3 – органического стекла; 4 – стекла с пленочным покрытием (светопропускание 80%); 5 – закаленного окрашенного стекла (светопропускание 40 %)

Формула (6.7) справедлива при условии, что поступление теплоты на экран из цехового пространства мало и им можно пренебречь. При расчете температуры экрана необходимо обращать внимание на определение приведенной степени черноты, которая зависит от степени черноты каждого материала и может внести в формулу наибольшую ошибку. Применять формулу (6.7) для расчета температуры экрана можно только для металлических листов без теплоизоляции. Если металлические экраны будут использоваться с теплоизоляцией, то температура их наружной поверхности будет ниже.

Конструкция экрана должна обеспечивать свободный восходящий поток воздуха в межэкранном пространстве, чтобы максимально использовать охлаждающее действие конвективных потоков.

Температура наружной поверхности экрана, согласно требованиям ГОСТ 12.4.123–83, не должна превышать 45 °С (318 °К). Исходя из этого условия, необходимое число экранов определяют по формуле

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_B}{T_{H,П}}\right)^4}{\left(\frac{T_{Э1}}{T_{H,П}}\right)^4 - \left(\frac{T_B}{T_{H,П}}\right)^4} \cdot \frac{\varepsilon_{Э,В}}{\varepsilon_{H,В}} - 1, \quad (6.8)$$

где $\varepsilon_{Э,В}$ и $\varepsilon_{H,В}$ – приведенная степень черноты соответственно экрана и рабочего места и источника и рабочего места.

Экранирование источника теплового излучения приводит к некоторому повышению температуры последнего вследствие отражательной способности экрана. Это повышение записывается эмпирической формулой

$$\Delta t = 2,1 t_{H,П}^{0,65}, \quad (6.9)$$

где $t_{H,П}$ – температура неэкранированной поверхности, °С.

Расход воды на охлаждение теплоотводящих экранов определяется из теплового баланса экрана

$$G = 0,93 \cdot 10^{-8} \frac{c_0 \varepsilon_{H,В} (T_{H,П}^4 - T_{Э}^4)}{t_{ВХ} - t_{ВЫХ}} F, \quad (6.10)$$

где $0,93 \cdot 10^{-8}$ – коэффициент, учитывающий неполноту поглощения падающего на экран теплового излучения; $T_{Э}$ – температура поверхности экрана, °К; $t_{ВХ}$ и $t_{ВЫХ}$ – температура входящей и выходящей воды, °С.

Температура входящей воды не должна превышать 35–50°С (в зависимости от жесткости).

Конструктивная схема экрана и место его установки определяются технологическим процессом. Лучшими являются экраны, которые составляют часть конструкции агрегата.

Воздушное душирование. При воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 0,35 кВт/м² и более, а также 0,175–0,35 кВт/м² при площади излучающих поверхностей в пределах

рабочего места более $0,2 \text{ м}^2$ применяют воздушное душирование (подача приточного воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место). При интенсивности облучения свыше $2,1 \text{ кВт/м}^2$ воздушный душ не может обеспечить необходимого охлаждения. В этом случае следует по возможности уменьшить облучение, предусматривая теплоизоляцию, экранирование и другие мероприятия, или проектировать устройства для периодического охлаждения рабочих (радиационные кабины, комнаты отдыха). Воздушное душирование устраивается также и при производственных процессах с выделением вредных газов или паров, если невозможно применение местных укрытий и отсосов.

Воздушное душирование устраивают для мест длительного пребывания рабочего, а также в местах кратковременного отдыха.

Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом охлаждаемого тела.

Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или под углом 45° , а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом 45° .

Поток воздуха на выходе из душирующего патрубка должен иметь равномерную скорость и одинаковую температуру. Расстояние от кромки душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м. При фиксированных рабочих местах расчетную ширину рабочей площадки принимают равной 1 м.

При душировании фиксированных рабочих мест наружным или охлажденным внутренним воздухом следует применять цилиндрические насадки или поворотные душирующие патрубки.

Оборудование мест отдыха. Для ускоренного восстановления физиологических показателей всех работающих в горячих цехах устраивают специально оборудованные места отдыха. Для рабочих основных профессий горячих цехов (литейных, кузнечно-прессовых и термических) следует устанавливать стационарные комнаты отдыха. Для ремонтных рабочих, обслуживающих металлургические агрегаты (печи, регенераторы, ковши), устраивают переносные комнаты. В стационарной комнате отдыха следует предусматривать радиационное охлаждение посредством автоматической фреоновой холодильной установки, кондиционирование воздуха, звукоизоляцию стен и потолка.

Переносная комната отдыха должна иметь радиационное охлаждение стен, осуществляемое мелкодисперсным охлаждением воды. В ней должен быть и осевой вентилятор. Включать установку мелкодисперсного распыления воды и вентиляторы следует только в период нахождения в ней работающих.

Место отдыха в горячих цехах отделяется от цеха стеклоблоками; для него отводится площадь 2×3 м высотой 2,3 м. Для устранения воздушной тепловой подушки в перекрытии следует выполнять естественную вытяжку, которая обеспечит необходимую подвижность воздуха в помещении для отдыха и снизит температуру под потолком на $5-7^{\circ}\text{C}$.

На рис. 6.4 показана организация места отдыха у питьевой точки с радиационным охлаждением.

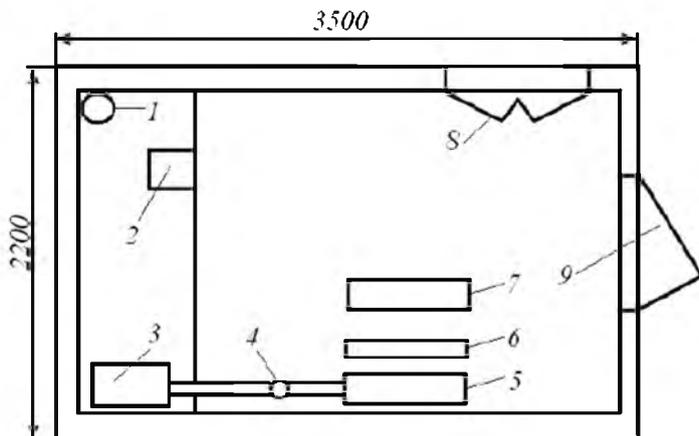


Рис. 6.4. Место отдыха с радиационным охлаждением и окном:
 1 – баллон с углекислым газом; 2 – сатуратор; 3 – бак для охлаждения воды;
 4 – фонтанчик; 5 – панель радиационного охлаждения; 6 – скамья; 7 – стол;
 8 – окно; 9 – дверь

6.3. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Снижение интенсивности от ультрафиолетового излучения (УФИ) достигается защитой «расстоянием», экранированием рабочих мест; средствами индивидуальной защиты; специальной окраской помещений и рациональным размещением рабочих мест.

Защита расстоянием - удаление обслуживающего персонала от источников УФИ. Расстояния, на которых уровни УФИ не представляют опасности для рабочих, определяются только экспериментально в каждом конкретном случае в зависимости от условий работы, состава производственной атмосферы, вида источника излучения, отражающих свойств, конструкций помещения и оборудования и т.д.

Экранирование источников излучений является наиболее рациональным методом защиты. В качестве материалов экрана могут применяться различные материалы и светофильтры, не пропускающие или снижающие интенсивность излучений. С целью защиты рабочие места, на которые падает УФИ, ограждаются ширмами, щитками либо устраиваются кабины.

Стены и ширмы в цехах окрашивают в светлые тона с добавлением в краску оксида цинка. Кабины изготовляют высотой 1,8-2 м, причём их стенки не должны доходить до пола на 25-30 см для улучшения проветривания кабин.

Для защиты от УФИ обязательно применяются средства индивидуальной защиты, которые состоят из спецодежды, рукавиц, фартука из специальных тканей, щитка со светофильтром, соответствующего определённой интенсивности излучения.

Для защиты глаз, например при ручной электросварке, применяют светофильтры. Для защиты кожи от УФИ применяются мази, содержащие вещество, служащее светофильтрами для этих излучений (салол, салицилово-метилловый эфир и пр.), а также спецодежда, изготовляемая из льняных и хлопчатобумажных тканей с искростойкой пропиткой и из грубошёрстных сукон. Для защиты рук от воздействия УФИ применяют рукавицы.

Для лечебных целей и обеззараживания помещения используют эритемные лампы с ультрафиолетовым излучением в диапазоне длины волны 280-315 нм. Эритемные лампы рекомендуется использовать в районах Севера (Мурманск, Верхоянск), в мегаполисах с загрязнённым воздухом (Москва); в помещениях с коэффициентом естественного освещения менее 0,5 %.

6.4. ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.4.1. ПРОФИЛАКТИКА ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Защиту от лазерного излучения (ЛИ) осуществляют техническими, организационными и лечебно-профилактическими методами и средствами.

К *организационно-техническим методам* относятся: выбор, планировка и внутренняя отделка помещений; рациональное размещение лазерных технологических установок; порядок обслуживания установок; использование минимального уровня излучения для достижения поставленной цели; организация рабочего места; применение средств защиты; ограничение времени воздействия излучения; назначение и инструктаж лиц, ответственных за организацию и проведение работ; ограничение допуска к проведению работ; организация надзора за режимом работ; четкая организация противоаварийных работ и регламентация порядка ведения работ в аварийных условиях; инструктаж, плакаты; обучение персонала.

Санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические методы включают: контроль за уровнями опасных и вредных факторов на рабочих местах; контроль за прохождением персоналом предварительных и периодических медицинских осмотров.

Производственные помещения, в которых эксплуатируются лазеры, должны отвечать требованиям действующих санитарных норм и правил. Лазерные установки размещают таким образом, чтобы уровни излучения на рабочих местах были минимальными.

Средства защиты от ЛИ должны обеспечивать предотвращение воздействия или снижение величины излучения до уровня, не превышающего допустимый. По характеру применения средства защиты подразделяются на средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Надежные и эффективные средства защиты способствуют повышению безопасности труда, снижают производственный травматизм и профессиональную заболеваемость. К СКЗ от ЛИ относятся ограждения, защитные экраны, блокировки и автоматические затворы, кожухи и др. СКЗ должны предусматриваться на стадии проектирования и монтажа лазеров (лазерных установок), при организации рабочих мест, при выборе эксплуатационных параметров. Выбор средств защиты должен производиться в зависимости от класса лазера (лазерной уста-

новки), интенсивности излучения в рабочей зоне, характера выполняемой работы. Показатели защитных свойств средств защиты не должны снижаться под воздействием других опасных и вредных факторов (вибрации, температуры и т.д.). Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность смены основных элементов (светофильтров, экранов, смотровых стекол и пр.).

СИЗ от ЛИ включают защитные очки, щитки, маски и др. Они применяются с учетом длины волны ЛИ, класса, типа, режима работы лазерной установки, характера выполняемой работы. СИЗ для защиты глаз и лица (защитные очки и щитки), снижающие интенсивность ЛИ до ПДУ, должны применяться только в тех случаях (пусконаладочные, ремонтные и экспериментальные работы), когда коллективные средства не обеспечивают безопасность персонала.

При работе с лазерами должны применяться только такие средства защиты, на которые имеется нормативно-техническая документация, утвержденная в установленном порядке.

Для контроля и определения плотности энергии и мощности существуют приборы, использующие калориметрический и фотометрический методы. Калориметрический метод основан на поглощении энергии излучения и превращении ее в тепловую, а фотометрический - на преобразовании энергии излучения и преобразовании энергии потока излучения в электрическую энергию.

Для измерения характеристик лазерного излучения применяются дозиметры типа ИЛД-2М и ЛДМ-2. Первый обеспечивает измерение параметров лазерного излучения в спектральных диапазонах 0,49-1,15 и 2-11 мкм, он дает прямые показания измеряемых параметров при работе на длинах волн 0,53; 0,63; 0,69; 1,06 и 10,6 мкм. На остальных длинах волн (0,49-1,15 мкм) дозиметр обеспечивает косвенные измерения. Прибор ЛДМ-2 предназначен для определения параметров лазерного излучения в спектральных диапазонах 0,49-1,15 и 2-11 мкм. Прямые измерения этот дозиметр осуществляет на длинах волн 0,53; 0,63; 0,69; 0,91; 1,06 и 10,6 мкм.

6.4.2. РАСЧЁТ БЕЗОПАСНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

На характер и степень производимого вредного действия оказывают влияние многие факторы: направленность лазерного луча, длительность импульса излучения, пространственное распределение энергии в луче, различия в структуре различных участков сетчатки и ее

пигментации, а также особенности фокусировки каждого отдельного глаза. Особенно опасно, если лазерный луч пройдет вдоль зрительной оси глаза.

В ряде случаев имеет место воздействие как прямого, так и зеркально отраженного лазерного излучения на отдельные органы человека, а также диффузно отраженного излучения на организм человека в целом. Результатом такого воздействия в ряде случаев оказываются различные функциональные изменения центральной нервной системы, эндокринных желез, увеличение физического утомления и др.

Для других типов оптических квантовых генераторов и режимов их работы необходимо полностью исключить воздействие ЛИ на персонал при помощи защитных средств.

Для количественной оценки прямого и отраженного излучения и определения зон безопасности вокруг лазерных установок можно использовать обычные формулы лучевой оптики. Необходимо при этом иметь в виду, что защита расстоянием мало эффективна ввиду слабого расхождения лазерного луча.

Для оценки опасности действия ЛИ в производственных условиях необходимо провести расчет лазерно-опасной зоны.

Расчет границ лазерно-опасной зоны. Лазерно-опасная зона (ЛОЗ) – это часть пространства, в пределах которого уровень ЛИ превышает ПДУ. Методы расчета границы ЛОЗ зависят от длины волны излучения.

Уравнение, определяющее границу ЛОЗ, имеет вид

$$|\vec{S}(\vec{R})| \tau = H_{\text{ПДУ}} \quad (6.11)$$

где $\vec{S}(\vec{R})$ - вектор Пойнтинга в точке с радиусом-вектором (\vec{R}) .

Расчет границы ЛОЗ при воздействии излучения на кожу и при воздействии излучения УФ- ($180 < \lambda \leq 380$ нм) и дальнего ИК-диапазонов спектра ($1400 < \lambda \leq 10^5$ нм) на глаз.

Для источника с равномерным распределением энергетической светимости уравнение, определяющее границу ЛОЗ, имеет вид

$$R(\theta) = r \left[-\cos 2\theta + \sqrt{\cos^2 2\theta + \frac{(U^2 - 1) \cdot (U^2 \cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{U^2 - \sin^2 \theta}} \right]^{1/2}, \quad (6.12)$$

где θ - угол между нормалью к поверхности источника и направлением на рассматриваемую точку пространства; r - радиус пучка излучения, см; U - безразмерный параметр, вычисляемый по формулам в зависимости от длины волны:

При воздействии ЛИ на кожу и при воздействии излучения УФ ($180 < \lambda \leq 380$ нм)

$$U = \frac{W_{\Sigma}}{(\pi \cdot r^2 \cdot H_{\Sigma})} \quad (6.13)$$

где W_{Σ} - энергия, генерируемая лазером за рабочий день, Дж; H_{Σ} - предельно допустимый уровень суммарной энергетической экспозиции (табл. 6.4), Дж/см² r - радиус пучка (источника) излучения, см.

Таблица 6.4

Значения H_{Σ} для различных длин волн

λ , мкм	От 0,2 до 0,21	Св. 0,21 до 0,215	Св. 0,215 до 0,29	Св. 0,29 до 0,3	Св. 0,3 до 0,37	Св. 0,37 до 0,4
H_{Σ} , Дж/см ²	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$

При воздействии ЛИ дальнего ИК-диапазонов спектра ($1400 < \lambda \leq 10^5$ нм)

$$U_k = \frac{W_o}{(\pi \cdot r^2 \cdot H_{пду} \cdot k_1)} \quad (6.14)$$

где W_o - энергия, генерируемая лазером за время однократного воздействия, Дж; $H_{пду}$ - предельно допустимый уровень энергетической экспозиции, Дж/см² (табл. 6.5); r - Радиус пучка (источника) излучения, см; K_1 - коэффициент, зависящий от частоты повторения импульсов и длительности серии импульсов, приведен в табл. 6.6

При $U \gg 1$ уравнение для определения границы ЛОЗ имеет вид

$$R(\theta) = r \cdot \sqrt{U \cdot \cos \theta} \quad (6.15)$$

Источники с гауссовским распределением энергетической светимости при значении параметра $U > 30$ можно рассматривать как источники с равномерным распределением энергетической светимости и расчет границ ЛОЗ проводить по формулам (6.2 или 6.5).

Расчет границы ЛОЗ при воздействии излучения ближнего ИК диапазона спектра ($750 < \lambda \leq 1400$ нм) на глаз

Для расчета вводят безразмерный параметр U_p , равный

$$U_p = \frac{r^2}{0,16} U_n \quad (6.16)$$

где r_3 - радиус зрачка глаза, см; U_n - безразмерный параметр, вычисляемый по формуле

$$U_n = \frac{W_0}{\left(\pi \cdot r^2 \cdot H_{ПДУ}(\tau_u) \cdot k_2 \right)} \quad (6.17)$$

W_0 - энергия, генерируемая лазером за время однократного воздействия, Дж; $H_{пду}(\tau_u)$ - предельно допустимый уровень энергетической экспозиции для различных длин волн в зависимости от длительности одиночного импульса излучения, Дж/см² (табл. 6.8); K_2 - значения коэффициента в зависимости от частоты повторения импульсов и длительности серии импульсов приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.5

ПДУ энергетической экспозиции роговицы глаза ЛИ $H_{пду}$, Дж/см², с длиной волны свыше 1,4 мкм и кожи свыше 0,4 мкм в зависимости от длины волны λ и длительности импульсов τ

τ, c	$\lambda, \text{мкм}$				
	От 0,4 до 0,73	Св. 0,73 до 2,4	Св. 2,4 до 5,6	Св. 5,6 до 9,3	Св. 9,3 до 20
10^{-9}	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
10^{-8}	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
10^{-7}	$8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
10^{-6}	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
10^{-5}	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$
10^{-4}	$1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
10^{-3}	$4 \cdot 10^{-1}$	2	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$
10^{-2}	1	5	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
10^{-1}	1	$2 \cdot 10^1$	2	$2 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$
10^0	10	$6 \cdot 10^1$	6	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
10^1	4 10	$2 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^1$	2	$8 \cdot 10^{-1}$
10^2	$2 \cdot 10^2$	10^3	10^2	10	4
10^3	$8 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
10^4	$4 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^1$
$3 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$

Таблица 6.6

Значения коэффициента K_1

Длительность серии импульсов τ , с	Значения коэффициента K_1				
	До 2	Св. 2 до 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 100	Св.100 до 250
0,1	1	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
1,0	1	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
10	1	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
100	1	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
1000	1	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$
10000	1	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
$3 \cdot 10^4$	1	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Таблица 6.7

Поправочный коэффициент K_2

Длительность серии импульсов τ , с	Поправочный коэффициент K_2				
	До 2	Св. 2 до 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 100	Св.100 до 250
0,1	1	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
1,0	1	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
10	1	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
100	1	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$
1000	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
10000	1	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
$3 \cdot 10^4$	1	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Радиус зрачка зависит от фоновой освещенности роговицы глаза $E_{\text{ф}}$. Значение r , можно определить по следующим данным (табл. 6.8).

Таблица 6.8

$E_{\text{ф}}$, лк	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-1}$	8	100	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$
r , см	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1

При значении безразмерного параметра $U_p \geq 4 \cdot 10^6$ границу ЛОЗ вычисляют по формуле

$$R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p \cdot \cos \theta} \quad (6.18)$$

При $U_p < 4 \cdot 10^6$ расчет границы ЛОЗ проводят по формуле

$$R(\theta) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot r \cdot U_p \sqrt{\cos \theta} \quad (6.19)$$

Расчет границы ЛОЗ при воздействии излучения видимого диапазона спектра ($380 < \lambda \leq 750$ нм) на глаз

Для излучения видимого диапазона спектра при расчете границы ЛОЗ учитывают опасность излучения, выражающуюся в виде первичных и вторичных эффектов. За границу ЛОЗ в этом случае принимают максимальное значение $R(\theta)$.

Для расчета ЛОЗ необходимо определить безразмерные параметры: U_p – по формуле (6.16);

$$\psi = \frac{(10^2 \cdot E_{\phi} \cdot U_n)}{U_{\sigma}} \quad (6.20)$$

где U_n – безразмерный параметр, учитывающий первичные биологические эффекты, определяется по формуле (6.17); U_{σ} – безразмерный параметр с учетом вторичных биологических эффектов. Определяется по формуле (6.21):

$$U_{\sigma} = \frac{W_o \cdot n}{(\pi \cdot r^2 \cdot H_2)} \quad (6.21)$$

где W_o – энергия, генерируемая лазером за время однократного воздействия, Дж; n – количество воздействий излучения на глаз за рабочий день; определяется по формуле $n = T \cdot f$, где T – время работы лазерной установки за рабочую смену; f – частота импульса; $H_{ПДУ}(\lambda)$ – значения ПДУ для различных длин волн приведены в табл. 6.9.

При расчете ЛОЗ используются формулы, указанные на схеме рис. 6.5.

Кривая на рис. 6.1 показывает зависимость параметра ψ от U_p (угол $\theta=0$ и 80°), при котором степень опасности излучения по первичным эффектам равна степени опасности излучения по вторичным биологическим эффектам.

Таблица 6.9

Значения $H_{\text{ПДУ}}(\lambda)$ для различных длин волн

λ , мкм	От 0,4 до 0,44	Св. 0,44 до 0,48	Св. 0,48 до 0,62	Св. 0,62 до 0,67	Св. 0,67 до 0,71	Св. 0,71 до 0,73
$H_{\text{ПДУ}}(\lambda)$ Дж/см ²	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$

При $U_p > 6 \cdot 10^3$ источники излучения с гауссовским распределением энергетической светимости можно рассматривать как источники с равномерным распределением энергетической светимости.

При $U_p < 6 \cdot 10^3$ необходимо численно решать уравнения вида (6.11) после подстановки в них выражения для $\bar{S}(\bar{R})$ и ПДУ энергетической экспозиции роговицы глаза.

Таблица 6.10

ПДУ энергетической экспозиции $H_{\text{ПДУ}}(\tau, \alpha)$, Дж/см², на роговице глаза в зависимости от длительности импульсов τ и длины волны излучения λ при угловом размере источника излучения $\alpha = 10^{-3}$ рад и максимальном диаметре зрачка глаза $d_z = 0,8$ см

τ , с	От 0,4 до 0,42	Св. 0,42 до 0,45	Св. 0,45 до 0,90	Св. 0,90 до 1,10	Св. 1,10 до 1,20	Св. 1,20 до 1,30
10^{-9}	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
10^{-8}	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
10^{-7}	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
10^{-6}	$3 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$
10^{-5}	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
10^{-4}	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
10^{-3}	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
10^{-2}	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$
10^{-1}	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
0,25	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
10^0	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
10^1	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
10^2	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
10^3	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
10^4	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
$3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$

При написании главы 7 использованы материалы, опубликованные в [6.1-6.12].

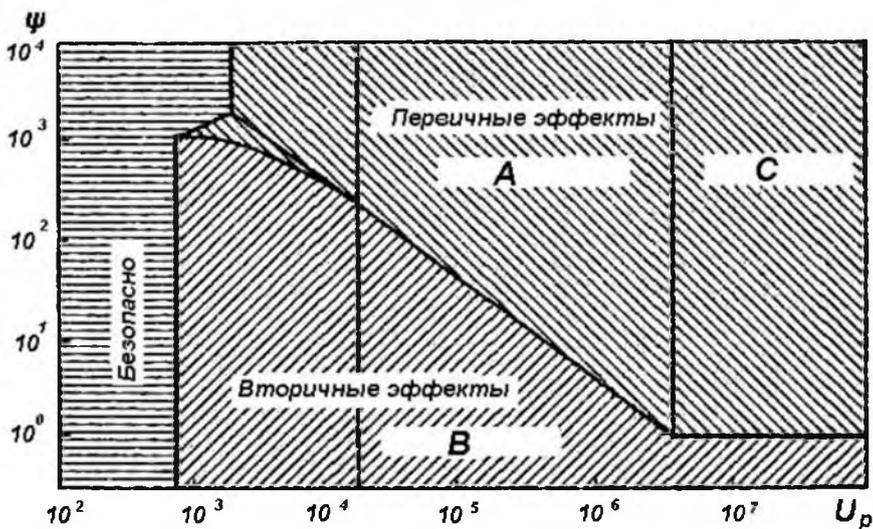


Рис. 6.5. Схема к расчету границы лазерно-опасной зоны при воздействии излучения видимого диапазона спектра на глаз:

А - $R(\theta) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot r \cdot U_p \sqrt{\cos \theta}$; В - $R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p / \psi \cdot \cos \theta}$; С - $R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p \cdot \cos \theta}$

РАЗДЕЛ II. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

По своему назначению защита от физических полей и излучений: ионизирующих и неионизирующих излучений, виброакустических колебаний может быть коллективной, предусматривающей мероприятия для групп персонала, и индивидуальной – для каждого специалиста в отдельности. В основе каждой из них лежат организационные и инженерно-технические мероприятия.

Организационные меры защиты направлены на: выбор рациональных режимов работы оборудования, ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия электромагнитных излучений (защита «расстоянием» и «временем») и т. п. Организационные меры коллективной и индивидуальной защиты основаны на одних и тех же принципах и в некоторых случаях относятся к обеим группам. Отличие в том, что первые направлены на нормализацию ЭМО для целых коллективов, на больших производственных площадях, а вторые – уменьшают излучения при индивидуальном характере труда. Защита «расстоянием» подразумевает определение санитарно-защитных зон, зон недопустимого пребывания на этапах проектирования. В этих случаях для определения степени снижения воздействия в каком-то пространственном объеме используют специальные расчетные, графоаналитические, а на стадии эксплуатации, – инструментальные методы.

Защита «временем» предусматривает нахождение в контакте с излучением только по служебной необходимости с четкой регламентацией по времени и пространству совершаемых действий; автоматизацию работ; уменьшение времени настроечных работ и т. д. В зависимости от воздействующих уровней (инструментальный и расчетный методы оценки) время контакта с ними определяется в соответствии с действующими нормативными документами.

К организационным мерам защиты следует отнести и проведение ряда лечебно-профилактических мероприятий. Это, прежде всего, обязательное медицинское освидетельствование при приеме на работу, последующие периодические медицинские обследования, что позволяет выявить ранние нарушения в состоянии здоровья персонала, отстранить от работы при выраженных изменениях состояния здоровья. В каждом конкретном случае оценка риска здоровью работающих должна базироваться на качественной и количественной характеристике факторов. Существенным с позиции влияния на организм является ха-

ракти профессиональной деятельности и стаж работы. Важную роль играют индивидуальные особенности организма, его функциональное состояние. К организационным мерам защиты необходимо также отнести использование средств наглядного предупреждения о наличии того или иного излучения, наличие плакатов с перечнем основных мер предосторожности, проведение инструктажей, лекций по безопасности труда при работе с источниками излучений и колебания и профилактике их неблагоприятного воздействия. Большую роль в организации защиты играют объективная информация об уровнях интенсивностей излучений и колебаний на рабочих местах и четкое представление об их возможном влиянии на состояние здоровья работающих. Необходимо отметить, что в ряде случаев организационные меры не применимы в виду ограничения работ по времени или их применение ограничивается геометрией установок. Кроме того, организационные меры не применимы в случаях, когда технологический процесс не позволяет этого.

Инженерно-технические меры защиты применяются в тех случаях, когда исчерпана эффективность организационных мер. Инженерно-технические мероприятия включают: рациональное размещение оборудования; использование средств, ограничивающих поступление излучений и колебаний на рабочие места персонала (поглотители мощности, экранирование, использование минимальной необходимой мощности источников); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем излучений и колебаний. Коллективная защита по сравнению с индивидуальной предпочтительней вследствие простоты обслуживания и проведения контроля над эффективностью защиты. Однако ее внедрение часто осложняется высокой стоимостью, сложностью защиты больших пространств. Нецелесообразно, например, ее использование при проведении кратковременных работ в полях с интенсивностью выше предельно допустимых уровней. Тактика применения методов коллективной защиты зависит от нахождения источника облучения по отношению к производственному помещению: внутри или снаружи. Индивидуальные средства защиты предназначены для предотвращения воздействия на организм человека с уровнями, превышающими предельно допустимые, когда применение иных средств невозможно или нецелесообразно. Они могут обеспечить общую защиту, либо защиту отдельных частей тела (локальная защита).

ГЛАВА 7. СРЕДСТВА И ВИДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

7.1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Использование средств коллективной и индивидуальной защиты в целях исключения или снижения доз внешнего облучения, радиоактивного загрязнения поверхности тела и одежды людей, предотвращения и снижения поступления радионуклидов через органы дыхания, и в отдельных случаях через органы пищеварения, является достаточно эффективным.

Укрытию населения в защитных сооружениях всегда отводилась важная роль, а в связи с трудностью и даже в ряде случаев невозможностью организации быстрой защиты населения от поражающего воздействия пароголового облака выброса при радиационной аварии значение этого мероприятия резко возросло. Следует отметить, что в целях защиты населения при радиоактивных загрязнениях успешно используются защитные сооружения гражданской обороны (убежища, противорадиационные укрытия, простейшие укрытия).

К основным противорадиационным характеристикам сооружений, не относящимся к типовым убежищам, относятся коэффициенты ослабления (коэффициенты защиты) γ -излучения конструкциями зданий и сооружений. Однако эффективность использования для укрытия противорадиационных убежищ, других сооружений, а также просто нахождение в производственных и жилых зданиях оценивают также и по предотвращению радиоактивного загрязнения одежды и кожных покровов, по снижению интенсивного поступления радиоактивных веществ в организм при вдыхании. В общем плане эффективность укрытия определяется коэффициентами эффективного экранирования при нахождении в убежище и транспорте при последующей эвакуации.

7.1.1. СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ

Защитные свойства некоторых технических изделий и материалов приведены в табл. 7.1. Там же даны средние значения коэффициента ослабления дозы радиации.

Таблица 7.1

Наименование укрытия	Значение коэффициента ослабления
Транспортные средства:	
Автомобили	1,0
Бронетранспортёр	1,5
Пассажирские вагоны	3,0
Грузовые вагоны	2,0
Производственные здания:	
Одноэтажные дома	7,0
3-этажные дома	6,0
Жилые дома:	
Каменные:	
Одноэтажные	10,0
Подвал	40-100
Двухэтажные	18,0
Подвал	100
Трёхэтажные	20,0
Подвал	400
Пятиэтажные	27,0
Подвал	400
Деревянные:	
Одноэтажные	2,0
Подвал	7,0
Двухэтажные	8,0
Подвал	12,0
Фортификационные сооружения:	
Перекрытые щели, траншеи	50,0
Убежища с входным блоком из лесоматериалов	500
Убежища с входом типа «Лаз» и металлическим входным блоком	5000
Противорадиационные укрытия	100-500

В идеальном случае укрытие людей в убежищах осуществляют как превентивную меру, предпринимаемую на начальной фазе аварии. Эта мера ослабляет радиационное воздействие проходящего облака или факела выброса на следующей, ранней фазе аварии. Сигналом к этому является извещение населения о необходимости укрытия в убежищах, при их отсутствии – укрытия во внутренних помещениях жилых зданий, а также извещение о необходимости использовать специальные и подручные средства защиты органов дыхания. При объяв-

нии тревоги нужно закрыть окна и внешние двери, перекрыть системы вентиляции и другие отверстия, затушить огонь в печах, закрыть дымовые заслонки в них. Степень воздухообмена можно ещё более сократить, поместив, по возможности, слой влажных газет или ткани в щели открывающихся дверей и окон.

7.1.2. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) подразделяются на СИЗ органов дыхания и средства защиты кожи, по принципу защитного действия – на СИЗ фильтрующего и изолирующего типов.

При защите населения от радиоактивных аэрозолей используются только СИЗ фильтрующего типа, более того, нередко всевозможные подручные средства.

Эффективность специальных и подручных СИЗ органов дыхания от радиоактивных аэрозолей приведена в табл. 7.2.

Использование СИЗ населения планируется и осуществляется на ранней и промежуточной фазах радиационной аварии как обязательное дополнение к укрытию и эвакуации населения, осуществляемое, прежде всего, в период прохождения облака радиоактивного выброса и в период формирования следа радиоактивного облака. Целями этих мер является предотвращение или снижение поступления радиоактивности через органы дыхания и снижение уровней радиоактивного загрязнения поверхности тела.

Таблица 7.2

Средства защиты	Эффективность задержки аэрозоля, %
Специальные средства защиты (при дисперсности не более 1 мкм)	
Респиратор «Лепесток-5» на основе фильтра ФПП-70-0.2	96.0
Респиратор «Лепесток-40» на основе фильтра ФПП-70-0.5	99.5
Респиратор «Лепесток-200» на основе фильтра ФПП-15-1.5	99.9
Подручные средства защиты (при дисперсности аэрозоля 1-5 мкм)	
Хлопчатобумажная рубашка, носовой платок (оба в один слой)	25-35
Платьевой хлопчатобумажный материал (в 1 слой), носовой платок (в 4 слоя)	45-55
Платьевой хлопчатобумажный материал (в 1 слой), махровое банное полотенце (в 1 слой), носовой платок (в 4 слоя) – все влажные, простыня (в 1 слой), хлопчатобумажная рубашка (в 2 слоя)	55-70
Махровое банное полотенце (в 2 слоя), носовой платок (в 8-16 слоёв), туалетная бумага в 3 слоя	85-95

В качестве специальных СИЗ органов дыхания населения, обеспечивающих защиту от радиоактивных аэрозолей, газообразных и летучих радионуклидов, используются специальные респираторы и гражданские противогазы (ГП-5, ГП-7, ГП-7В с ДЛГ-1, ДПГ-3, ПДФ-2Д с ДПГ-1, ДПГ-3, ПДФ-2Ш с ДПГ-1, ДПГ-3, АВИ).

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблагоприятное изменение состояние экосистем.

Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство, представлены в табл. 7.3.

При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощённые дозы превышают значения, приведённые в табл. Превышение этих доз приводит к серьёзным детерминированным эффектам.

Таблица 7.3

Орган или ткань	Поглощённая доза в органе или ткани за 2 суток, Гр
Всё тело	1
Лёгкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

Уровни вещества при хроническом облучении приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Орган или ткань	Годовая поглощённая доза, Гр
Гонады	0,2
Хрусталик глаза	0,1
Красный костный мозг	0,4

7.1.3. КРИТЕРИИ ПРИНЯТИЯ НЕОТЛОЖНЫХ РЕШЕНИЙ В НАЧАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и В, приведёнными в табл. 7.5 – 7.7.

Таблица 7.5

Критерии принятия неотложных решений в начальном
периоде аварийной ситуации

Меры защиты	Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр			
	На всё тело		Щитовидная железа, лёгкие, кожа	
	Уровень А	Уровень В	Уровень А	Уровень В
Укрытие	5	50	50	500
Иодная профилактика:				
Взрослые	-	-	250 ^{*)}	2500 ^{*)}
Дети	-	-	100 ^{*)}	1000 ^{*)}
Эвакуация	50	500	500	5000

^{*)} Только для щитовидной железы

Таблица 7.6

Критерии принятия решений об отселении и ограничении потребления
загрязнённых пищевых продуктов

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	Уровень А	Уровень В
Ограничение потребления загрязнённых продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год	50 за первый год
	1/год в последующие годы	10/год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за всё время отселения	

Таблица 7.7

Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязнённых продуктов питания в первый год после возникновения аварии *)

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг	
	Уровень А	Уровень В
Иод-131, цезий-134, цезий-137	1	10
Стронций-90	0,1	1,0
Плутоний-238, плутоний-239, америций-241	0,01	0,1

*) Критерии принятия решений и производные уровни для ограничительных мер при авариях с диспергированием преимущественно урана, плутония, других трансурановых элементов устанавливаются специальным нормативным документом.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории. Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учётом конкретной обстановки и местных условий. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории. На поздней стадии радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учётом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

7.2. ВИДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Защита от ионизирующих излучений - это совокупность специальных мероприятий и средств, предназначенных для предохранения организма человека от лучевого воздействия в условиях научно-исследовательской и производственной деятельности.

7.2.1. ХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Химическая защита населения – это комплекс организационных, инженерно-технических и специальных мероприятий по предупреждению и ослаблению воздействия на жизнь и здоровье людей ионизирующих излучений, боевых отравляющих и химически опасных веществ.

Это сложнейшие мероприятия и инженерно-технические устройства в совокупности, которые необходимо грамотно проводить и использовать не только ради борьбы с чрезвычайными ситуациями и последствиями, но и профилактики.

В условиях возможной химической опасности для населения проводятся следующие мероприятия: создаются и эксплуатируются системы контроля за химической обстановкой в районах химически опасных объектов и локальные системы оповещения о химической опасности; разрабатываются планы действий по предупреждению и ликвидации последствий химической аварии; накапливаются, хранятся и поддерживаются в готовности средства индивидуальной защиты органов дыхания и кожи, приборы химической разведки, дегазирующие вещества; поддерживаются в готовности к использованию убежища, обеспечивающие защиту людей от АХОВ; принимаются меры по защите продовольствия, пищевого сырья, фуража, источников (запасов) воды от заражения АХОВ; проводится подготовка населения к действиям в условиях химических аварий, подготовка аварийно-спасательных подразделений и персонала химически опасных объектов; обеспечивается готовность сил и средств подсистем и звеньев РСЧС, на территориях которых находятся химически опасные объекты, к ликвидации последствий химических аварий. Основными мероприятиями химической защиты, осуществляемыми в случае возникновения химической аварии, являются: обнаружение факта химической аварии и оповещение о ней; выявление химической обстановки в зоне химической аварии; соблюдение режимов поведения на территории, зараженной АХОВ, норм и правил химической безопасности; обеспечение населения, персонала аварийного объекта, участников ликвидации последствий химической аварии средствами индивидуальной защиты органов дыхания и кожи, применение этих средств; эвакуация населения, при необходимости, из зоны аварии и зон возможного химического заражения; укрытие населения и персонала в убежищах, обеспечивающих защиту от АХОВ; оперативное применение антидотов и

средств обработки кожных покровов; санитарная обработка населения, персонала аварийного объекта, участников ликвидации последствий аварии; дегазация аварийного объекта, объектов производственного, социального, жилого назначения, территории, технических средств, средств защиты, одежды и другого имущества.

С того момента, как стало ясно, что ионизирующая радиация, радиоактивные изотопы могут представлять опасность для здоровья и даже жизни людей, возникла проблема защиты от этой опасности. После создания ядерного оружия массового уничтожения и в особенности после трагического опыта Хиросимы и Нагасаки проблема поиска эффективных: средств борьбы с лучевой угрозой приобрела огромную остроту и актуальность. Исследования в области создания действенных противолучевых препаратов, поиск новых инженерных и конструктивных решений, обеспечивающих, максимальную безопасность людей на соответствующих производствах, развернулись в разных странах в очень широких масштабах, стимулируя также изучение механизмов действия ионизирующей радиации и, в свою очередь, питаясь достижениями общей радиобиологии. Разработки в области химической защиты от действия радиации и лечения лучевых повреждений оформились в самостоятельные, активно развивающиеся разделы радиобиологической науки и практики.

7.2.2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Физическая защита от ионизирующих излучений - применение специальных устройств и способов для защиты организма от действия внешних ионизирующих излучений или попадания радиоактивных веществ в организм.

Задачей физической противолучевой защиты как отрасли ядерной техники является разработка технических средств и мероприятий, обеспечивающих безопасные условия:

- 1) работы персонала, непосредственно обслуживающего ядерно-энергетические устройства и другие установки - источники ионизирующего излучения,

- 2) лиц, работающих в соседних помещениях, а также окружающего населения.

Решение проблем защиты от излучений основано на использовании данных ядерной физики, радиобиологии и дозиметрии ионизирующих излучений. Опасность, которой подвергается обслуживающий

персонал или другие лица, соприкасающиеся с источниками ионизирующих излучений, может быть двоякой. Во-первых, это облучение всего тела или отдельных его частей источниками, находящимися вне тела человека (внешнее облучение). Источники внешнего облучения, как правило, являются закрытыми (ядерные реакторы, ускорители, облучатели, рентгеновские аппараты и др.). Очевидно, внешнее облучение происходит только в тех случаях, когда человек находится вблизи источника излучения, и прекращается с выходом его из этой зоны. Во-вторых, облучение, создаваемое так называемыми открытыми источниками, которые образуются в случае загрязнения радиоактивными веществами воздуха, воды, продуктов питания и поверхностей различных предметов и земли. Наличие таких источников может привести к попаданию радиоактивных веществ в организм человека и непрерывному его облучению до тех пор, пока радиоактивное вещество не будет каким-либо способом выведено из организма или не распадется. Защита от внешнего облучения обеспечивается путем сооружения специальных защитных экранов (защитных ограждений), проходя через которые, излучение ослабевает до безопасных уровней. Выбор материала для экрана и определение его толщины являются сложной инженерной задачей. Она решается с учетом вида и спектрального состава излучения, активности источников, их расположения и геометрических размеров, а также принятых допустимых уровней излучения. Наиболее опасны при внешнем облучении потоки γ -квантов и нейтронов - незаряженных частиц, сравнительно слабо взаимодействующих с веществом и, следовательно, обладающих наибольшей проникающей способностью. Вклад нерассеянного излучения в дозу за защитой часто невелик при больших толщинах защиты; основной вклад в полную дозу вносит излучение, испытавшее многократное рассеяние. Учет вклада рассеянного излучения производится при помощи так называемого фактора накопления B , величина которого изменяется от единицы до нескольких десятков в зависимости от толщины слоя вещества, энергии излучения и атомного номера материала. Основными процессами взаимодействия рентгеновского и γ -излучений с веществом, приводящими к ослаблению пучка излучения, являются фотоэффект, эффект Комптона и образование пар (см. Гамма-излучение, Рентгеновское излучение). Фотоэффект преобладает в области малых энергий γ -лучей и особенно существен для тяжелых веществ. Поэтому для защиты от рентгеновского и γ -излучений с малой энергией в качестве защитного материала удобно использовать свинец. При энергии рентгеновского

и γ - излучения свыше сотен кэВ доминирующим процессом становится эффект Комптона, вероятность которого прямо пропорциональна электронной плотности вещества, а так как она для всех веществ почти одинакова, то для защиты от излучения в этой области энергии примерно с равным успехом можно использовать любые материалы при одинаковой толщине в г/см². Однако ввиду дешевизны наиболее часто используют бетон, воду или чугун или комбинации слоев из этих материалов. Процесс образования пар становится заметным только при энергии излучения выше нескольких МэВ и при выборе защитного материала решающей роли не играет. Для приближенных расчетов толщины защиты часто используют метод слоев половинного ослабления.

Слой половинного ослабления Δ - толщина материала, которая уменьшает интенсивность излучения в 2 раза. Число слоев половинного ослабления n , необходимое для обеспечения заданной кратности ослабления k , можно определить из соотношения $k = 2n$. В табл. 1 и 2 приведены некоторые приблизительные толщины слоев половинного ослабления для рентгеновского и γ - излучений в зависимости от энергии (с учетом рассеяния излучения в защите). Тип реакции взаимодействия нейтронов с веществом также зависит от энергии нейтронов и свойств вещества. Качественно процесс поглощения нейтронов в защите можно разделить на две стадии: замедление нейтронов высокой энергии за счет упругого и неупругого рассеяния на ядрах поглотителя; захват нейтронов, потерявших энергию в результате замедления.

Для замедления нейтронов используют вещества с большим содержанием водорода и других легких элементов - воду, бетон, графит и др. Если энергия нейтронов выше 1 МэВ, к ним добавляют вещества с большим атомным весом (массой), которые усиливают эффект неупругого рассеяния. Наибольшей способностью захватывать тепловые нейтроны обладают бор, кадмий, литий и др. Однако часть этих веществ, например кадмий, при захвате тепловых нейтронов испускает вторичное жесткое γ - излучение, от которого необходимо предусматривать дополнительную защиту. Иногда ее в виде отдельных слоев из относительно более тяжелых материалов вводят в основную защиту или используют бетоны различных марок с заполнителями из железа или чугуна. Обеспечение защиты от внешних потоков β - излучения, α - частиц и протонов не представляет трудностей, так как пробеги их в

твердых и жидких веществах очень малы. В легко-атомных материалах пробег электронов в зависимости от энергии определяется по формуле:

$$R = 0,54E - 0,15, \text{ г/см}^2,$$

где E - энергия в МэВ. Эта формула может быть использована для определения толщины защитного экрана. α - Частицы, обладающие значительно большей массой и вдвое большим, чем у электронов, зарядом, при энергии в несколько МэВ не проникают даже через лист плотной бумаги или картона. Для защиты людей от внутреннего облучения требуется принятие мер, исключающих возможность попадания в организм радиоактивных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые. Последние непосредственно связаны с так называемыми предельно допустимыми концентрациями радиоактивных веществ в воздухе, воде и на поверхности полов, стен и оборудования в производственных помещениях. Они определены расчетным путем на основе медико-биологических исследований с использованием экспериментальных животных, а также многолетних наблюдений над людьми, имевшими в своей производственной деятельности контакт с радиоактивными веществами. Для того чтобы эти концентрации не были превышены, производственные помещения оборудуют системой принудительной приточно-вытяжной вентиляции, жидкие отходы перед удалением разбавляют, а рабочие поверхности периодически очищают специальными дезактивирующими средствами. Существенное значение имеет также правильная планировка предприятий, использующих или перерабатывающих радиоактивные вещества, регламентируемая санитарными правилами. Используется в рентгеновских кабинетах, радиологических отделениях и лабораториях различного профиля.

Существуют стационарные и передвижные защитные устройства. К передвижным защитным устройствам относятся широко используемые в радиологической практике ширмы и экраны. Стационарными являются защитные стены, окна, двери и др., обеспечивающие защиту от источников излучения более надежно, чем передвижные устройства. Толщина и выбор защитного материала для стационарной защиты определяются видом используемого излучения и его энергией. Защиту от

γ - или рентгеновского излучений обеспечивают с помощью материалов, имеющих высокий удельный вес (кирпич, бетон, свинец, вольфрам или свинцовые стекла). С возрастанием энергии излучения удельный вес защитного материала или его толщина должны увеличиваться. Качество защиты выражается свинцовым эквивалентом (который определяется толщиной слоя свинца в миллиметрах), ослабляющим излу-

ние данного вида в такой же степени, как и использованный защитный материал. Защиту от нейтронного излучения или протонного излучения, имеющими в своем составе водород (например, вода, парафин, органическое стекло). При работе с источниками ионизирующих излучений необходимо физические меры противолучевой защиты сочетать также с правильной организацией труда.

Организационные противолучевые мероприятия предусматривают: обязательную предварительную теоретическую и практическую подготовку персонала по технике безопасности; систему дозиметрического и радиометрического контроля облучения персонала и загрязненности рабочих мест; медицинский контроль за состоянием здоровья персонала как вновь поступающего на работу, так и ежегодно в плане диспансерного наблюдения; рациональное размещение рабочих мест персонала в условиях наименьшего облучения.

В отделениях лучевой терапии присутствие персонала в процедурных, где происходит облучение больного, запрещается. Управление аппаратами для лучевой терапии производят из соседней комнаты. В рентгенодиагностических кабинетах и радиоманипуляционных персонал должен использовать при работе передвижные защитные устройства (фартуки и перчатки из свинцовой резины, свинцовые ширмы и др.). Одним из способов противолучевой защиты является защита расстоянием, т. е. обеспечение максимально возможного удаления персонала в процессе работы от источников излучения. Эффективность противолучевой защиты (физической) в последнее время благодаря автоматическим устройствам для дистанционного применения радиоактивных препаратов повысилась (например, радиоактивные препараты при лечении рака шейки матки вводят из соседнего помещения после предварительной подготовки больной). При переносе радиоактивных препаратов следует пользоваться транспортным контейнером на длинной ручке. Важным способом противолучевой защиты является защита временем, т. е. выполнение рабочих процессов в течение короткого промежутка времени. Скорость выполнения рабочих процессов с радиоактивными препаратами определяется предварительной тренировкой персонала, четким планированием рабочего процесса и целеустремленностью. Критериями, оценивающими качество противолучевой защиты, являются показатели величин мощности дозы излучения на рабочих местах и величина мощности дозы облучения сотрудников.

7.2.3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Биологическая защита от ионизирующих излучений, возникающих в *ядерном реакторе*, изолирует его и предотвращает (или снижает) проникновение излучений наружу за пределы защитной оболочки. При этом защита от заряженных частиц не представляет затруднений, т. к. их пробег во всех материалах весьма мал; проблема связана с предотвращением воздействия нейтронного и γ - излучений. Для защиты от них применяют конструкции из поглощающих материалов, выполненные в виде экранов, стенок и герметичных куполов, воздвигаемых над реактором или вокруг иного источника радиоактивного излучения. В качестве защитных материалов для ослабления нейтронного излучения используют воду, бетон; для защиты от гамма-излучений – сталь, свинец, бор, кадмий. Для защиты обслуживающего персонала ядерных объектов применяют также индивидуальные средства: защитные комбинезоны, пневмокостюмы, респираторы, специальные ботинки, перчатки и т. п. Все виды защиты призваны снижать интенсивность проникающего излучения до уровня, безопасного для человека, животных и окружающей среды. Помимо технических средств, для биологической защиты организма от действия ионизирующих излучений применяют химические средства, которые вводят в организм до или во время действия излучения. С их помощью повышается сопротивляемость организма к действию радиации.

7.3. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ РАБОТЕ С ТЕХНОГЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Безопасную работу с радиоактивными веществами и источниками излучения можно обеспечить, только осуществляя систематический радиационный контроль уровней внешнего и внутреннего облучения персонала и уровней радиации в окружающей среде.

Радиационный контроль при работе с техногенными источниками излучения должен осуществляться за всеми основными радиационными показателями, определяющими уровни облучения персонала и населения. На каждом радиационном объекте система радиационного контроля должна предусматривать конкретный перечень видов контроля, типов радиометрической и дозиметрической аппаратуры, точек измерения и периодичности контроля.

Контроль с использованием индивидуальных дозиметров является обязательным для персонала группы А.

Индивидуальный контроль за облучением персонала группы А в зависимости от характера работ включает: контроль за характером, динамикой и уровнями поступления радиоактивных веществ в организм с использованием методов прямой и/или косвенной радиометрии; контроль за эффективной дозой внешнего облучения персонала; контроль за эквивалентными дозами облучения хрусталиков глаз, кожи, кистей и стоп персонала с использованием индивидуальных дозиметров или расчетным способом.

По результатам радиационного контроля должны быть рассчитаны значения эффективных доз у персонала, а при необходимости, определены значения и эквивалентных доз облучения в коже, хрусталике глаза, кистях и стопах.

Контроль за радиационной обстановкой в зависимости от характера проводимых работ включает: измерение мощности дозы рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений, плотности потоков частиц ионизирующего излучения на рабочих местах, в смежных помещениях, на территории организации, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения; измерение уровней загрязнения радиоактивными веществами рабочих поверхностей, оборудования, транспортных средств, средств индивидуальной защиты, кожных покровов и одежды персонала; определение объемной активности газов и аэрозолей в воздухе рабочих помещений, их нуклидного состава; измерение или оценку активности выбросов и сбросов радиоактивных веществ; определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Система радиационного контроля объектов I и II категорий должна использовать следующие технические средства: непрерывного контроля на основе стационарных автоматизированных технических средств; оперативного контроля на основе носимых и передвижных технических средств; лабораторного анализа на основе стационарной лабораторной аппаратуры, средств отбора и подготовки проб для анализа.

В помещениях, где ведутся работы с делящимися материалами в количествах, при которых возможно возникновение самопроизвольной цепной реакции деления, а также на ядерных реакторах и критических сборках и при других работах I класса, где радиационная обстановка при проведении работ может существенно изменяться, необходимо устанавливать приборы радиационного контроля со звуковыми и све-

товыми сигнализирующими устройствами, а персонал должен быть обеспечен аварийными дозиметрами.

Результаты индивидуального контроля доз облучения персонала должны храниться в течение 50 лет. При проведении индивидуального контроля необходимо вести учет годовых эффективной и эквивалентных доз, эффективной дозы за пять последовательных лет, а также суммарной накопленной дозы за весь период профессиональной работы.

Индивидуальная доза облучения должна регистрироваться в журнале с последующим внесением в индивидуальную карточку, а также в машинный показатель для создания базы данных на радиационных объектах в ЕСКИД. Копия индивидуальной карточки работника в случае его перехода в другую организацию, где проводится работа с источниками излучения, должна передаваться на новое место работы; оригинал должен храниться на прежнем месте работы.

Лицам, командировемым для работ с источниками излучения, должна выдаваться заполненная копия индивидуальной карточки о полученных дозах облучения. Данные о дозах облучения прикомандированных лиц должны включаться в их индивидуальные карточки.

В организациях, проводящих работы с техногенными источниками излучения, администрацией должны устанавливаться контрольные уровни. Перечень и числовые значения контрольных уровней определяются в соответствии с условиями работы и согласовываются с органом государственно- санитарно-эпидемиологического надзора.

О случаях превышения годовых пределов эффективных доз для персонала, установленных НРБ-99/2009, годовых пределов эквивалентных доз облучения персонала или квот облучения населения, администрации должна информировать органы государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Задачи службы радиационной безопасности. Везде, где проводятся работы с источниками ионизирующего излучения и радиоактивными веществами, создаются службы радиационной безопасности (службы РБ). Цель службы РБ - обеспечение безопасных условий работы путем систематического контроля уровня радиации на установках, в лабораториях, рабочих зонах и в санитарно-защитных зонах.

В наиболее общем виде основные задачи службы радиационной безопасности можно сформулировать следующим образом: контроль выполнения персоналом норм РБ, санитарных правил и инструкций работы с источниками ионизирующих излучений. Организация и проведение курсов по РБ для персонала, ежегодная проверка знаний пер-

сонала норм РБ, организация ежегодного медицинского обследования персонала; контроль с использованием стационарных и переносных средств уровня радиации на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории учреждения; индивидуальный контроль облучения персонала; контроль радиационного загрязнения объектов внешней среды делами предприятия; проверка калибровка и ремонт средств радиационного контроля; разработка необходимых мероприятий для предотвращения возникновения аварийных ситуаций; проведение научно-исследовательских работ по РБ.

В зависимости от характера проводимых работ и размеров предприятия некоторые пункты (например, 4, 6) для их служб РБ не являются обязательными.

При написании главы 8 использованы материалы публикаций [7.1-7.8].

ГЛАВА 8. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Практическими, или *инженерными*, методами расчета защиты условно называют систему формул, таблиц и номограмм, которые позволяют быстро и непосредственно определить искомую толщину защиты при различных условиях ее проектирования. Здесь мы рассмотрим инженерные (практические) методы расчета защиты от фотонного излучения, которые относятся в основном к точечным изотропным источникам, хотя многие закономерности справедливы и для протяженных источников. Под *первичным (прямым) излучением* будем понимать излучение, которое имеет энергетическое и угловое распределение источника и падает на защиту непосредственно из источника без предварительного рассеяния на любом объекте. Следует отметить, что все методы, которые мы рассмотрим, являются приближенными, но в большинстве практических случаев их точность оказывается достаточной. В более ответственных случаях, когда требуется большая точность, необходимо применять более точные методы расчета защиты с использованием специальных программ.

В основу расчетов толщины защиты необходимо положить или *допустимую мощность дозы (ДМД)*, или *допустимую плотность потока (ДПП)*. В соответствии с ОСПОРБ-99/2010 при проектировании защиты используется допустимая мощность эквивалентной дозы (с коэффициентом запаса 2), но практически чаще всего измеряется мощность поглощенной дозы или мощность экспозиционной дозы в воздухе за защитой. Раньше было отмечено, что в диапазоне энергий фотонов 0,04-15 МэВ отношение коэффициентов поглощения энергии фотонов в биологической ткани и в воздухе $\mu_{\text{пог}}^{\text{ТК}} / \mu_{\text{пог}}^{\text{ВОЗД}} \approx 1,09$, поэтому с хорошей точностью в этом диапазоне энергий можно записать

$$\dot{H} = 1,09 \cdot \bar{w} \dot{D}$$

где \bar{w} - взвешивающий коэффициент излучения, а \dot{D} - мощность поглощенной дозы в воздухе. Тогда для точечного изотропного и моноэнергетического (с энергией E_0) источника толщина защиты, которая обеспечивает допустимые условия работы на расстоянии r от него, находится из соотношения

$$\text{ДМД} = 1,09 \bar{w} \dot{D}_0(r) \exp[-\Sigma(E_0)d] B_D(E_0, \Sigma d) =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1,09 \bar{w} \frac{A \Gamma_D}{r^2} \exp[-\Sigma(E_0)d] B_D(E_0, \Sigma d), \text{ мкЗв/ч}, \quad (8.1)$$

где $\dot{D}_0(r)$ - мощность дозы на расстоянии r (м) от источника без защиты, d - толщина защиты, B_D - дозовый фактор накопления в веществе защиты, A (Бк) - активность источника, Γ_D (аГр·м²/с·Бк) - гамма-постоянная по мощности поглощенной дозы в воздухе.

Если задан гамма-эквивалент источника M мг-экв. Ra, то толщина защиты, которая обеспечивает допустимую мощность дозы (мкЗв/ч) на расстоянии r м от источника, находится из условия

$$ДМД = 3,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1,09 \bar{w} M \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot 55 \frac{1}{r^2} \exp[-\Sigma(E_0)d] B_D, \quad (8.2)$$

где 55 (аГр·м²/с·Бк) - гамма-постоянная радия по мощности поглощенной дозы в воздухе.

Таблица 8.1

Среднегодовая допустимая плотность потока фотонов

Энергия фотонов, МэВ	Среднегодовая допустимая плотность потока при облучении всего тела, ДПП _{перс} , см ⁻² ·с ⁻¹		Среднегодовая допустимая плотность потока при облучении кожи, ДПП _{перс} , см ⁻² ·с ⁻¹	
	ИЗО	ПЗ	ИЗО	ПЗ
	0,010	1,63+05	6,77+04	1,31+04
0,015	8,73+04	2,62+04		
0,020	5,41+04	1,62+04	4,96+04	4,63+04
0,030	3,24+04	1,08+04	1,00+05	9,25+04
0,040	2,31+04	9,65+03		
0,050	1,99+04	9,12+03	1,81+05	1,63+05
0,060	1,77+04	8,63+03		
0,080	1,42+04	7,44+03		
0,10	1,18+04	6,33+03	1,50+05	1,42+05
0,15	7,79+03	4,33+03	9,74+04	9,74+04
0,20	5,61+03	3,28+03		
0,30	3,54+03	2,17+03	4,53+04	4,53+04
0,40	2,59+03	1,63+03	3,38+04	3,38+04
0,50	2,02+03	1,32+03	2,80+04	2,80+04
0,60	1,69+03	1,12+03	2,40+04	2,40+04
0,80	1,26+03	8,73+02	1,88+04	1,88+04
1,0	1,01+03	7,33+02	1,55+04	1,55+04
2,0	5,63+02	4,38+02	9,57+03	9,57+03
4,0	3,28+02	2,73+02	6,08+03	6,08+03
6,0	2,38+02	2,05+02	4,57+03	4,57+03
8,0	1,89+02	1,64+02	3,66+03	3,66+03
10,0	1,56+02	1,38+02	3,13+03	3,13+03

* ИЗО – изотропное (2π) поле излучения, ПЗ – облучение параллельным пучком в передне-задней геометрии.

Выражение для расчета толщины защиты через ДПП фотон/см²·с имеет следующий вид

$$ДПП = \frac{q}{4\pi r^2} \exp[-\Sigma(E_0)d] B_N(E_0, \Sigma d), \quad (8.3)$$

где q - мощность источника (фотон/с), B_N - числовой фактор накопления.

Значения ДПП моноэнергетических фотонов для лиц из персонала при внешнем облучении всего тела и кожи приведены в табл. 8.1 (данные из НРБ-99/2009).

При расчете защиты через мощность экспозиционной дозы необходимо использовать следующее выражение:

$$ДМД = \frac{A\Gamma_x}{r^2} \exp[-\Sigma(E_0)d] B_D(E_0, \Sigma d), \quad (P/ч) \quad (9.4)$$

где Γ_x ($P \cdot cm^2 / c \cdot mKi$) - гамма-постоянная источника по мощности экспозиционной дозы, расстояние выражается в сантиметрах, а активность источника в мКи.

Во всех приведенных выше формулах значения фактора накопления необходимо брать для соответствующей толщины защиты и ее материала. Если известна ДМД (ДПП), то по формулам (8.1) - (8.4)

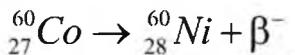
можно найти: A, M, r и толщину защиты d .

8.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ РАДИОНУКЛИДОВ КАК ГАММА-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Кобальт-60. Искусственный радионуклид $^{60}_{27}Co$ образуется в результате реакции радиационного захвата при облучении нейтронами стабильного изотопа $^{59}_{27}Co$, распространенность которого в природе составляет 100 %



Эффективное сечение этой реакции равно 22,36 б. Образовавшийся изотоп ^{60}Co является неустойчивым. Он распадается, испуская β^- - частицы, и превращается в изотоп ^{60}Ni



Максимальная энергия спектра β^- - частиц равна 1,491 МэВ, и они полностью фильтруются алюминиевым фильтром толщиной 3,3 мм.

Изотоп ^{60}Ni образуется в возбужденном состоянии и переходит в основное, испуская 6 линий гамма-излучения, две из которых (основные) имеют наибольший квантовый выход: 1,173 МэВ ($n_\gamma = 100\%$) и 1,332 МэВ ($n_\gamma = 99,9\%$). С хорошей точностью можно считать, что гамма-излучение ^{60}Co является монохроматическим со средней энергией 1,25 МэВ и квантовым выходом 200 %. Период полураспада ^{60}Co равен 5,2714 года. Гамма-постоянные ^{60}Co :

$$\Gamma_X = 12,85 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}; \quad \Gamma_K = 84,6 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}; \quad \Gamma_H = 94 \text{ азВ} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}.$$

1 мКи ^{60}Co соответствует 1,46 мг-экв. Ра. Удельная активность равна $1,1 \cdot 10^3$ Ки/г. Удельная активность кобальтовых источников может достигать значений 200 Ки/г.

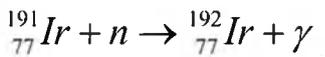
Цезий-137. Искусственный радионуклид ^{137}Cs является одним из продуктов деления ^{235}U . Его выход при делении ядер составляет 6,3 %. Период полураспада ^{137}Cs равен 30,07 лет.

В процессе β^- - распада 94,4 % ядер ^{137}Cs превращаются в ^{137}Ba , который образуется в возбужденном изомерном (метастабильном) состоянии - ^{137m}Ba .

Переход этих ядер в стабильное состояние сопровождается испусканием гамма-квантов с энергией 0,6616 МэВ. Период полураспада такого изомерного перехода равен 2,5 мин. Максимальная энергия спектра β^- - частиц ^{137}Cs равна 1,173 МэВ, и они полностью поглощаются алюминиевым фильтром толщиной 3,3 мм. Гамма-постоянные ^{137}Cs : $\Gamma_x = 3,24 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$; $\Gamma_k = 21,4 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$; $\Gamma_H = 23,7 \text{ аЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бкч}$.

1 мКи ^{137}Cs соответствует 0,386 мг-экв. Ra. Удельная активность равна 87 Ки/г. Удельная активность источников на основе ^{137}Cs может достигать значений 25 Ки/г.

Иридий-192. Искусственный радионуклид $^{192}_{77}\text{Ir}$ образуется в результате реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами стабильного изотопа $^{191}_{77}\text{Ir}$



Изотоп $^{192}_{77}\text{Ir}$ является неустойчивым и распадается, испуская β^- - частицы и превращаясь в изотоп $^{192}_{78}\text{Pt}$

$$^{192}_{77}\text{Ir} \rightarrow ^{192}_{78}\text{Pt} + \beta^-$$

ядра которого находятся в возбужденном состоянии. Максимальная энергия спектра β^- - частиц равна 0,672 МэВ, и они полностью поглощаются фильтром из алюминия толщиной 0,8 мм. Переход ядер $^{192}_{78}\text{Pt}$ в основное состояние сопровождается испусканием гамма-квантов. Спектр ^{192}Ir является сложным и состоит из 17 линий различной интенсивности с энергиями в пределах 0,063-0,8845 МэВ. Средняя энергия спектра равна 0,359 МэВ. Период полураспада ^{192}Ir равен 73,83 суток.

Гамма-постоянные ^{192}Ir : $\Gamma_x = 4,605 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$; $\Gamma_k = 30,1 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$; $\Gamma_H = 33,4 \text{ аЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бкч}$.

1 мКи ^{192}Ir соответствует 0,548 мг-экв. Ra Удельная активность равна $9,2 \cdot 10^3$ Ки/г.

Тулий-170. Искусственный радионуклид ^{170}Tm образуется в реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами стабильного изотопа ^{170}Tm , распространенность которого в природе составляет 100 % $^{169}\text{Tm} + n \rightarrow ^{170}\text{Tm} + \gamma$. Его период полураспада равен 128,6 суток.

При распаде ядер ^{170}Tm с вероятностью 81,6 % испускаются β^- - частицы с максимальной энергией 0,968 МэВ. при этом образуются ядра стабильного изотопа иттербия - ^{170}Yb , находящиеся в основном состоянии. С вероятностью 18,3 % испускаются β^- - частицы с максимальной энергией 0,884 МэВ, в результате чего образуются ядра ^{170}Yb , находящиеся в возбужденном состоянии. Их переход в основное состояние происходит путем испускания гамма-квантов с энергией 0,08426 МэВ ($n\gamma = 2,48$ %), а также в результате внутренней конверсии, которая сопровождается характеристическим излучением.

Для ^{170}Tm выход характеристического излучения с K-оболочки составляет 4,3 %, а его энергия равна 53 кэВ. Ввиду малого выхода гамма-квантов и относительно высокой энергии β^- - частиц, в излучение ^{170}Tm большую вклад дает тормозное излучение. Интенсивность тормозного излучения в спектре излучения ^{170}Tm в 1,5 раза превышает интенсивность собственного гамма- излучения. Отсюда следует, что истинный спектр такого источника зависит от его размеров и направления выхода гамма-квантов. Средняя энергия спектра излучения ^{170}Tm на выходе из торца цилиндрического источника диаметром 7 мм и высотой 1,5 мм равна 0,206 МэВ.

Гамма-постоянные ^{170}Tm : $\Gamma_X = 0,0266 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$;
 $\Gamma_K = 0,175 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$; $\Gamma_H = 0,191 \text{ аЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бкч}$.

1 мКи ^{170}Tm соответствует 0,00317 мг-экв. Ра. Удельная активность равна $6 \cdot 10^3 \text{ Ки/г}$.

Селен-75. Искусственный радионуклид ^{75}Se образуется в реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами стабильного

изотопа ^{75}Se



относительное содержание которого в природной смеси пяти изотопов селена составляет всего 0,86 %. Его период полураспада равен 119,8 суток.

В результате K -захвата ядра ^{75}Se превращаются в ядра ^{75}As , которые находятся в возбужденном состоянии. Их переход в основное состояние сопровождается испусканием гамма-квантов, спектр которых состоит из многих линий с энергиями в диапазоне 0,0244-0,5722

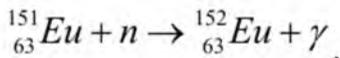
МэВ. Средняя энергия спектра гамма-излучения ^{75}Se равна 0,213 МэВ. Наибольшая энергия электронов внутренней конверсии равна 0,39 МэВ.

Гамма-постоянные ^{75}Se : $\Gamma_X = 2,029 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$;
 $\Gamma_K = 13,5 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$; $\Gamma_H = 15,0 \text{ аЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бкч}$.

1 мКи ^{75}Se соответствует 0,234 мг-экв. Ра. Удельная активность равна $1,45 \cdot 10^4 \text{ Ки/г}$. Удельная активность источников на основе ^{75}Se может достигать значений более 1000 Ки/г.

Европий-152. Искусственный радионуклид ^{152}Eu образуется в реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами стабильного

изотопа ^{151}Eu



относительное содержание которого в природной смеси из двух изотопов европия составляет 47,77 %. Его период полураспада равен 13,516 лет.

Ядра ${}^{152}_{63}\text{Eu}$ образуются в возбужденном состоянии и с вероятностью 27,86 %, испытывая β^- - распад, превращаются в ядра гадолиния - ${}^{152}_{64}\text{Gd}$, а с вероятностью 71,88%, испытывая K -захват, - в ядра самария - ${}^{152}_{62}\text{Sm}$. При снятии возбужденных состояний ${}^{152}_{64}\text{Gd}$ и ${}^{152}_{62}\text{Sm}$ испускается большое число гамма-квантов с энергиями в диапазоне 0,1218-1,769 МэВ. Средняя энергия спектра гамма-излучения ${}^{152}\text{Eu}$ равна 0,5 МэВ. Максимальная энергия спектра β^- - частиц равна 1,475 МэВ.

Гамма-постоянные ${}^{152}\text{Eu}$: $\Gamma_X = 5,02 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$;
 $\Gamma_K = 41,2 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$; $\Gamma_H = 45,5 \text{ аЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$.

${}^{152}\text{Eu}$ 1мКи соответствует 0,71 мг-экв. Ра. Удельная активность равна $1,7 \cdot 10^2 \text{ Ки/г}$.

8.3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАЩИТЫ ОТ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Основная задача проектирования защиты сводится к снижению уровней излучения до установленных допустимых значений. Если критерием является безопасность персонала или населения, то нормативными являются допустимые эквивалентные дозы и мощности эквивалентных доз. Но в ряде случаев эти уровни определяются другими требованиями: защитой высокочувствительной аппаратуры или материалов, строительными, технологическими особенностями и т. д. Приведенные ниже формулы являются общими для решения тех и других задач.

Следует отметить, что приведенные инженерные методы являются приближенными, но в большинстве случаев эта точность оказы-

вается достаточной. Поэтому такие методы нашли широкое распространение на практике. В ответственных случаях обычно применяют точные методы расчета защиты с использованием компьютера.

В настоящем разделе приведены практические методы расчета защиты, относящиеся в основном к точечным изотропным источникам. Однако многие закономерности остаются справедливыми и для протяженных источников. Более подробно особенности методов расчета защиты для линейных, поверхностных и объемных источников γ - излучения рассмотрены в [8.1].

«Защита» без применения экранов. Для точечных изотропных источников фотонного излучения в непоглощающей среде (т. е. когда защита отсутствует) для основных функционалов - мощности эквивалентной дозы \dot{X} , Зв/с, и эквивалентной дозы H , Зв, интенсивности I , МэВ/(м²·с), и флюенса F , МэВ/м², можно написать соответственно

$$\dot{H} = \frac{aA\Gamma_{\delta}}{b^2}; \quad H = \frac{aA\Gamma_{\delta}t}{b^2}, \quad (8.5)$$

$$I = \frac{q}{4\pi b^2}; \quad F = \frac{qt}{4\pi b^2}, \quad (8.6)$$

где A - активность, Бк; q - мощность источника, МэВ/с; b - расстояние, м; t - время работы в поле излучения источника, с; $a=1,09$ Зв/Гр - переходный коэффициент от мощности кермы в воздухе к мощности эквивалентной дозы, $a = \left(\mu_{en,n}^{TK} / \mu_{en,m}^B \right) k = 1,09 \cdot 1,0 = 1,09$ Зв/Гр; Γ_{δ} - в Гр·м²/(с·Бк).

Этот способ можно условно назвать «защита временем – количеством – расстоянием», так как при заданных нормативных функционалах \dot{H} , H , I и F можно рассчитать время работы t , расстояние b , активность A или мощность источника q , при которых обеспечивается безопасность без применения защитных экранов.

Универсальные таблицы для расчета защиты. Мощность эквивалентной дозы \dot{H} , Зв/с, от точечного моноэнергетического источника активностью A , Бк, с энергией фотонов E_0 на расстоянии b , м, от источника за защитой определяется формулой

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{aA\Gamma_\delta}{b^2} \exp(-\mu d) B_{Д}^{Т.И} (E_0, \mu d, Z) = \\ &= \dot{H}_0 \exp[-\mu d + \ln B_{Д}^{Т.И} (E_0, \mu d, Z)], \end{aligned} \quad (8.7)$$

где $B_{Д}^{Т.И}$ - дозовый фактор накопления точечного изотропного источника; \dot{H}_0 - мощность эквивалентной дозы в данной точке в отсутствие защиты ($\mu d = 0$), Γ_δ выражена в $\text{Гр} \cdot \text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{Бк})$.

Перепишем формулы (8.3) в следующем виде:

$$k(\mu d) = \dot{H}_0 / \dot{H} = \exp(\mu d - \ln B_{Д}^{Т.И}), \quad (8.8)$$

где $k(\mu d)$ - кратность ослабления, характеризующая, во сколько раз защитный экран из данного материала толщиной μd ослабляет излучение фотонов данной энергии E_0 . Уравнение (8.8) трансцендентное, его нельзя разрешить относительно μd для требуемой крат-

ности ослабления $k(\mu d)$. Поэтому удобным для практического использования является построение таблиц толщин защиты в зависимости от кратности ослабления. Используя соотношение (8.4), построили так называемые универсальные таблицы, которые нашли широкое применение в практике. Пример их приведен табл. 8.2.

Универсальные таблицы рассчитаны для определения дозовых характеристик от точечных изотропных источников в бесконечной геометрии защиты. Это определяется выбором принятых при расчетах факторов накопления. Для определения толщины защиты в барьерной геометрии по универсальным таблицам при $\mu d \geq 2$ надо требуемую

для барьерной геометрии кратность ослабления излучения $k_{бар}$ умножить на δ - поправку на барьерность и затем для $k = k_{бар} \delta$ определить толщину защиты по универсальным таблицам. Учет барьерности особо существует в области небольших энергий фотонов источника и низкоатомных материалов защиты.

Название «универсальные» эти таблицы получили потому, что с их помощью можно решать большой круг разных задач, в том числе определять: искомую толщину защиты по заданной кратности ослабления дозы или мощности дозы; дополнительную толщину защиты (или ее избыток) к уже существующей толщине; толщину защиты по заданной активности или керма-эквиваленту (гамма-эквиваленту) для любых начальных условий проектирования (любых заданных уровней излучения, времени облучения, расстояний и т. п.); кратности ослабления по заданной толщине защиты; линейные и массовые эквиваленты отдельных защитных материалов; слои половинного или десятикратного ослабления излучения и т. п.

Таблицы позволяют также учитывать всевозможные поправки, характеризующие отклонение от стандартных условий проектирования защиты: коэффициенты запаса (или допуска) для разных помещений и категорий облучаемых групп; наличие других источников или видов ионизирующих излучений и т. д. При решении многих задач с хорошим приближением их можно применять не только для точечных, но и для оценок защиты объемных источников. Как указывалось выше, вблизи объемных источников значения факторов накопления несколько больше, чем для точечных источников при той же толщине защиты по нормали. С другой стороны, фактор накопления точечных источников, использованный при построении универсальных таблиц, не учитывает уменьшение фактора накопления при удалении точки детектирования от защиты. Таким образом, происходит взаимная компенсация двух погрешностей, связанных с использованием факторов накопления, причем эти погрешности сравнимы по абсолютному значению. Это обстоятельство и дает возможность сделать вывод, что универсальные таблицы можно также применять и для оценки защиты от протяженных источников.

Номограммы для расчета защиты. Принцип построения универсальных таблиц может быть использован также для построения графической зависимости кратности ослабления излучения от толщины защиты. В случае сложного энергетического спектра фотонного

излучения с энергиями $E_{01}, E_{02}, \dots, E_{0m}$ и вкладами по дозе n_1, n_2, \dots, n_m расчетная интегральная кратность ослабления для фиксированной толщины экрана d может быть определена из соотношения

$$k(d) = \frac{\sum_{i=1}^m n_i(E_{0i})}{\sum_{i=1}^m n_i(E_{0i}) / [k_i(E_{0i}, d)]}, \quad (8.9)$$

где парциальная кратность ослабления $k_i(E_{0i}, d)$ рассчитывается по формуле типа (8.8). Пример номограмм для ^{60}Co приведен на рис. 8.5. Часто подобные номограммы строят для источников со сложным спектром фотонного излучения, например ^{226}Ra с дочерними продуктами его распада, смеси продуктов деления ядерного топлива и т. д.

Во многих случаях подобные универсальные номограммы целесообразно строить также по экспериментальным данным. Если, например, измеряется мощность поглощенной дозы в воздухе, то экспери-

ментальная кратность ослабления $k(d)$ определяется по формуле

$$k(d) = \dot{D}(0) / \dot{D}(d), \quad (8.10)$$

где $\dot{D}(0)$ и $\dot{D}(d)$ - мощность дозы, измеренная в одинаковой геометрии без защитного экрана и после экрана толщиной d соответственно.

Естественно, что подобные универсальные номограммы могут быть построены также для определения кратности ослабления мощности эквивалентной дозы, плотности потока и интенсивности. Видом излучения также могут быть нейтроны или имеющие непрерывный

спектр β^- - частицы и рентгеновское излучение. Эта характеристика - кратность ослабления - может быть получена из расчета или измерений и для протяженных источников. Достоинства подобных номограмм те же, что и универсальных таблиц. Они позволяют быстро, с хорошей точностью решать многие практические задачи проектирования защиты.

Таблица 8.2

Универсальные таблицы расчета защиты из железа ($\rho = 7,89 \text{ г/см}^3$) в зависимости от кратности ослабления $k(d)$

$k(d)$	d , см, при энергии фотонов, МэВ								
	0,5	0,66	0,8	1,0	1,25	1,75	2,2	4	6
1.5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,15	2,3	2,5	2,8	2,9
2	2,5	2,8	3,1	3,3	3,45	3,8	4,1	4,5	4,6
5	4,8	5,3	5,7	6,4	6,9	7,8	8,3	9,4	9,6
8	5,8	6,5	7,1	7,8	8,5	9,6	10,3	11,6	12,8
10	6,3	7,1	7,7	8,5	9,3	10,6	11,4	12,6	13,2
20	7,7	8,6	9,4	10,3	11,3	13,0	14,1	15,9	16,6
50	9,5	10,7	11,6	12,7	13,9	16,1	17,5	20,0	21,5
80	10,4	11,7	12,7	14,0	15,5	17,8	19,4	22,2	24,0
100	10,8	12,2	13,2	14,5	16,1	18,5	20,2	23,3	25,0
200	12,0	13,6	14,8	16,3	18,0	20,8	22,8	26,6	28,4
500	13,7	15,6	17,0	18,7	20,6	23,7	25,9	30,6	32,7
1000	15,0	17,0	18,6	20,5	22,6	26,1	28,6	33,7	36,0
2000	16,2	18,5	20,2	22,2	24,5	28,3	31,2	36,8	39,2
5000	17,7	20,1	22,0	24,3	27,0	31,4	34,3	40,7	43,2
10000	19,0	21,6	23,6	26,0	28,8	33,6	36,9	43,7	46,5
20000	20,2	22,8	24,8	27,6	30,6	35,4	39,2	46,5	50,8
50000	21,8	24,6	26,9	29,9	33,0	38,6	42,3	50,4	55,0
100000	23,0	26,0	28,4	31,5	34,9	40,7	44,7	53,4	58,3
200000	24,1	27,3	29,9	33,3	36,8	43,6	47,1	56,4	61,8
500000	25,6	29,1	31,8	35,4	39,1	45,5	49,9	60,2	66,0

Расчет защиты с использованием слоев половинного ослабления. Толщину защитного экрана, снижающую уровни излучения в 2

раза, называют **слоем половинного ослабления** $\Delta_{0,5}$. Эта характеристика часто используется для приближенных оценок защиты. Допустим, что требуется рассчитать защиту для достижения кратности ослабления излучения

$k(d)$ в широком пучке, т. е. с учетом рассеянного излучения. Тогда можно записать

$$k(d) = 2^n, \quad (8.11)$$

где n - требуемое число слоев половинного ослабления. Отсюда искоемая толщина защиты определится из соотношения

$$d = n\Delta_{0,5}. \quad (8.12)$$

Поскольку слой половинного ослабления изменяется с толщиной защиты, трудно выбрать заранее для заданной кратности ослабления $k(d)$ определенное значение $\Delta_{0,5}$. Это и делает методику лишь оценочной, приближенной.

С большей точностью этот метод может быть использован, если известно изменение кратности ослабления излучения с толщиной защиты (например, из универсальных таблиц или соответствующих им универсальных номограмм). При этом нужно иметь в виду, что при сложном спектре первичного излучения, начиная с $k(d) \geq 50$, $\Delta_{0,5}$ почти не изменяется с толщиной.

Расчет защиты с использованием эффективного коэффициента ослабления. Для источников со сложным спектром фотонного излучения часто применяют метод расчета защиты, в котором исполь-

зуют эффективный коэффициент ослабления $\mu_{эф}$ с учетом рассеянного излучения. Кратность ослабления излучения в этом случае записывается в виде

$$k(d) = \exp\left[\mu_{эф}(d)d\right], \quad (8.13)$$

Тогда эффективный коэффициент ослабления с учетом формулы (8.9) может быть рассчитан из соотношения

$$\mu_{эф}(d) = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^m n_i(E_{0i})}{\sum_{i=1}^m n_i(E_{0i}) / [k_i(E_{0i}d)]} \right]. \quad (8.14)$$

Для моноэнергетического источника излучения

$$\mu_{эф}(d) = \frac{\mu d - \ln B(E_0, \mu d, Z)}{d}. \quad (8.15)$$

По аналогии коэффициент $\mu_{эф}(d)$ можно определить из экспериментальных данных.

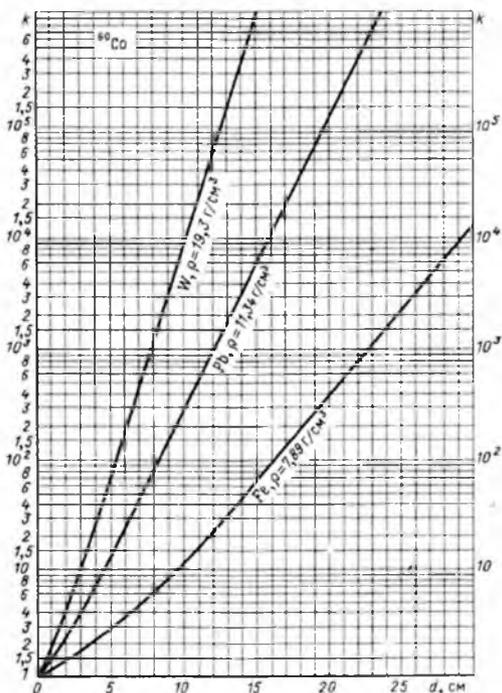


Рис. 8.5. Номограмма зависимости кратности ослабления фотонного излучения ^{60}Co от толщины защиты

8.4. ЗАЩИТА ВРЕМЕНЕМ, КОЛИЧЕСТВОМ, РАССТОЯНИЕМ

Допустимые условия работы с источниками излучения требуют, чтобы выполнялись условия

$$\dot{H}(r) \leq \text{ДМД} \quad \text{или} \quad H(r) \leq \text{ПДД}, \quad (8.16)$$

где r - расстояние от источника до рабочего места, $H(r)$ - эквивалентная доза, которую получает персонал за определённое время работы t с источниками ионизирующего излучения, ДМД - допустимая мощность дозы, ПДД - предельно допустимая эквивалентная доза за этот промежуток времени. Чаще всего ПДД задается как *недельная доза*

$$\text{ПДД} = 36\text{чДМД}, \quad (8.17)$$

где 36 часов - стандартное время работы персонала гр. А с излучением за неделю.

Если защита отсутствует и можно пренебречь рассеянным и вторичным излучением, то имеем

$$\begin{cases} \dot{H}(r) = 1,09 \cdot \bar{w} \frac{A \Gamma_P}{r^2}; \\ H(r) = 1,09 \cdot \bar{w} \frac{A \Gamma_P}{r^2} t \end{cases}, \quad (8.18)$$

Из выражений (8.18) следует, что при отсутствии защиты можно добиться допустимых условий работы с источником излучения следующими способами:

- **временем**, уменьшая время работы с источником, чтобы не превышать недельной дозы, при заданных r и A ;
- **количеством**, уменьшая массу, а соответственно и активность радионуклида, при заданных ДМД (ПДД) и r ;
- **расстоянием**, увеличивая расстояние до источника, при заданных ДМД (ПДД) и A .

Из соотношений (8.7) можно получить формулы для расчета

безопасного расстояния r_0 и **безопасного времени работы** t_0 с источником первичного фотонного излучения при отсутствии защиты

$$r_0 = \sqrt{\frac{1,09 \cdot \bar{w} \cdot 3,6 \cdot 10^{-9} A \Gamma_P t}{\text{ПДД}}}, \text{ м}; \quad (8.19)$$

$$t_0 = \frac{\text{ПДД} r^2}{1,09 \cdot \bar{w} \cdot 3,6 \cdot 10^{-9} A \Gamma_P}, \text{ ч}, \quad (8.20)$$

где t, t_0 - время работы часов в неделю, ПДД в мкЗв за неделю.

8.5. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ

Как отмечено выше, зависимость между мощностью дозы, толщиной защиты d и характеристиками источника с учетом рассеянного в защите излучения определяется выражением

$$\dot{H}(d) = 1,09 \cdot \bar{w} \frac{A \cdot \Gamma_P}{r^2} \exp[-\Sigma(E_0)d] B_D(E_0, \Sigma d),$$

которое можно записать в виде

$$\dot{H}(d) = \dot{H}(0) \exp[-\Sigma d + \ln B_D], \quad (8.21)$$

$$\dot{H}(0) = 1,09 \cdot \bar{w} \frac{A \cdot \Gamma_P}{r^2}$$

где r - мощность эквивалентной дозы на расстоянии r от источника в отсутствие защиты.

При проектировании защиты чаще всего ставится задача определения толщины экрана d , которая обеспечит заданный уровень облучения. Но даже для точечного изотропного и моноэнергетического источника эту задачу решить нелегко, так как уравнение (8.21) трансцендентное и в аналитическом виде не решается.

Перепишем выражение (8.21) в следующем виде

$$k(E_0, d) = \dot{H}(0) / \dot{H}(d) = \exp[-\Sigma d + \ln B_D], \quad (8.22)$$

где k - *кратность ослабления излучения*, которая показывает, во сколько раз защитный экран из данного вещества толщиной d ослабляет первичное и вторичное фотонное излучение от источника с энергией

E_0 . Удобным для практического использования выражения (8.22) является построение таблиц зависимости толщины защиты d от кратности ослабления k для различных энергий E_0 . Наибольшее распространение в практических расчетах получили *универсальные таблицы* (универсальные таблицы Гусева) для расчета защиты от фотонного излучения точечных изотропных моноэнергетических источников в бесконечной геометрии защиты (см., например, [8.6]). В табл. П2.8 приложения 2 приведены табл. 5.40-5.43 из работы [8.6], а в табл. П2.9 - данные [8.1] для расчета защиты из свинцового стекла марки ТФ-5. Отметим, что расчет защиты по универсальным таблицам можно проводить в программе «Компьютерная лаборатория» в режиме PROTECT [8.1].

Условное название «универсальные» эти таблицы получили потому, что с их помощью можно определить: искомую толщину защиты по заданной кратности ослабления дозы (мощности дозы); дополнительную толщину защиты (или ее избыток) к существующей толщине;

толщину защиты по заданной активности или гамма-эквиваленту источника; кратность ослабления по заданной толщине или набору нескольких слоев защиты из различных материалов; линейные и массовые эквиваленты отдельных защитных материалов; толщину слоев половинного или десятикратного ослабления.

Для определения по универсальным таблицам толщины защиты в барьерной геометрии при $\Sigma d \geq 2$ надо требуемую для барьерной

геометрии кратность ослабления $k_{бар}$ умножить на поправку δ_D , которая учитывает отличие дозового ФН в барьерной и бесконечной геометриях, и уже для полученной кратности ослабления

$k = k_{бар} \cdot \delta_D$ определять толщину защиты по универсальным таб-

лицам. Значения δ_D имеются и в самих универсальных таблицах. Учет барьерной геометрии больше влияет на толщину защиты для небольших энергий фотонов.

Пример 1. Рассчитать толщину защиты из воды, чтобы обеспечить предельно допустимые условия облучения персонала группы А при работе с точечным изотропным источником ^{137}Cs , если на рабочем месте без защиты мощность дозы превышает предельно допустимое значение в 660 раз.

Решение. Для определения толщины защиты в барьерной геометрии находим кратность ослабления

$$k = k_{бар} \cdot \delta_D = 660 \cdot 0,763 \approx 500$$

где 0,763 - поправка на барьерность защиты для энергии фотонов ^{137}Cs - 0,662 МэВ (см., табл. П2.8 [8.6]). По этой же таблице для полученной кратности ослабления определяем толщину защиты из воды $d = 117$ см. Без учета поправки на барьерность толщина защиты будет завышена.

Пример 2. Защита из бетона толщиной $d = 31,2$ см при работе с точечным радионуклидным источником ^{60}Co обеспечивала на рабочем месте предельно допустимые условия облучения персонала группы А.

Найти дополнительную толщину защиты Δd , если активность источника возрастет в 100 раз.

Решение. По универсальным таблицам для средней энергии фотонов источника 1,25 МэВ находим, что прежняя толщина защиты d_1

= 31,2 см обеспечивала кратность ослабления $k=10$. Новая кратность ослабления $k_2 = k_1 \cdot 100 = 1000$. По универсальным таблицам для энергии 1,25 МэВ и $k_2 = 1000$ находим требуемую толщину защиты $d_2 = 74,4$ см. Значит, толщина защиты должна быть увеличена на $\Delta d = d_2 - d_1 = 74,4 - 31,2 = 43,2$ см. Поправку на барьерность $\delta_D = 0,867$ можно не учитывать, так как она мала. Толщина защиты будет немного завышена, но это лучше, чем наоборот.

8.6. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ НОМОГРАММ

Зависимость кратности ослабления от толщины защиты, которая определяется выражением (8.22), можно представить в графическом виде. Такие зависимости называются *номограммами (универсальными номограммами)*. Номограммы можно построить и по экспериментальным данным. Например, если измерять в одинаковой геометрии мощность поглощенной дозы в воздухе без защиты $D(0)$ и за защитой толщиной $d - D(d)$, то кратность ослабления $k(d)$ определяется по формуле

$$k(d) = \dot{D}(0) / \dot{D}(d)$$

Используют номограммы для определения толщины защиты от излучения радионуклидов и источников фотонов со сплошным спектром, от точечных и протяженных источников.

Номограммы, так же как и универсальные таблицы, позволяют быстро и с хорошей точностью решать практические задачи проектирования защиты [8.7].

8.7. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЛОСКИХ И ТОЧЕЧНЫХ ИЗОТРОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО СЛОЯМ ОСЛАБЛЕНИЯ

Слой ослабления $\Delta_{1/m}$ указывает толщину защиты, которая ослабляет дозу излучения (плотность потока, интенсивность и т. д.) в m

раз. Наиболее широко в расчетах защиты от фотонного излучения применяют слои половинного $\Delta_{1/2}$ и десятикратного $\Delta_{1/10}$ ослабления. Толщине защиты, равной слою половинного ослабления, соответствует кратность ослабления 2, а толщине, равной $\Delta_{1/10}$, соответствует кратность ослабления 10.

Если нам известна требуемая кратность ослабления поля излучения, например мощности поглощенной дозы, то ее можно представить в виде

$$k = m^{d/\Delta_{1/m}}, \quad (8.23)$$

где d - необходимая толщина защиты, $m = 2$ (10). Из выражения (8.23) легко найти толщину защиты

$$d = \frac{\ln k \cdot \Delta_{1/m}}{\ln m}. \quad (8.24)$$

При расчетах защиты мы имеем дело с широким пучком излучения, спектр которого непрерывно меняется с изменением толщины.

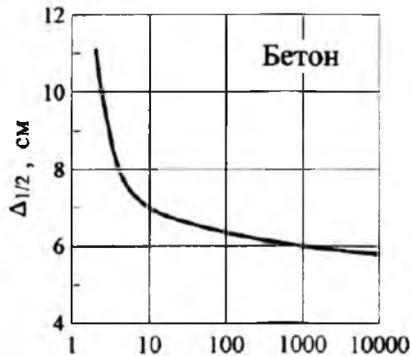


Рис. 8.6. Зависимость толщины слоя половинного ослабления от кратности ослабления

Следовательно, изменяются сечения взаимодействия и величина слоя ослабления. Зависимость $\Delta_{1/2}(k)$ для бетона и точечного изотропного источника ^{60}Co показана на рис. 8.6 [8.6]. Как следует из этого рисунка, для защиты небольшой толщины (малые значения кратности ослабления k) значения $\Delta_{1/2}$ значительно выше, чем для защиты

большей толщины. Это связано с более высокой средней энергией фотонов в первых слоях защиты (в основном здесь нерассеянное высокоэнергетическое излучение и мало рассеянного и вторичного излучения).

С увеличением толщины защиты значения $\Delta_{1/2}$ постепенно выходят на насыщение. Причиной этого является установление примерно постоянной (*квазиравновесной*) формы спектра рассеянного и вторичного излучения на больших толщинах защиты (более 3-4 ДСП). Следует отметить, что всегда с увеличением толщины защиты величина

$\Delta_{1/m}$ стремится к постоянному значению, но форма зависимости $\Delta_{1/m}(d)$ определяется следующими факторами: геометрией и угловым распределением источника; энергией источника; веществом защиты.

В связи с заметным изменением слоя ослабления с увеличением толщины защиты методика расчета с использованием слоев половинного и десятикратного ослабления является приближенной. Как правило, она применяется для быстрых оценок. В практике расчетов защиты по слоям ослабления более часто используют слои десятикратного ослабления. При этом для повышения точности расчета учитывают зависимость

$\Delta_{1/10}(d)$, используя два слоя десятикратного ослабления.

Первый ($\Delta_{1/10}$), значение которого соответствует началу защиты, и последующий ($\Delta_{1/10}^{ac}$ - *асимптотический*), величина которого соответствует большой толщине защиты. В этом случае толщина защиты d определяется следующим образом

$$d = \Delta_{1/10} + \frac{\ln k_1}{\ln 10} \cdot \Delta_{1/10}^{ac}, \quad (8.25)$$

где $k_1 = k / 10$. Значения слоев $\Delta_{1/10}$ и $\Delta_{1/10}^{ac}$ для различных материалов и энергий фотонов плоских моноэнергетических и изотропных источников имеются в справочниках в таблицах (см., например, [8.6]). Часть данных табл. 5.49 [8.6] приведена в табл. 8.3. Если значения слоев ослабления имеются только для бесконечной среды, а находится толщина защиты в барьерной геометрии, то необходимо как и при использовании универсальных таблиц использовать поправку на барьерность:

$k_1 = k_{бар} \cdot \delta_D$. Значения δ_D можно взять из табл. 8.3.

Пример 4. Рассчитать толщину защитного барьера из воды, ослабляющего излучение точечного изотропного источника фотонов с энергией 3 МэВ в 20 000 раз.

Решение 1. В соответствии с формулой (8.13) толщина защиты

$$d = \Delta_{1/10} \cdot \frac{\ln(2 \cdot 10^4 \cdot \delta_D)}{\ln 10}$$

где учтена поправка на барьерность защиты. Из табл. 9.2 находим, что величина $\Delta_{1/10}$ в воде для энергии 3 МэВ равна 91 см, $\delta_D = 0,924$. Тогда толщина защиты из воды равна 390 см.

Решение 2. Будем использовать для решения выражение (8.14) с учетом поправки на барьерность. Значение находим из той же табл. 9.2. В этом случае защитный слой воды меньше

$$d = \Delta_{1/10} + \frac{\ln(k_1 \cdot \delta_D)}{\ln 10} \cdot \Delta_{1/10}^{ac} = 91 + \frac{\ln(2000 \cdot 0,924)}{\ln 10} \cdot 62,5 = 295 \text{ см.}$$

Таблица 8.3

Значения слоёв ослабления (г/см^2) и поправка на барьерность для точечного изотропного источника при измерении дозы в бесконечной среде
Вода

E_0 , МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	δ_D
0,1	29	44	64	81	16,8	
0,2	29	49	73	94	20,2	
0,3	28	51	78	103	23,0	
0,4	27	53	83	110	25,2	
0,5	27	55	87	116	27,5	0,750
0,6	27	57	91	122	29,5	0,759
0,662	27	58	94	126	30,5	0,763
0,7	27	59	96	129	31,5	0,767
0,8	27	60	98	134	32,8	0,777
1,0	28	63	105	144	36,5	0,797
1,25	29	68	115	158	40,5	0,839
1,5	29	71	122	168	44,0	0,863
2,0	31	78	136	190	50,8	0,892
3,0	34	91	161	227	62,5	0,924
4,0	37	101	181	258	72,5	0,941
6,0	41	116	213	305	88,8	0,961
8,0	45	128	236	341	100,5	0,970
10	47	136	253	367	109,8	0,974

Обычный бетон

E_0 , МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	δ_D
0,1	14,3	27,8	45,1	61,2	15,4	
0,2	20,7	41,2	65,8	88,6	21,4	
0,3	22,8	46,9	75,7	102	24,9	
0,4	23,9	51,1	83,5	113	27,7	
0,5	24,8	54,3	89,5	122	30,0	0,799
0,6	25,5	57,0	94,8	130	32,5	0,810
0,662	26,0	58,9	98,2	134	33,6	0,815
0,7	25,8	58,9	98,7	135	34,0	0,819
0,8	26,4	61,9	104	143	36,6	0,829
1,0	27,4	66,5	113	156	40,2	0,845
1,25	28,8	71,8	123	171	44,6	0,867
1,5	29,9	76,4	132	184	48,9	0,882
2,0	32,2	84,4	148	207	56,3	0,905
3,0	36,3	97,5	174	246	68,4	0,930
4,0	38,9	106	193	274	77,6	0,946
6,0	41,9	119	219	315	92,0	0,965
8,0	43,0	125	235	340	100,6	0,976
10	45,8	131	246	356	107,0	0,983

Железо

E_0 , МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	δ_D
0,1	3,2	8,7	16,6	23,7	7,1	
0,2	11,0	26,8	47,3	67,1	18,5	
0,3	15,8	37,9	64,7	89,9	24,1	
0,4	18,9	45,0	77,3	107,3	28,4	
0,5	20,5	50,5	86,8	119,9	31,6	0,869
0,6	22,1	54,4	93,9	130,2	34,1	0,879
0,662	22,9	56,8	97,8	135,7	35,5	0,883
0,7	22,9	57,6	99,4	138,1	36,1	0,886
0,8	24,4	61,5	105,7	147,5	39,0	0,893
1,0	26,0	67,1	116,0	162,5	43,2	0,903
1,25	27,6	72,6	127,0	177,5	47,5	0,911
1,5	30,0	78,1	138,1	193,3	52,5	0,919
2,0	32,3	86,8	154,6	217,8	59,8	0,929
3,0	35,5	97,0	175,2	249,3	69,8	0,943
4,0	36,3	101,8	187,0	266,7	76,3	0,956
6,0	38,7	107,3	197,2	284,0	82,8	0,973
8,0	38,7	106,5	198,0	287,2	85,6	0,983
10	37,9	105,7	197,2	285,6	86,0	0,987

Свинец

E_0 , МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	δ_D
0,1	0,3	0,9	1,9	3,2	1,2	
0,145	0,4	1,2	2,3	3,4	1,1	
0,2	0,9	2,7	5,1	7,6	2,4	
0,3	2,2	6,7	13,6	19,3	6,2	
0,4	3,8	12,5	23,8	34,0	11,0	
0,5	5,9	18,1	34,0	49,9	15,9	0,983
0,6	7,4	22,7	44,2	64,6	20,4	0,984
0,662	8,5	26,1	49,9	73,7	23,0	0,984
0,8	11,0	34,0	63,5	93,0	28,6	0,984
1,0	13,6	43,1	80,5	117,9	35,4	0,986
1,25	17,0	51,0	95,2	139,5	42,0	0,986
1,5	19,3	59,0	110,0	159,9	48,2	0,987
2,0	22,7	68,0	128,1	186,0	55,0	0,989
3,0	24,9	73,7	139,5	203,0	61,2	0,990
4,0	24,9	73,7	139,5	203,0	62,1	0,993
6,0	23,8	70,3	133,8	197,3	61,5	0,994
8,0	23,8	69,2	131,5	193,9	61,2	0,995
10	23,8	68,0	131,5	193,9	61,0	0,996

Решение 3. Найдем толщину защиты с помощью универсальных таблиц, которые дают наиболее более точное значение для моноэнергетического излучения. По табл. П2.8 [8.1, с. 477] для $E_0 = 3$ МэВ и кратности ослабления $2 \cdot 10^4$ с учетом поправки на барьерность получим $d \approx 305$ см.

Как следует из полученных результатов, выделение первого слоя десятикратного ослабления заметно повышает точность расчета защиты методом слоев ослабления.

С еще большей точностью можно рассчитать толщину защиты этим методом, если более подробно учесть изменение величины слоя ослабления с увеличением толщины. Для значений коэффициента ослабления $k \geq 10^3$ это можно сделать, используя слои ослабления $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$ и $\Delta_{1/1000}$. Отметим, что, начиная с $k \geq 10^3$, значение слоя $\Delta_{1/10}$ почти не меняется и может быть заменено на $\Delta_{1/10}^{ac}$. Метод расчета защиты с использованием всех этих слоев ослабления заклю-

чается в следующем: из коэффициента ослабления k выделяем 10^m и записываем его в виде

$$k = l \cdot 10^m \quad \text{или} \quad (k \cdot \delta_D = l \cdot 10^m), \quad (8.26)$$

где $1 \leq l \leq 10$;

2) находим толщину защиты, используя следующие выражения:

$$\begin{cases} m = 0 & d = \Delta_{1/10} \cdot \xi \\ m = 1 & d = \Delta_{1/10} + (\Delta_{1/100} - \Delta_{1/10}) \cdot \xi \\ m = 2 & d = \Delta_{1/100} + (\Delta_{1/1000} - \Delta_{1/100}) \cdot \xi \\ m \geq 3 & d = \Delta_{1/1000} + \Delta_{1/10}^{ac} (m - 3) + \Delta_{1/10}^{ac} \cdot \xi \end{cases}, \quad (8.27)$$

где $\xi = \ln l / \ln 10$.

Значения слоев $\Delta_{1/100}$ и $\Delta_{1/1000}$ для различных материалов и энергий фотонов для плоских моноэнергетических и изотропных источников фотонов имеются в справочниках в таблицах (см., например, [8.6]). Часть данных из табл. 5.49 [8.6] приведена в табл. 8.3.

Решение 4. Воспользуемся для решения задачи из примера 4 формулами (8.26) и (8.27). Тогда получим: $k \cdot \delta_D = 18480$; $l = 1,85$; $m = 4$; $\xi = 0,27$. Из табл. 8.3 находим - $\Delta_{1/1000} = 227$ см. Толщина защитного слоя воды равна $d = \Delta_{1/1000} + \Delta_{1/10}^{ac} (m - 3) + \Delta_{1/10}^{ac} \cdot \xi = 227 + 62,5 + 62,5 \cdot 0,27 = 306$ см, что практически совпадает с результатом, полученным с помощью универсальных таблиц.

Если необходимого вещества защиты в таблицах нет, то значения $\Delta_{1/10}$ и $\Delta_{1/10}^{ac}$ можно получить с помощью интерполяции значений для элементов с ближайшими атомными номерами.

8.8. МЕТОД КОНКУРИРУЮЩИХ ЛИНИЙ

Метод конкурирующих линий используется для расчета защиты от немонотонных источников. Он позволяет проводить расчет защиты для этих источников с помощью методов, разработанных для

моноэнергетических источников, например по универсальным таблицам или слоям ослабления.

Пусть имеется немоноэнергетический источник с дискретным набором энергий E_1, E_2, \dots, E_m и соответствующим процентным вкладом каждой энергии n_1, n_2, \dots, n_m в дозу (мощность дозы, гамма-эквивалент, интенсивность и т. д.). Если спектр непрерывный, то его разбивают на несколько интервалов и определяют в каждом эффективную энергию.

При этом необходимо избегать разделения спектра на большое количество энергетических интервалов и вместе с тем не объединять в один интервал энергии с существенно различными сечениями взаимодействий. В большинстве практических случаев бывает достаточно 3-5 интервалов. Удобно располагать энергии (эффективные энергии) в порядке их уменьшения, т. е. $E_1 > E_2 \dots > E_m$, что соответствует уменьшению проникающей способности излучения.

Затем для каждой эффективной энергии \bar{E}_i с учетом ее относительного вклада n_i определяют необходимую толщину защиты с помощью одного из методов для моноэнергетического излучения, рассмотренных ранее. При этом получаем набор значений толщины защиты: $d_1, d_2, d_3, \dots, d_m$.

Энергию фотонов, для которой требуется наибольшая толщина защиты, называют *главной линией спектра*. Толщину этой защиты обозначим d_Γ . Энергию фотонов, для которой требуется следующая по величине (после главной) толщина защиты, называют *конкурирующей линией*. Эту толщину защиты обозначим d_k . Необходимая толщина защиты d определяется из соотношений

$$\begin{cases} d = d_\Gamma + \Delta_{1/2}, & \text{если } d_\Gamma - d_k \ll \Delta_{1/2} \\ d = d_k + \Delta_{1/2}, & \text{если } d_\Gamma - d_k < \Delta_{1/2} \\ d = d_\Gamma, & \text{если } d_\Gamma - d_k > \Delta_{1/2} \end{cases}, \quad (8.28)$$

где $\Delta_{1/2}$ - наибольшее значение слоя половинного ослабления, найденного для главной и конкурирующей линий спектра.

Этот метод расчета называется методом конкурирующих линий потому, что по мере увеличения толщины защиты главная и конкурирующая линии могут меняться местами или даже уступать место третьей линии, которая раньше была второстепенной. Данную методику и формулы (8.17) применяют также и для расчета защиты от нейтронов.

Пример 5. Рассчитать толщину защиты из обычного бетона ($\rho = 2,35 \text{ г/см}^3$), ослабляющую в k раз ($k = 20; 10^3; 10^5$) поглощенную дозу в воздухе за защитой от фотонного излучения, находящихся в одной точке точечных изотропных источников ^{60}Co и ^{137}Cs . Гамма-эквивалент ^{137}Cs в 4 раза превышает гамма-эквивалент ^{60}Co .

Решение. Для решения задачи будем использовать метод конкурирующих линий. Имеем: $E_1 = 1,25 \text{ МэВ}$, $n_1 = 0,2$; $E_2 = 0,662 \text{ МэВ}$, $n_2 = 0,8$;

$$\sum_i n_i = 1$$

Расчет проводим в следующей последовательности:

1) определяем необходимую кратность ослабления: $k = 20$;
 2) рассчитываем парциальные кратности ослабления фотонов каждой энергетической группы (1 - ^{60}Co ; 2 - ^{137}Cs): $k_1 = 20 \cdot 0,2 = 4$;
 $k_2 = 20 \cdot 0,8 = 16$;

3) для каждой энергетической группы по универсальным таблицам определяем толщину защиты: $d_1 \approx 21 \text{ см}$; $d_2 \approx 30 \text{ см}$. В результате имеем: $d_\Gamma = 30 \text{ см}$, $d_k = 21 \text{ см}$;

4) по универсальным таблицам для соответствующих энергий и кратностей ослабления находим значения слоев половинного ослабления: 1. $\Delta_{1/2} = 8 \text{ см}$; 2. $\Delta_{1/2} = 5,6 \text{ см}$.

Следовательно, наибольшее значение слоя половинного ослабления равно 8 см;

5) в соответствии с выражениями (9.17) находим искомую толщину защиты:

$d = d_\Gamma = 30 \text{ см}$, т. к. $d_\Gamma - d_k = 9 \text{ см}$, что больше $\Delta_{1/2} = 8 \text{ см}$.

Для кратности ослабления 20 главной является энергия 0,662 МэВ, а конкурирующей - 1,25 МэВ. И это несмотря на то, что длина

свободного пробега, которая определяет проникающую способность фотонов, у конкурирующей линии спектра выше. Следует помнить, что толщина защиты определяется не только энергией, но и числом испущенных фотонов.

Таблица 8.4

Расчет защиты для $k = 10^3$

E_i , МэВ	n_i	$k = 10^3$	
		k_i	d_i , см
1,25	0,2	200	60
0,662	0,8	800	57
d_{Γ} , см		60	
$d_{\text{К}}$, см		57	
$(d_{\Gamma} - d_{\text{К}})$, см		3	
$\Delta_{1/2}(1)$, см		6,4	
$\Delta_{1/2}(2)$, см		5,3	
$\Delta_{1/2}$, см		6,4	
$d_{\Gamma} - d_{\text{К}} < \Delta_{1/2}$			
$d = d_{\text{К}} + \Delta_{1/2}$, см		63,4	

Удобно расчеты методом конкурирующих линий оформлять в виде табл. 8.4, что сделаем для кратности ослабления $k = 10^3$.

Для кратности ослабления 10^3 главной стала энергия 1,25 МэВ. При увеличении кратности ослабления энергия спектра, которая обладает наибольшей проникающей способностью, постепенно становится главной линией и определяет толщину защиты.

ГЛАВА 9. РАСЧЁТЫ ЗАЩИТ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ

9.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТ

Защитой являются те материалы, которые располагаются между источником излучения и зоной размещения персонала или оборудования для ослабления потока ионизирующего излучения. Защита от излучения должна обеспечивать:

- Допустимый уровень облучения обслуживающего персонала. Такую защиту называют *биологической*, и она должна сопровождать все излучающие установки, поле излучения которых превышает допустимые уровни.

- Допустимый уровень радиационных повреждений конструкционных материалов и оборудования. Превышение этого уровня может приводить, например, к изменению прочностных характеристик конструкционных материалов, разрушению органических соединений, радиолизу воды и т. д. Такую защиту называют *радиационной*.

- Допустимый уровень радиационного энерговыделения и температурного распределения в конструкционных и защитных материалах. Такую защиту называют *тепловой*.

Радиационную и тепловую защиты конструктивно часто совмещают. Они необходимы только для мощных источников излучения, например, для ядерных реакторов и сильноточных ускорителей. При работе с изотопными источниками, ускорителями на небольшие токи, рентгеновскими аппаратами необходимости в радиационной и тепловой защите не возникает.

Защиты делятся на следующие типы:

Сплошная защита - целиком окружает источник излучения.

Раздельная защита - это такая защита, когда наиболее мощные источники излучения окружает первичная защита (например, защита активной зоны ядерного реактора), а между первичной и вторичной защитой также имеются источники излучения (например, система теплоносителя реактора).

Теневая защита - такая защита устанавливается между источником излучения и защищаемой областью. Размеры защитной области ограничиваются «тенью, отбрасываемой защитой». Часто такая защита используется, когда есть ограничения на ее массу и размеры.

Частичная защита - это ослабленная защита для областей ограниченного доступа персонала. Например, на судне с реактором в ка-

честве энергетической установки частичная защита может осуществляться в направлении дна судна.

По компоновке защита подразделяется на *гомогенную* - состоит из одного вещества (слоя) и *гетерогенную* - состоит из различных веществ (слоев). По форме внешней поверхности все защиты можно разделить на *плоские, сферические и цилиндрические*.

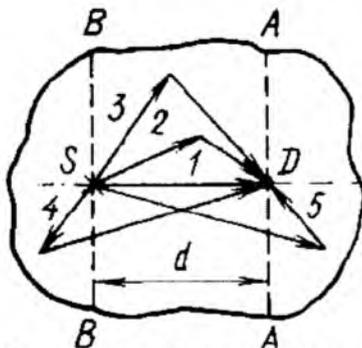


Рис. 9.1. Пример бесконечной защиты

Типы геометрии защиты:

Бесконечная — источник (S) и детектор (D) находятся в защитной среде (рис. 9.1).

Полубесконечная - здесь возможны два случая: источник в среде, а детектор на границе среды (рис. 9.2, а) или наоборот (рис. 9.2, б).

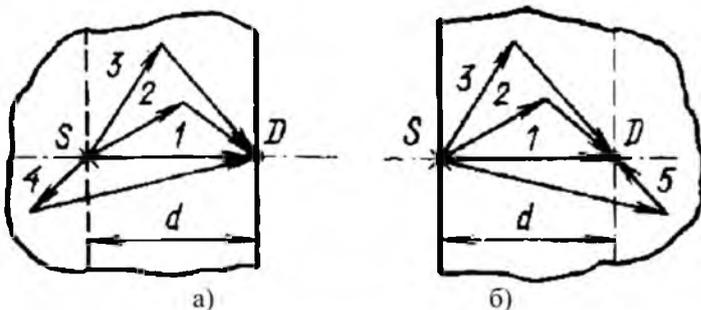


Рис. 9.2. Примеры полубесконечной геометрии защиты

Барьерная - рис. 9.3.

Ограниченная - рис. 9.4

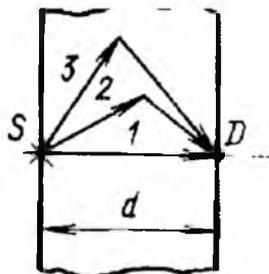


Рис. 9.3. Пример барьерной защиты

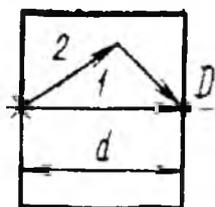


Рис. 9.4. Пример ограниченной защиты

На рис. 9.1-9.4 стрелки и цифры указывают траектории нерассеянных (1) и рассеянных (2-5) в среде частиц.

Критерий бесконечности защиты можно сформулировать следующим образом: если любое окружение выделенной защитной среды любым дополнительным материалом не меняет показаний детектора, то такая среда является бесконечной. То есть практически равна нулю вероятность регистрации частиц, рассеянных за пределами выделенной среды.

Геометрия защиты при постоянном расстоянии (d) между источником и детектором (и постоянной массе вещества между ними) влияет только на рассеянное излучение. Для бесконечной геометрии защиты регистрируется наибольшее количество рассеянного излучения. При переходе к другим геометриям регистрируется меньшее число рассеянных частиц: в полубесконечной геометрии не регистрируются траектории 4 или 5, в барьерной - траектории 4 и 5, в ограниченной - 3, 4 и 5. Таким образом, в ограниченной геометрии регистрируется минимальное количество рассеянного излучения.

Расчет нерассеянного излучения не вызывает трудностей. Основная трудность решения задач физики защиты - расчет поля рассеянного излучения.

9.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО И РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

Выполним расчет защиты от первичного излучения точечных изотропных источников с помощью всех методов, с которыми мы познакомились в предыдущих лекциях. Учтем при этом некоторые дополнительные моменты и запишем окончательные формулы, которые следует использовать при расчете защиты тем или иным методом. Кроме этого, рассчитаем защиту и от рассеянного излучения.

9.2.1. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

На рис. 9.5 изображена геометрия, типичная для расчета защиты от первичного излучения. При этом возможны следующие ситуации:

- защита проектируется впервые, в этом случае расстояние от источника (S) до защиты (R_1) постоянно и задается;
- защита (старая) уже имеется и ее необходимо усилить, но наращивать защиту следует, не уменьшая расстояние R_3 (случай b на рис. 9.5);
- имеющуюся защиту необходимо усилить, но увеличить ее толщину можно только уменьшая расстояние R_3 (случай a на рис. 9.5).

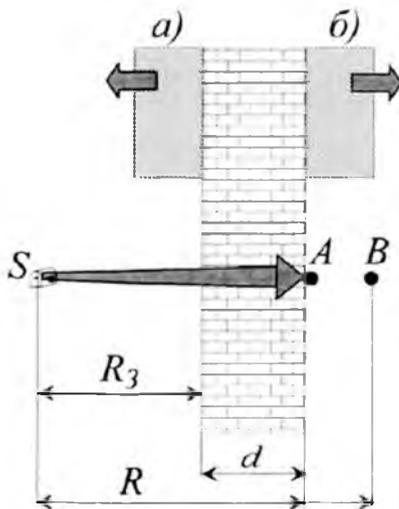


Рис. 9.5. Геометрия расчета защиты от первичного излучения

Из этих начальных условий проектирования защиты следует, что, записывая выражения для расчета ее толщины, в некоторых случаях удобно представить расстояние до защищаемой области (R) как

сумму $R = R_3 + d$, где d – толщина защиты. Расстояние R определяет геометрическое ослабление излучения и также является способом защиты (вспомните: *защита расстоянием*). Толщина защиты d в начале расчета не известна, поэтому для более точного определения d и R необходимо выполнить несколько вычислений. Отметим, что неучет изменения R_3 часто увеличивает толщину защиты, а следовательно, и ее стоимость.

Удобно все формулы для расчета защиты записать, включив в них метод итераций. Сделаем это, рассматривая последовательно известные нам методы ее расчета.

Расчет защиты с помощью универсальных таблиц и номограмм. Основное условие проектирования защиты

$$\dot{H}(R, d) \leq \text{ДМД}, \quad (9.1)$$

т. е. мощность эквивалентной дозы за защитой не должна превышать допустимую мощность дозы для заданной категории облучаемых лиц. С учетом (9.1) выражение для кратности ослабления излучения имеет вид

$$k = \frac{\dot{H}(R, 0)}{\text{ДМД}} = \frac{\alpha}{\text{ДМД}} \cdot \frac{\delta_D}{R^2}, \quad (9.2)$$

где $\alpha = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ АГ}_H, \text{ мкЗв} \cdot \text{ м}^2 / \text{ч}$ – если задана активность источника в Бк; $\alpha = 1,09 \cdot \bar{w} \cdot 7,3 \text{ М}, \text{ мкЗв} \cdot \text{ м}^2 / \text{ч}$ – если задан гамма-эквивалент источника в мг-экв. Ра (фактически α – мощность эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от источника); δ_D – поправка на барьерность.

Если явно выделить расстояние до защиты и использовать метод итераций, то получим выражение, которое удобно использовать при расчете

$$k = \frac{\alpha}{\text{ДМД}} \cdot \frac{\delta_D}{(R_3 + d_{n-1})^2}; (d_0 = 0), \quad (9.3)$$

где R_3 и d в м, ДМД в мкЗв/ч. Количество итераций определяет точность вычислений. Как правило, достаточно выполнить 2-3 итерации.

В случаях, когда расстояние до защищаемой области (R) не меняется (на рис. 9.5 это случай a или $t. B$ (защищаемая область находится далеко от защиты), то достаточно одной итерации и вместо выражения (9.3) имеем

$$k = \frac{\alpha}{\text{ДМД}} \cdot \frac{\delta_D}{(R)^2} \quad (9.4)$$

Это замечание относится ко всем методам расчета.

Метод слоев ослабления. При известном значении слоя ослабления $\Delta_{1/m}$ толщину защиты можно найти из выражения

$$d = \frac{\Delta_{1/m}}{\ln m} \ln(k \cdot \delta_D) \quad (9.5)$$

где δ_D - поправка на барьерность.

Выделим расстояние до защиты и воспользуемся методом итераций, тогда получим

$$d = \frac{\Delta_{1/m}}{\ln m} \ln k_n = \frac{\Delta_{1/m}}{\ln m} \ln \left[\frac{\alpha}{\text{ДМД}} \cdot \frac{\delta_D}{(R_3 + d_{n-1})^2} \right]; (d_0=0), \quad (9.6)$$

где для нахождения α см. выражение (9.2).

Выражение (9.6) можно уточнить, если ввести два слоя ослабления, например, $\Delta_{1/10}$ - первый и $\Delta_{1/10}^{ac}$ - последующие, тогда

$$d_n = \Delta_{1/10} + \frac{\Delta_{1/10}^{ac}}{\ln} \ln \left[\frac{\alpha}{10 \text{ ДМД}} \cdot \frac{\delta_D}{(R_3 + d_{n-1})^2} \right]; (d_0=0). \quad (9.7)$$

Учитывать поправку на барьерность необходимо, если слои ослабления получены для бесконечной геометрии.

Метод ослабления широкого пучка (МОШП). Так условно будем называть метод расчета защиты, который основан на выражении

для поля излучения (например, мощности эквивалентной дозы) точечного изотропного источника с учетом рассеянного излучения

$$\dot{H}(R, d) = \dot{H}(R, 0) \exp[-\Sigma(E)d] B_D(E, \Sigma d) \delta_D, \quad (9.8)$$

где $\dot{H}(R, 0) = \alpha / R^2$ - мощность эквивалентной дозы на расстоянии R от источника только от нерассеянного излучения без учета ослабления в защите (выражение для α см. выражение 9.2), δ_D - поправка на барьерность, она необходима, если используются значения ФН для бесконечной геометрии.

С учетом (9.1) из (9.8) легко получить выражение для определения толщины защиты

$$d = \frac{1}{\Sigma(E)} \ln \left[\frac{\alpha B_D(E, \Sigma d) \delta_D}{\text{ДМД} R^2} \right]. \quad (9.9)$$

Решим это трансцендентное уравнение методом итераций и выделим явно расстояние до защиты, тогда получим окончательное выражение

$$d = \frac{1}{\Sigma(E)} \ln \left[\frac{\alpha B_D(E, \Sigma d_{n-1}) \delta_D}{\text{ДМД} (R_3 + d_{n-1})^2} \right]; \quad (d_0 = 0) \quad (9.10)$$

Для расчетов толщины защиты по формуле (9.10) необходимы значения коэффициентов ослабления фотонов и ФН.

Сделаем несколько замечаний к расчету защиты:

- поправку на барьерность можно учесть, если энергия не менее 0,5 МэВ;
- если радионуклид имеет в спектре много линий, то следует использовать метод номограмм или использовать метод конкурирующих линий;
- расчет всей защиты, для различных веществ защиты лучше проводить одним методом, так как все методы расчета имеют различную точность;
- если два вещества имеют примерно одинаковое, но различную плотность (например, бетон, кирпич, штукатурка), то для нахождения толщины защиты из второго вещества при известной толщине первого можно использовать условие равенства массовых толщин:

$$d_1 \rho_1 = d_2 \rho_2, \text{ откуда имеем } d_2 = d_1 \rho_1 / \rho_2;$$

Таблица 9.1

Мощность эквивалентной дозы, используемая при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения

Категория облучаемых лиц		Назначение помещений и территорий	Продолжительность облучения часов за год	Проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
Персонал	Гр. А	Помещение постоянного пребывания персонала	1700	6,0
		Помещение временного пребывания персонала	850	12
	Гр. Б	Помещение организации и территория СЗЗ, где находится персонал группы Б	2000	1,2
Население		Любые другие помещения и территории	8800	0,06

Примечание. Для периодических излучателей (например, ускорителей) расчёт ведётся для мощности дозы, усреднённой в течение смены работы персонала.

- если два вещества имеют различные атомные номера и непосредственный расчёт защиты для второго вещества выполнить нельзя, то для нахождения толщины защиты из второго вещества (при известной толщине первого) можно использовать условие одинаковой кратности ослабления

$$\dot{H}(d=0) \cdot \exp(-\Sigma_1 d_1) B_{D_1} = \dot{H}(d=0) \cdot \exp(-\Sigma_2 d_2) B_{D_2},$$

откуда легко получить

$$d_2 = \frac{1}{\Sigma_2} \left(\Sigma_1 d_1 + \ln \frac{B_{D_2}}{B_{D_1}} \right) \quad (9.11)$$

Если пренебречь различием ФН, то получим более простое (но менее точное) выражение

$$d_2 = \frac{1}{\Sigma_2} (\Sigma_1 d_1) \quad (9.12)$$

Пример. Проводятся работы с источником ^{192}Ir , который имеет гамма-эквивалент 30 г-экв. Ра. Найти толщину защиты из бетона и железа (защитная дверь) для безопасной работы персонала группы Б. Расстояние от источника до защиты не менее 2 м.

Решение. Проведем расчеты с помощью всех методов, которые мы рассмотрели. Радионуклид ^{192}Ir имеет сложный спектр, и все расчеты (кроме метода номограмм) проведем по эффективной энергии спектра

$$E_{\text{эфф}} = \frac{\sum_i E_{\gamma i}}{\sum_i n_{\gamma i}} = \frac{0,811}{2,26} = 0,359$$

МэВ,

чтобы оценить точность такого приближения. Так как мы проектируем защиту, то в качестве ДМД необходимо брать значения для соответствующей категории облучаемых лиц с коэффициентом запаса 2, т.е. из табл. 9.1.

Для нашей задачи это 1,2 мкЗв/ч.

Расчет по универсальным таблицам. По условию задачи задано расстояние до защиты, поэтому проведем расчет по формуле (9.3), учитывая изменение расстояния до защищаемой области с помощью метода итераций

$$k_1 = \frac{1,09 \cdot 7,3 \cdot 30 \cdot 10^3}{1,2} \cdot \frac{1}{2^2} \approx 5 \cdot 10^4$$

По универсальным таблицам (см. табл. П2.8 [9.1, с. 477]) найдем $d_{1,\text{бет}} \approx 665$ мм; $d_{1,\text{Fe}} \approx 185$ мм.

Следующая итерация для бетона дает

$$k_2 = \frac{1,09 \cdot 7,3 \cdot 30 \cdot 10^3}{1,2} \cdot \frac{1}{(2 + 0,67)^2} \approx 2,8 \cdot 10^4; \quad d_{2,\text{бет}} \approx 625$$
 мм.

Вторую итерацию для железа можно не делать, так как расстояние до двери много больше ее толщины. Окончательно имеем: $d_{\text{бет}} = 625$ мм; $d_{\text{Fe}} = 185$ мм.

Метод ослабления широкого пучка. Расчет проводим в соответствии с выражением (9.10). Дополнительно нам потребуются значения коэффициентов ослабления для бетона и железа. Берем эти данные из табл. П2.4 (см. [9.2, с. 453]): $\Sigma_{\text{бет}} = 0,23$ см⁻¹; $\Sigma_{\text{Fe}} = 0,75$

см⁻¹.

Бетон.

$$d_0 = 0; B_D = 1; d_1 = \frac{1}{0,23} \ln \left(\frac{1,09 \cdot 7,3 \cdot 3 \cdot 10^4}{1,2} \cdot \frac{1}{2^2} \right) = 470 \text{ мм};$$

$$\Sigma d_1 = 10,8; B_D(E, \Sigma d_1) \approx 55 \quad (\text{см. табл. 5.13 в [9.5];}$$

$$d_2 = \frac{1}{0,23} \ln \left(2 \cdot 10^5 \frac{55}{(2 + 0,47)^2} \right) = 630 \text{ мм}; \quad \Sigma d_2 = 14,5;$$

$$B_D(E, \Sigma d_1) \approx 95; d_3 = \frac{1}{0,23} \ln \left(2 \cdot 10^5 \frac{95}{(2 + 0,63)^2} \right) = 645 \text{ мм}.$$

Принимаем окончательно $d_{\text{бет}} = 645$ мм. Полученный результат лучше согласуется с расчетом по универсальным таблицам и заметно меньше результата, полученного с помощью номограмм. Толщина защиты занижена, так как расчет проводили для эффективной энергии, не учитывая высокоэнергетические (более проникающие) линии спектра источника. *Расчет толщины защиты из железа выполните самостоятельно.*

Метод слоев ослабления. Будем использовать слои десятикратного ослабления $\Delta_{1/10}$.
Бетон

1) Расчет по формуле (9.6). В соответствии с табл. 9.1 $\Delta_{1/10} = 49 \text{ г/см}^2 = 20,9 \text{ см}$ (для стандартной плотности обычного бетона $2,35 \text{ г/см}^3$).

$$d_1 = \frac{20,9}{2,3} \ln \left(2 \cdot 10^5 \frac{1}{2^2} \right) = 985 \text{ мм}; \quad d_2 = \frac{20,9}{2,3} \ln \left(2 \cdot 10^5 \frac{1}{(2 + 0,985)^2} \right) = 910$$

мм.

Следующая итерация изменит результат незначительно, поэтому принимаем $d_{\text{бет}} = 910$ мм. Очень неточный результат, большое расхождение со всеми предыдущими расчетами. Причина в том, что мы используем первый слой десятикратного ослабления для расчета всей

толщины защиты. Но, как отмечалось выше, величина слоя $\Delta_{1/10}$ уменьшается с увеличением ее толщины.

2) Расчет по формуле (9.7) с выделением первого слоя десятикратного ослабления.

Из табл. 9.1 находим, что $\Delta_{1/10}^{ac} \approx 11,3$ см. Две итерации по формуле (9.7) дают следующие результаты:

$$d_1 = 20,9 + \frac{11,3}{2,3} \ln \left(2 \cdot 10^4 \frac{1}{2^2} \right) = 630 \text{ мм};$$

$$d_2 = 20,9 + \frac{11,3}{2,3} \ln \left(2 \cdot 10^4 \frac{1}{(2 + 0,63)^2} \right) = 600 \text{ мм}.$$

Окончательное значение $d_{\sigma_{em}} = 600$ мм. Этот результат лучше согласуется с методом ослабления широкого пучка и расчетом по универсальным таблицам, но занижен по сравнению с методом номограмм, т. к. расчет проводился для эффективной энергии спектра источника.

9.2.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Помимо обеспечения защиты от первичного излучения в некоторых случаях приходится решать вопросы защиты от *рассеянного излучения*. В состав рассеянного излучения входят фотоны, образованные в основном в результате отражения (альbedo) первичного излучения от рассеивающей поверхности. Например, на рис. 10.6 изображен типичный случай, возникающий при дефектоскопии изделий с помощью гамма-излучения радионуклидов.

Может возникнуть вопрос о целесообразности расчета защиты от рассеянного излучения, так как, во-первых, при рассеянии часть энергии фотонов поглощается и энергия рассеянного излучения меньше, во-вторых, величина альbedo меньше 1 (а часто и много меньше), и число отраженных фотонов меньше числа фотонов источника. Поэтому защита от первичного излучения вполне обеспечит защиту и от рассеянного излучения. Но, по отмеченным выше двум причинам, толщина защиты от рассеянного излучения меньше (часто много меньше), чем от первичного, а поэтому и дешевле. Имея данные о толщине защиты от первичного и рассеянного излучения, можно оптимизировать защи-

ту помещения с целью уменьшения ее стоимости. Надо выбирать такое расположение источника и направление его излучения, чтобы при обязательном выполнении поставленной производственной (научной) задачи стоимость защиты была минимальной. Иногда целесообразно изменить технологию процесса, чтобы вообще исключить необходимость защиты от первичного излучения и защищаться только от рассеянного.

Расчет защиты от рассеянного гамма-излучения с помощью универсальных таблиц. Мощность эквивалентной дозы в т. А (рис. 9.2) можно определить следующим образом

$$\dot{H} = \dot{H}_S a_D(E_0, \theta_0; \theta, \varphi) \frac{1}{R^2}, \text{ мкЗв/ч}, \quad (9.13)$$

где

$$\dot{H}_S = \dot{H}_0 \cos \theta_0 S, \text{ мкЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{ч} \quad (9.14)$$

- мощность эквивалентной дозы, «упавшая» на всю площадку S (м^2)

(рис. 9.6). Причем $S = f(\theta_0, \theta_K)$, где θ_0 - угол падения первичного излучения на поверхность рассеивателя относительно нормали, θ_K - угол раствора коллиматора источника (половина угла при вершине конуса коллиматора).

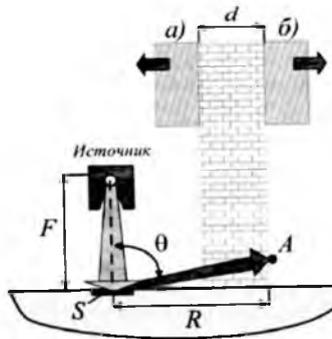


Рис. 9.6. Геометрия расчета защиты от рассеянного излучения

$$\dot{H}_0 = \frac{\alpha}{F^2}, \text{ мкЗв/ч} \quad (9.15)$$

- мощность эквивалентной дозы от первичного пучка на поверхности рассеивателя. Значение α - см. выражение (10.2), а F - расстояние от источника до центра площадки S . $a_D(E_0, \theta_0; \theta, \varphi)$ - дифференциальное дозовое альbedo в направлении, определяемом углами θ, φ ; R - расстояние от центра площадки S до точки А, в которой определяется поле рассеянного излучения.

Пренебрежем зависимостью дифференциального альbedo от направления выхода рассеянного излучения и будем определять его величину следующим образом

$$a_D(E_0, \theta_0; \theta, \varphi) = a_D(E_0, \theta_0) / 2\pi \quad (9.16)$$

где $a_D(E_0, \theta_0)$ - интегральное дозовое альbedo. Отметим, что точность такого упрощения вполне достаточна для расчета защиты. Подставляя выражения (9.14), (9.15) и (9.16) в (9.13), получим

$$\dot{H} = \frac{\alpha \cdot \cos \theta_0 \cdot S \cdot a_D(E_0, \theta_0)}{2\pi F^2 R^2} \quad (9.17)$$

Выражение (9.17) определяет мощность эквивалентной дозы рассеянного излучения на расстоянии R от места падения первичного пучка. Размерность \dot{H} в соответствии с размерностью величины α - (мкЗв/ч).

Дальше поступаем стандартно для этого метода расчета:

- зная \dot{H} и ДМД, находим кратность ослабления $k = \dot{H} / \text{ДМД}$;
- по универсальным таблицам находим толщину защиты d .

При расчете защиты от рассеянного излучения надо ориентироваться на наибольшую энергию этого излучения (большая толщина защиты), чему соответствует наименьший угол рассеяния первичного излучения θ_s .

В большинстве практических случаев первичное излучение падает вертикально вниз, и тогда наименьший угол рассеяния $\theta_s \approx 90^\circ$ и рассеянное излучение распространяется вдоль поверхности рассеивателя. При этом полагают, что средняя энергия рассеянного гамма-излучения радионуклидов $\bar{E}_s = 0,15$ МэВ [9.5]. Но эффективная энергия первичного гамма-излучения радионуклидов может быть

меньше 0,15 МэВ, поэтому будем использовать для \bar{E}_S следующие значения:

$$\bar{E}_S = 0,15 \text{ МэВ, если } E_{\text{эфф}} > 0,15 \text{ МэВ;}$$

$$\bar{E}_S = E_{\text{эфф}}, \text{ если } E_{\text{эфф}} \leq 0,15 \text{ МэВ. Так как при комптоновском рассеянии чем меньше энергия первичных фотонов, тем меньше}$$

потерянная энергия при рассеянии и тем ближе \bar{E}_S к $E_{\text{эфф}}$.

Если расстояние R не меняется с изменением толщины защиты d , то выражения (9.17) достаточно для определения ее толщины. Если же расстояние R возрастает с увеличением d (см. случай б) на рис. 10.6, то удобно в выражение (9.17) ввести расстояние до защиты R_3 . Кроме этого, воспользуемся методом итераций и тогда получим окончательное выражение для кратности ослабления, которое надо использовать для расчета защиты от рассеянного излучения с помощью универсальных таблиц

$$k_n = \frac{1,09 \cdot \bar{w} \cdot 7,3M \cos \theta_0 Sa_D(E_0, \theta_0)}{2\pi \text{ДМД} F^2 (R_3 + d_{n-1})^2} \quad (d_0 = 0)$$

Выражение (9.18) записано для случая, когда источник задан через его гамма-эквивалент.

Пример. Рассчитать толщину защиты из бетона от рассеянного излучения ^{60}Co активностью 6000 Кн. Первичный пучок направлен вертикально вниз в бетонный пол, $F = 1$ м, расстояние до защиты $R_3 = 2$ м. Угол раствора конического коллиматора в защитном контейнере равен 15° . За защитой находится население.

Решение

1. Находим величину площади S , на которую падает первичный пучок

$$S = \pi r^2 = \pi (F \cdot \text{tg } 15^\circ)^2 = 0,23 \text{ м}^2.$$

2. Из табл. 9.1 (см. [9.1, с.167] находим интегральное дозовое альбедо $a_D(E_0, \theta_0) = a_D(1,25; 0^\circ) = 0,038$

3. Записываем выражение для кратности ослабления с учетом того, что задана активность источника

$$k_n = \frac{3,6 \cdot 10^{-9} A \Gamma_H \cdot \cos \theta_0 S a_D (E_0, \theta_0)}{2\pi \text{ДМД} F^2 (R_3 + d_{n-1})^2} \quad (d_0 = 0)$$

4. Первая итерация (ДМД = 0,06 мкЗв/ч): $k_1 = 4,4 \cdot 10^5$. По универсальным таблицам Гусева (см. табл. П2.8 [9.1, с. 477]) для эффективной энергии рассеянного излучения 0,15 МэВ находим толщину бетонной защиты $d_1 \approx 550$ мм.

5. Вторая итерация, $k_1 = 2,7 \cdot 10^5$, $d_2 \approx 530$ мм.

6. Принимаем за окончательный результат $d_{\text{дем}} = 530$ мм.

Самостоятельно рассчитайте для этого источника толщину за-

щиты из бетона от первичного излучения, полагая $R_3 = 2$ м. Сравните полученный результат с предыдущим. Во сколько раз можно уменьшить толщину защиты (а следовательно и стоимость), если проектировать ее только от рассеянного излучения?

Нами рассмотрен лишь один метод расчета защиты от рассеянного гамма-излучения радионуклидов - с помощью универсальных таблиц. На этом и ограничимся. В литературе (см., например, [9.5]) приводятся и другие методы, но их точность много ниже рассмотренного метода.

В заключение запишем формулы для расчета *безопасного расстояния R_0 и безопасного времени работы t_0* (в течение недели) с источником рассеянного фотонного излучения при отсутствии защиты (см. формулы (9.8) и (9.9) - для первичного излучения). Это особенно важно при работе с источниками малой мощности. Соответствующие выражения легко получить из формулы (9.17), если заменить в ней \dot{H} на ДМД = ПДД/ t , где ПДД - предельно допустимая эквивалентная доза за неделю (мкЗв), а t - время работы за неделю (ч)

$$R_0 = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \cos \theta_0 S a_D (E_0, \theta_0) t}{2\pi \text{ПДД} F^2}} \quad , \text{ м}; \quad (9.19)$$

$$t_0 = \frac{2\pi \text{ ПДД } F^2 R^2}{\alpha \cdot \cos \theta_0 S a_D (E_0, \theta_0)}, \text{ ч.} \quad (9.20)$$

9.3. ЗАЩИТА ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

9.3.1. ЗАЩИТА ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

β - ЧАСТИЦ

Под β - частицами понимают электронное и позитронное излучение, возникающее при β - распаде ядер. При прохождении через вещество β - частицы теряют часть своей энергии на тормозное излучение, которое имеет большую проникающую способность и может представлять радиационную опасность.

Гамма-постоянные радионуклидов [9.1] не учитывают вклада в дозу от тормозного излучения, которое образуется при торможении β - частиц в веществе источника и защитном фильтре. Для большинства β - излучающих радионуклидов выход тормозного излучения мал по сравнению с основным гамма-излучением, и им пренебрегают. Однако некоторые радионуклиды испускают β - частицы больших энергий и дают заметное тормозное излучение. В качестве примера в табл. 10.2 приведены характеристики β - частиц некоторых радионуклидов [9.1], где E_{β_i} - наибольшая энергия β - частиц в непрерывном спектре β - излучения i -го β - перехода; \bar{E}_{β} - средняя энергия β - частиц, определенная по энергетическому спектру β - излучения радионуклида.

Рассмотрим способы расчета защиты от тормозного излучения точечных радионуклидов.

Формула Виарда

1) По формуле Виарда определяем энергию тормозного излучения, испускаемую на 1 распад ядра

$$I_{\beta} = 1,23 \cdot 10^{-4} (Z + 3) \sum_{i=1}^m n_{\beta_i} E_{\beta_i}^2 \quad (\text{МэВ/распад}), \quad (9.21)$$

где E_{β_i} - максимальная энергия β - частиц i -го β - перехода; Z - атомный номер вещества, в котором тормозятся β - частицы. Если размеры источника малы и самопоглощением β - частиц можно пренебречь, то Z - это атомный номер материала ампулы, в которой находится радиоактивный препарат. Формула (9.21) предполагает полное поглощение β - частиц. Если вещество, где поглощаются β - частицы, неоднородное, то вместо Z следует использовать $Z_{эфф}$

$$Z_{эфф} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i^2}{\sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i} \quad (9.22)$$

где α_i - доля атомов с атомным номером Z_i .

Таблица 9.2

Характеристики β - излучения радионуклидов

Материнский и дочерний нуклиды	$T_{1/2}$	E_{β} , кэВ	n_{β} , %	\bar{E}_{β} , кэВ/распад
${}^{86}_{37}Rb \rightarrow {}^{86}_{38}Sr$	18,63 сут	698,0 1774,6	8,78 91,22	668,9
${}^{140}_{57}La \rightarrow {}^{140}_{58}Ce$	40,28 ч	262,0 3760,0	100	542,6
${}^{198}_{79}Au \rightarrow {}^{198}_{80}Hg$	2,695 сут	284,8 960,7 1372,5	1,3 98,7 0,025	304,4
${}^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S$	14,282 сут	1710,4	100	694,5

2) Считая источник точечным и изотропным излучателем, найдем интенсивность всего тормозного излучения источника с заданной активностью A (Бк), излучаемого в единицу времени в направлении детектора

$$I = 10^{-4} \frac{I_{\beta} A}{4\pi R^2}, \text{ МэВ/см}^2 \cdot \text{с}, \quad (9.23)$$

где R (м) - расстояние от источника до детектора.

3) Определяем мощность эквивалентной дозы

$$\dot{H} = \bar{w}\dot{D} = 5,8 \cdot 10^{-5} \bar{w} I \mu_{noz}^{TK} (E_{эфф}) \text{, мкЗв/ч, (9.24)}$$

где μ_{noz}^{TK} (см²/г) массовый коэффициент поглощения энергии в биологической ткани; $E_{эфф}$ (МэВ) - эффективная энергия тормозного излучения. С достаточной точностью можно считать, что $E_{эфф} = 0,5 \max(E_{\beta})$.

4) Вычисляем необходимую кратность ослабления $k = \dot{H} / \text{ДМД}$ по универсальным таблицам Гусева для заданного вещества защиты и $E_{эфф}$ находим толщину защиты.

Если выделить расстояние до защиты и применить метод итераций, то кратность ослабления удобно определять по следующей формуле:

$$k_n = \frac{5,8 \cdot 10^{-5} \bar{w} I_{\beta} A \mu_{noz}^{TK} (E_{эфф})}{4\pi \text{ДМД}} \cdot \frac{1}{(R_s + d_{n-1})^2}, (d_0 = 0) \text{ (9.25)}$$

Пример. Радионуклид ³²P активностью 10 Ки находится в медной ампуле, стенки которой полностью поглощают β - частицы. Найти толщину свинцового экрана для защиты персонала группы А от тормозного излучения на расстоянии 2 м от источника.

Решение. Максимальная энергия β - частиц приведена в табл.

9.2. По формуле (9.21) для $Z = 29$ вычисляем $I_{\beta} = 0,012$ (МэВ/распад).

По формуле (9.25) для $E_{эфф} = 0,86$ МэВ; $\mu_{noz}^{TK}(0,86) = 0,0315$ см²/г и

ДМД = 12 мкЗв/ч находим $k_1 = 13$. По универсальным таблицам находим толщину защиты $d = 37$ мм свинца. Следующую итерацию можно не делать.

Гамма-постоянная. Используя выражения (9.21) и (9.24), можно вычислить гамма- постоянную источника от тормозного излучения β - частиц, т. е. мощность поглощенной дозы в воздухе (эквивалентной дозы, кермы), создаваемую точечным источником активностью 1 Бк на расстоянии 1 м от него при полном поглощении β - частиц

$$\Gamma_D^\beta = 249(Z + 3) \sum_{i=1}^m n_{\beta_i} E_{\beta_i}^2 \mu_{\text{воз}}^{\text{воз}}(E_{\text{эфф}}) \quad , \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}, \quad (9.26)$$

Значение Γ_D^β можно добавить к основной гамма-постоянной и затем проводить расчет защиты с помощью универсальных таблиц Гусева.

Метод конкурирующих линий. Если известен спектр тормозного излучения β - частиц, то более точно толщину защиты можно определить по методу конкурирующих линий (см. гл. 8). Но такой расчет требует больших затрат времени.

9.3.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ

Защита от тормозного излучения электронов с энергиями 0,2...3,0 МэВ. Суммарную энергию тормозного излучения, образующегося при полном торможении в веществе с большим атомным номером электронов с кинетическими энергиями 0,2.. .3,0 МэВ, можно определить по эмпирической формуле [9.1]

$$I_e = 5,77 \cdot 10^{-4} Z T_0^2 \quad , \text{ МэВ/электрон}. \quad (9.27)$$

Если вещество сложное, то вместо Z надо использовать $Z_{\text{эфф}}$ в соответствии с формулой (9.22). Затем поступаем следующим образом:

- источник полагаем точечным и изотропным, испускающим I_e МэВ/электрон тормозного излучения. Зная ток ускорителя i , находим число ускоренных электронов и вычисляем мощность эквивалентной дозы на расстоянии R (м) от источника по формуле

$$\dot{H} = \frac{3,6 \cdot 10^{11} \bar{w} I_e i \mu_{\text{воз}}^{\text{TK}}(E_{\text{эфф}})}{4\pi R^2} \quad , \text{ мкЗв/ч}, \quad (9.28)$$

где ток i - в мА, $\mu_{\text{ноз}}^{\text{ТК}}$ - в см²/г, $E_{\text{эфф}} = (2/3)E_0$;

- находим кратность ослабления и по универсальным таблицам

для заданного вещества защиты и $E_{\text{эфф}}$ находим толщину защиты.

Если, как и ранее, ввести расстояние до защиты и использовать метод итераций, то кратность ослабления удобно определять по следующей формуле

$$k_n = \frac{3,6 \cdot 10^{11} \bar{w} I_e i \mu_{\text{ноз}}^{\text{ТК}}(E_{\text{эфф}})}{4\pi \text{ДМД}} \cdot \frac{1}{(R_s + d_{n-1})^2}, (d_0 = 0) \quad (9.29)$$

Пример 2. Найти толщину защитной двери из железа для персонала группы А от тормозного излучения электронного ускорителя на энергию 1 МэВ и ток 0,1 мА. Расстояние до двери от вольфрамовой мишени ускорителя равно 3 м.

Решение. По формуле (10.27) вычисляем $I_e = 0,043$

МэВ/электрон; находим $\mu_{\text{ноз}}^{\text{ТК}}(0,67) = 0,0325$ см²/г. Подставляя эти значения в выражение (9.29) для ДМД = 6 мкЗв/ч, определяем крат-

ность ослабления $k_1 = 74$. По универсальным таблицам для $E_{\text{эфф}} =$

0,67 МэВ находим толщину защиты $d_1 = 115$ мм железа. Следующую итерацию можно не делать.

Метод слоев ослабления. Обозначим через \dot{D}_y мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения электронного ускорителя [9.8]. Эта величина численно равна мощности тканевой поглощенной дозы на расстоянии 1 м от мишени ускорителя при единичном токе электронов, падающих на мишень (Гр·м²/мин·мА;

Гр·м²/ч·мА и т. д.). Зная \dot{D}_y , легко найти мощность тканевой поглощенной дозы от тормозного излучения электронного ускорителя на заданном расстоянии R от мишени при известном токе i

$$\dot{D} = \dot{D}_y \frac{i}{R^2} \quad (9.30)$$

Мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения зависит от энергии и тока ускоренных электронов, вещества мишени и в меньшей степени от конструкции ускорителя. Значение

\dot{D}_y необходимо брать из технических характеристик ускорителя, но если для данного ускорителя этой величины нет, то с некоторой погрешностью можно использовать литературные данные [9.8, 9.10], которые имеются для интервала энергий ускоренных электронов 0,3... 100 МэВ и для различных направлений выхода тормозного излучения из мишени ускорителя. Будем рассматривать эти данные как мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения некоторых «стандартных» ускорителей \dot{D}_{yc} .

На рис. 9.7 приведены значения \dot{D}_{yc} из [9.10] для нормального падения электронов на очень толстые мишени из вещества с $Z > 73$ и для углов выхода тормозного излучения 0° и 90° относительно направления электронного пучка (кривые 1 и 2). Показатель тканевой поглощенной дозы определяется как максимальное значение поглощенной дозы внутри шара диаметром 30 см из тканезквивалентного материала с плотностью 1 г/см^3 .

Следует отметить, что результаты в [9.10] соответствуют очень сильному самопоглощению тормозного излучения, выходящего «вперед» (0° - 90°), в самой мишени ускорителя. Для энергий менее 2 МэВ это приводит к тому, что показатель тканевой поглощенной дозы в направлении «назад» (90° - 180°) превышает значения «вперед».

Если тормозное излучение падает на защиту толщиной d , то кратность ослабления излучения этой защитой определяется выражением

$$k_n = \frac{\bar{w}\dot{D}_y}{ДМД} \cdot \frac{1}{(R_3 + d_{n-1})^2}, (d_0 = 0) \quad (9.31)$$

где ток i - в мА, а величина \dot{D}_y должна иметь размерность $\text{мкГр} \cdot \text{м}^2/\text{ч} \cdot \text{мА}$.

Выражение записано с учетом метода итераций и с выделением расстояния до защиты. Толщина защиты из бетона от тормозного излучения электронных ускорителей на большие энергии может составлять несколько метров, поэтому всегда необходим учет геометрического ослабления излучения.

За эффективную энергию тормозного излучения будем принимать энергию $E_{эфф} = (2/3)E_0$, но расчет защиты по $E_{эфф}$ заметно занижает ее толщину, так как не учитывается высокоэнергетическая часть спектра.

При проектировании защиты от тормозного излучения из материалов с большим атомным номером (свинец и др.) в [9.9] рекомендовано определять следующим образом:

- $E_{эфф} = (2/3)E_0$ при $E_0 \leq 1,7$ МэВ;
- $E_{эфф} = E_0 / 2$ при $1,7$ МэВ $< E_0 \leq 10$ МэВ;
- $E_{эфф} = 5$ МэВ при 10 МэВ $< E_0 \leq 15$ МэВ;
- $E_{эфф} = E_0 / 3$ при 15 МэВ $< E_0 \leq 100$ МэВ.

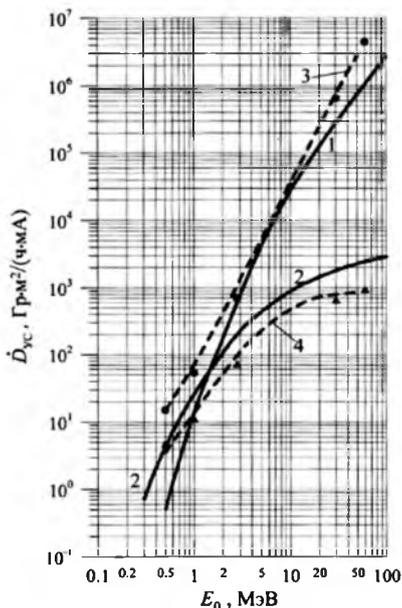


Рис. 9.7. Мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения в зависимости от энергии электронов:

Кривые: 1(0°) и 2(90°) – данные [7.10]; 3(0°) и 4(85°) – данные [9.2];
 точки (0°) и треугольники (90°) – данные [9.9]

Толщину защиты от тормозного излучения электронного ускорителя можно найти, если воспользоваться данными о толщине слоя

десятикратного ослабления $\Delta_{1/10}$. Такие данные имеются в [9.10] для интервала энергий E_0 : 0,1-100 МэВ и для трех основных веществ защиты от тормозного излучения: бетона, железа и свинца. Более того, в

этой работе учтена зависимость $\Delta_{1/10}$ от толщины защиты и приведе-

ны данные, как для первого слоя десятикратного ослабления $\Delta_{1/10}$, так и для следующего (асимптотического, см. гл. 8). Эти значения приведены на рис. 9.8-9.10. Тогда с учетом выражения (9.31) толщину защиты можно найти следующим образом

$$d_n = \Delta_{1/10} + \frac{\Delta_{1/10}^{ac}}{\ln 10} \ln \left[\frac{\bar{w} \dot{D}_y}{10 \cdot \text{ДМД}} \cdot \frac{1}{(R_3 + d_{n-1})^2} \right], (d_0 = 0) \quad (9.32)$$

Пример 3. Найти толщину защиты из бетона для персонала группы Б от тормозного излучения линейного ускорителя электронов на энергию 10 МэВ и ток 10 мкА. Расстояние от мишени ускорителя до защиты равно 2 м.

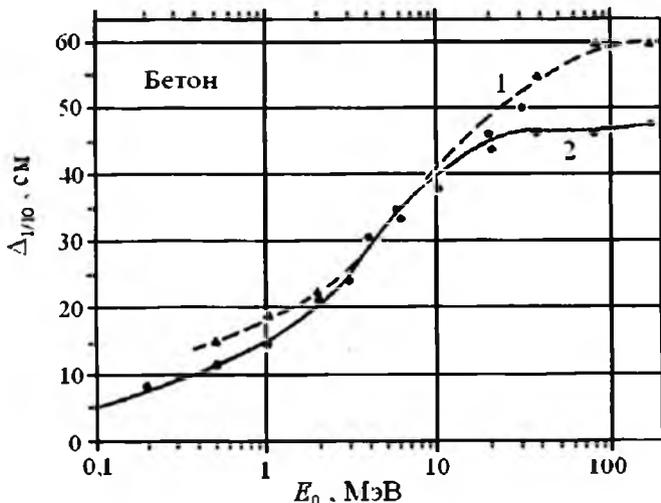


Рис. 9.8. Величина слоя десятикратного ослабления из бетона ($2,35 \text{ г/см}^3$) как функция энергии ускоренных электронов [9.7]:

1 - первый слой; 2 — асимптотический

Решение 1 (пример 3). Принимаем ускоритель за «стандартный» и по кривой 1 на рис. 8.7 находим $\dot{D}_{yc} = 2,5 \cdot 10^{10}$ мкГр \cdot м²/ч \cdot МА. По кривым на рис. 9.8 определяем $\Delta_{1/10} = 41$ см; $\Delta_{1/10}^{ac} = 40$ см. По формуле (9.32) для ДМД = 1,2 мкЗв/ч вычисляем $d_1 = 310$ см бетона. Вторая итерация дает $d_2 = 278$ см; третья - $d_3 = 280$ см. Оставляем последнее значение $d = 2800$ мм бетона. Практически часто достаточно двух итераций.

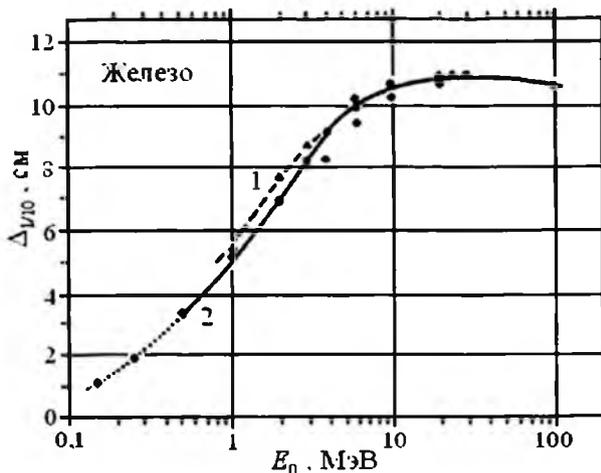


Рис. 9.9. Величина слоя десятикратного ослабления из железа ($7,8 \text{ г/см}^3$) как функция энергии ускоренных электронов [9.5]:
1 - первый слой; 2 - асимптотический

Номограммы Машковича. Расчет защиты от тормозного излучения в диапазоне энергий E_0 : 3...30 МэВ можно выполнить по номограммам Машковича [9.7]. Эти номограммы представляют собой серию кривых $d = f(E_0, k)$, где d - толщина защиты из бетона (с плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$),

$$k = i / R^2 \quad (9.33)$$

В выражении (9.33) \bar{i} (мкА) - средний ток электронов, падающих на мишень ускорителя, R (м) - расстояние от мишени до защищаемой области (детектора).

Тормозное излучение электронного ускорителя на энергии более нескольких МэВ нельзя считать изотропным источником, оно имеет анизотропное, сильно вытянутое вперед угловое распределение, т. е. количество излучения (число фотонов, интенсивность) быстро убывает с увеличением угла вылета [9.3]. Несмотря на это, для ускорителей, генерирующих тормозное излучение, защита под большими углами относительно направления первичного электронного пучка может определяться не рассеянным от стен помещения излучением, а первичным тормозным излучением, выходящим из мишени в данном направлении, так как эффективная энергия и проникающая способность первичного тормозного излучения, выходящего из мишени под любыми углами, много выше, чем у рассеянного излучения. Поэтому конструкция ускорителя должна обеспечивать достаточное снижение мощности дозы от первичного тормозного излучения вне области рабочего пучка ускорителя. Это особенно важно для ускорителей, которые используются в лучевой терапии. В техническом паспорте таких ускорителей должна содержаться подобная информация. Например, в техническом паспорте линейного медицинского ускорителя SL25 фирмы Филипс указано, что поглощенная доза вне области рабочего пучка не превышает 0,1 % от дозы в центре пучка.

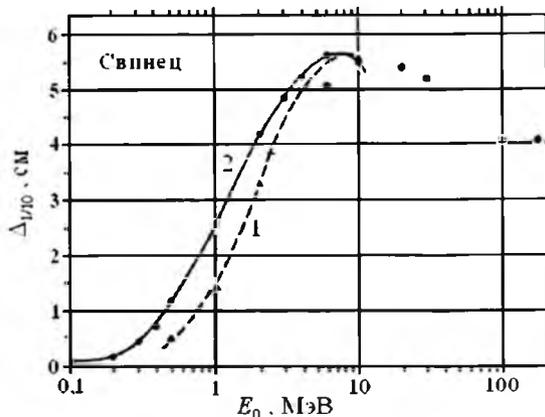


Рис. 9.10. Величина слоя десятикратного ослабления из свинца ($13,3 \text{ г/см}^3$) как функция энергии ускоренных электронов [9.6]:
1 - первый слой; 2 - асимптотический

Все же мощность дозы под большими углами выхода тормозного излучения может оказаться достаточно высокой и определять толщину защиты в этих направлениях. Поэтому номограммы Машковича рассчитаны для трех направлений выхода тормозного излучения: 0° , 90° , 180° (см. рис. 9.11).

Естественно что они не учитывают защиту и конструкцию ускорителя в направлении углов 90° и 180° и получены для незащищенной мишени. Для направления 0° эти номограммы приведены на рис. 9.12.



Рис. 9.11. К направлению выхода тормозного излучения из мишени

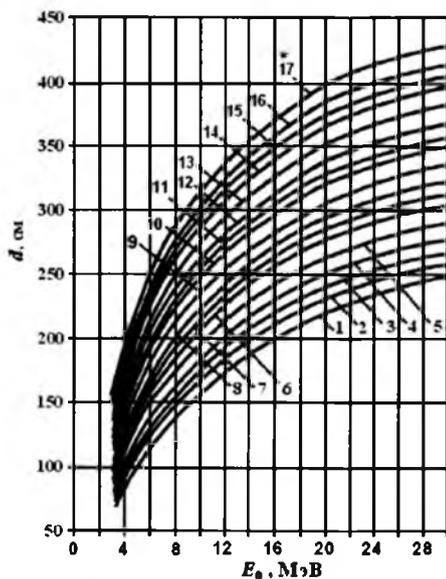


Рис. 9.12. Номограммы для определения толщины защиты из бетона ($2,3 \text{ г/см}^3$) в направлении 0° в зависимости от энергии электронов E_0 для значений k :

0,01 (1); 0,02 (2); 0,03 (3); 0,05 (4); 0,1 (5); 0,2 (6); 0,3 (7); 0,5 (8); 1,0 (9); 2,0 (10); 3,0 (11); 5,0 (12); 10 (13); 20 (14); 30 (15); 50 (16); 100 (17)

Номограммы Машковича получены для профессионального облучения с ДМД = 27,8 мкГр/ч (НРБ-76), поэтому для НРБ-99/2009 коэффициент k следует вычислять по формуле

$$k_n = \frac{1,09 \bar{w} 27,8}{\text{ДМД}} \cdot \frac{1}{(R_3 + d_{n-1})^2}, (d_0 = 0) \quad (9.34)$$

Выражение (9.34) записано с учетом метода итераций.

Если энергия фотонов тормозного излучения больше пороговой энергии фотоядерной реакции (для веществ с большим атомным номером это примерно 6-8 МэВ [9.3]), то в мишени ускорителя начинается генерация фотонейтронов, которые имеют большую проникающую способность. Угловое распределение фотонейтронов практически изотропное, а выход тормозного излучения в основном сосредоточен в направлении 0° . Поэтому защита ускорителей на энергии более 8 МэВ под большими углами относительно направления электронного пучка может определяться не тормозным излучением, а фотонейтронами из мишени и элементов конструкции ускорителя. Достоинством номограмм Машковича является то, что для направлений 90° и 180° они позволяют определить толщину защиты и от фотонейтронов, образующихся в мишени.

Решение 2 (пример 3). По формуле (9.34) для ДМД = 1,2 мкЗв/ч вычисляем $k_1 = 63,1$. По кривым 16 и 17 на рис. 9.12 находим $d_1 = 310$ см бетона. Вторая итерация дает: $k_2 = 9,7$; $d_2 = 270$ см. Третья: $k_3 = 11,4$; $d_3 = 275$ см. Оставляем последнее значение $d = 2750$ мм бетона.

Номограммы Машковича имеют и некоторые недостатки:

- получены только для одного вещества защиты - бетона;
- не учитывают изменения формы спектра тормозного излучения с изменением угла вылета фотонов, поэтому менее точны для больших углов выхода тормозного излучения;
- спектры тормозного излучения рассчитаны для мишеней, в которых происходит полное поглощение первичных электронов, следовательно, имеет место сильное самопоглощение тормозного излучения.

9.4. ЗАЩИТА ОТ РАССЕЯННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Пучок первичного тормозного излучения имеет небольшую поперечную ширину и, как правило, является коллимированным. Если конструкция самого ускорителя обеспечивает надежную защиту от первичного тормозного излучения вне рабочей области пучка, то толщина защиты в направлении, перпендикулярном пучку, может определяться рассеянным от стен (пола, потолка) тормозным излучением. Рассмотрим два метода расчета такой защиты.

Расчет защиты с помощью универсальных таблиц. Этот метод по сути такой же, как и для рассеянного гамма-излучения (см. гл. 8). Определяем мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения \dot{D}_y (мкГр·м²/ч·мА) в направлении 0°. Если для данного ускорителя этой величины нет, то можно использовать значения для «стандартных» ускорителей (см. рис. 9.7).

По формуле (9.30) находим мощность тканевой поглощенной дозы тормозного излучения ускорителя \dot{D} (мкГр/ч) для заданного среднего тока электронов i (мА) на расстоянии F (м) от мишени ускорителя (см. рис. 9.2).

Зная угол коллимации пучка, находим величину площади S (м²), на которую падает первичный тормозной пучок (см. рис. 9.2), а затем и всю мощность дозы, «упавшую» на площадь S : $\dot{D}_s = \dot{D} \cdot S$ (мкГр·м²/ч).

Определяем величину интегрального дозового альбеда A_D первичного тормозного излучения от бетона (см. рис. 9.15).

Находим в заданном направлении мощность поглощенной дозы отраженного тормозного излучения на расстоянии R от центра площадки, на которую падает первичный пучок (см. рис. 9.2)

$$\dot{D}_1 = \frac{\dot{D}_s A_D}{2\pi R^2} = \frac{\dot{D}_y \cdot i S A_D}{F^2 2\pi R^2}, \text{ мкГр/ч}, \quad (9.35)$$

Как следует из выражения (9.35), одно из приближений данного метода заключается в том, что угловое распределение отраженного излучения считается изотропным, поэтому величину дозового альбеда в заданном направлении принимают равной $A_D / 2\pi$.

б) Определяем кратность ослабления $k = \bar{w}\dot{D}_1 / \text{ДМД}$ и по его универсальным таблицам для средней энергии отраженного излучения находим толщину защиты. Наибольшую энергию имеет излучение, отраженное под меньшими углами, т. е. распространяющееся вблизи отражающей поверхности. Средняя энергия такого тормозного излучения, рассчитанная методом Монте-Карло, приведена на рис. 9.13.

Если использовать метод итераций и выделить расстояние R_3 от центра рассеивающей площадки до защиты, то выражение для кратности ослабления удобно переписать в виде

$$k_n = \frac{\bar{w}\dot{D}_y i}{F^2} \frac{S A_D}{2\pi \text{ДМД}} \cdot \frac{1}{(R_3 + d_{n-1})^2}, \quad (d_0 = 0) \quad (9.36)$$

Пример 4. Найти толщину защиты из бетона для персонала группы Б от рассеянного тормозного излучения линейного ускорителя электронов на энергию 10 МэВ и ток 10 мкА. Расстояние от мишени ускорителя до защитной бетонной стены, на которую падает первичный тормозной пучок (F), равно 2 м, расстояние от места падения первичного пучка до боковой стены, на которую падает рассеянное излучение (R), также равно 2 м. Половина угла коллиматора пучка равна 15° .

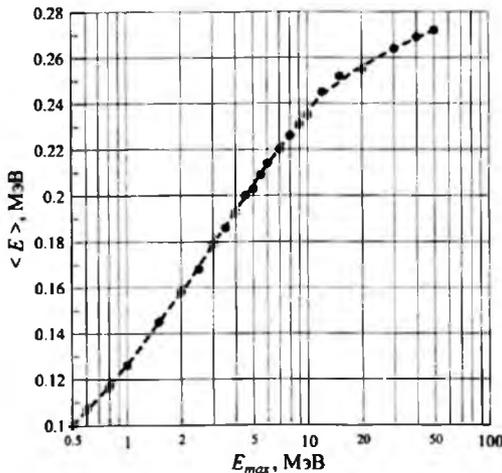


Рис. 9.13. Средняя энергия тормозного излучения, отраженного от бетона в направлении 85° в зависимости от максимальной энергии первичного тормозного излучения

Решение 1 (пример 4). Считаем ускоритель «стандартным» с мишенью оптимальной толщины и по кривой 3 на рис. 9.7 находим мощность показателя тканевой поглощенной дозы тормозного излучения в направлении 0° : $\dot{D}_y = \dot{D}_{yc} = 3 \cdot 10^{10}$ мкГр \cdot м²/ч \cdot МА. Величина площади, на которую падает первичный тормозной пучок, равна 0,9 м², а величина интегрального дозового альбеда первичного тормозного излучения от бетона $A_D = 0,05$ (определяем из рис. 9.15).

По формуле (9.36) для ДМД 1,2 мкЗв/ч вычисляем кратность ослабления $k_1 = 1,1 \cdot 10^5$ и по универсальным таблицам для $\langle E \rangle = 0,235$ МэВ (рис. 9.13) находим толщину защиты $d_1 = 60$ см бетона.

Вторая итерация дает $d_2 = 57$ см. Оставляем это значение $d = 570$ мм бетона.

Полученное значение много меньше, чем результат решения задачи 3. Это следствие того, что энергия и проникающая способность рассеянного тормозного излучения много меньше, чем у первичного тормозного пучка, даже выходящего из мишени ускорителя под большими углами.

ГЛАВА 10. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

10.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рентгеновское излучение, являясь ЭМИ (впрочем, как и гамма-излучение), относится к радиоактивным излучениям, а следовательно, к нему могут быть применены те же виды защиты.

Радиоактивные излучения разного типа с разным энергетическим спектром характеризуются разной проникающей и ионизирующей способностью. Эти свойства определяют характер их воздействия на живое вещество биологических объектов.

Биологическое действие ионизирующего излучения заключается в том, что поглощенная веществом энергия проходящего через него излучения расходуется на разрыв химических связей атомов и молекул, что нарушает нормальное функционирование клеток живой ткани.

Различают следующие эффекты воздействия ионизирующего излучения на организм человека: соматические – острая лучевая болезнь, хроническая лучевая болезнь, местные лучевые поражения; соматостохастические (злокачественные опухоли, нарушения развития плода, сокращение продолжительности жизни) и генетические (генные мутации, хромосомные aberrации).

Если источники радиоактивного излучения находятся вне организма человека и тем самым человек облучается снаружи, то говорят о внешнем облучении.

Если радиоактивные вещества, находящиеся в воздухе, пище, воде, попадают внутрь организма человека, то источники радиоактивного излучения оказываются внутри организма и свидетельствуют о внутреннем облучении.

Подчеркнем, что внешнее облучение происходит от непосредственного взаимодействия радиоактивных ионизирующих излучений внешних источников с атомами биологических субстратов организма. Защититься от внешнего излучения можно, поставив на пути движения излучений тот или иной защитный экран и/или применив средства индивидуальной защиты.

Внутреннее облучение всегда связано с попаданием в организм человека радиоактивных веществ, разнообразие которых обуславливает разнообразие механизмов поглощения, усвоения и вывода этих веществ из организма, степень участия в метаболизме. В результате ра-

диоактивные вещества могут задерживаться и даже накапливаться в организме. Распадаясь, они облучают расположенные вокруг них ткани.

Уменьшение внутреннего облучения достигается только средствами индивидуальной защиты органов дыхания, служащих для защиты дыхательных путей от радиоактивных веществ, находящихся в воздухе, и специальным рационом питания.

Обеспечение радиационной безопасности требует комплекса многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий работы с источниками ионизирующих излучений, а также от типа источника.

Основные принципы радиационной безопасности реализуются путем уменьшения мощности источников излучения до минимальных величин (защита количеством); ограничения поступления излучений в окружающую среду; сокращения времени работы с источниками (защита временем); увеличения расстояния от источника до работающих (защита расстоянием); экранирования источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение (защита экранами); проведением комплекса организационно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Защита от ионизирующих излучений достигается в основном методами защиты расстоянием, экранирования и ограничения поступления излучений в окружающую среду, проведением комплекса организационно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Наиболее простые способы уменьшения вреда от воздействия рентгеновского излучения состоят либо в уменьшении времени облучения, либо в уменьшении мощности источника, либо же в удалении от него на расстояние R , обеспечивающее безопасный уровень облучения (до предела или ниже эффективной дозы). Интенсивность излучения в воздухе при удалении от источника даже без учета поглощения уменьшается по закону $1/R^2$.

Основными мероприятиями по защите населения от ионизирующих излучений является всемерное ограничение поступления в окружающую атмосферу, воду, почву отходов производства, содержащих остаточную радиацию, а также зонирование территорий вне промышленного предприятия. В случае необходимости создают санитарно-защитную зону и зону наблюдения.

Санитарно-защитная зона - территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в услови-

ях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения населения.

Зона наблюдения - территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой возможное влияние радиоактивных выбросов учреждения и облучение проживающего населения может достигать установленного ПД и на которой проводится радиационный контроль. На территории зоны наблюдения, размеры которой, как правило, в 3...4 раза больше размеров санитарно-защитной зоны, проводится радиационный контроль.

Если же перечисленные приемы по каким-либо причинам неосуществимы или недостаточны, то следует применять материалы, эффективно ослабляющие излучение.

Защитные экраны следует выбирать в зависимости от вида ионизирующего излучения.

10.2. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

10.2.1. СТАЦИОНАРНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Стационарные средства радиационной защиты процедурной и других помещений рентгеновского кабинета (стены, пол, потолок, защитные двери, смотровые окна, ставни и др.) должны обеспечивать ослабление рентгеновского излучения до уровня, при котором не будет превышен основной предел дозы (ПД) для персонала и населения (табл. 9.1, т.1, [10.1]).

Значения допустимой мощности эффективной дозы ДМЭД (мкЗв/ч) рассчитываются, исходя из основных пределов годовой дозы для соответствующих категорий облучаемых лиц (табл. 9.1, т.1) и возможной продолжительности их пребывания в помещениях и на территориях различного назначения по формуле:

$$ДМЭД = 10^3 \cdot \frac{ПД}{t_c \cdot n \cdot T}, \text{ мкЗв/ч}, \quad (10.1)$$

где $ПД$ - основной предел годовой дозы для соответствующей категории лиц (табл. 9.1, т.1), мЗв; t_c - продолжительность работы на рентгеновском аппарате в течение года при односменной работе персонала

группы А, $t_c = 1500$ ч (30-часовая рабочая неделя); n - коэффициент сменности, учитывающий возможность двухсменной работы на рентгеновском аппарате и связанную с этим увеличенную продолжительность облучения персонала группы Б и населения, отн. ед.; T - коэффициент занятости помещения или территории для соответствующих категорий облучаемых лиц, учитывающий максимально возможную продолжительность их облучения, отн. ед.; 10^3 - множитель для перевода мЗв в мкЗв.

В табл. 10.1 приведены значения ДМЭД для различных помещений и территорий, в зависимости от значений коэффициентов занятости T , сменности n и продолжительности работы с учетом сменности $t_c n$.

Приведенные в табл.10.1 ДМЭД используются для целей радиационного контроля.

Расчет стационарной защиты при проектировании основан на определении требуемой кратности ослабления K мощности поглощенной дозы в воздухе $\dot{D}(0)$ рентгеновского излучения в данной точке в

отсутствие защиты до такого значения проектной мощности дозы \dot{D}_{np} за защитой, которая обеспечивает не превышение ДМЭД. Кратность ослабления K защиты вычисляется по формуле:

$$K = \frac{\dot{D}(0)}{\dot{D}_{np}} = 10^3 \cdot \frac{k \cdot R \cdot W \cdot N}{DMЭД \cdot 30 \cdot r^2}, \text{ отн. ед.}, \quad (10.2)$$

где: k – коэффициент перехода от поглощенной дозы в воздухе к эффективной дозе, Зв/Гр; с учетом коэффициента запаса на проектирование, равного 2, консервативно принят 1 Зв/Гр; R - радиационный выход рентгеновского аппарата, мГр·м²/(мА·мин); W - рабочая нагрузка рентгеновского аппарата, (мА·мин)/нед; N - коэффициент направленности излучения, отн. ед.; 30 - значение нормированного времени работы рентгеновского аппарата в неделю при односменной работе персонала группы А (30 - часовая рабочая неделя), ч/нед; r - расстояние от фокуса рентгеновской трубки до точки расчета, м; 10^3 – множитель для перевода мГр в мкГр.

Таблица 10.1

Допустимая мощность эффективной дозы (ДМЭД) в помещениях рентгеновского кабинета, в других помещениях и на прилегающей территории в зависимости от значений параметров T , n , $t_c \cdot n$

№ пп	Помещение, территория	ДМЭД, мкЗв/ч	T , отн. ед.	n , отн. ед.	$t_c \cdot n$ час
1	2	3	4	5	6
1	Помещения постоянного пребывания персонала группы А (процедурная, комната управления, комната приготовления бария, фотолаборатория, кабинет врача-рентгенолога, предоперационная и др.)	13	1	1	1500
2	Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета, имеющие постоянные рабочие места персонала группы Б	2,5	1	1,3	2000
3	Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета без постоянных рабочих мест (холл, гардероб, лестничная площадка, коридор, комната отдыха, уборная, кладовая и др.)	10	0,25	1,3	2000
4	Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б (технический этаж, подвал, чердак и др.)	40	0,06	1,3	2000
5	Палаты стационара, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета	1,3	0,25	2	3000
6	Территория, прилегающая к наружным стенам процедурной рентгеновского кабинета	2,8	0,12	2	3000

Значение радиационного выхода R берется из технической документации на рентгеновский аппарат или протокола контроля эксплуатационных параметров в зависимости от напряжения на рентгеновской трубке. При их отсутствии используются средние значения R , приведенные в табл. 6 приложения 3 Правил [10.1].

Значения номинальной рабочей нагрузки W и анодного напряжения U , используемых для расчета стационарной защиты рентгенов-

ских кабинетов, в зависимости от типа и назначения рентгеновского аппарата приведены в табл. 10.2. Значения W рассчитаны с учетом регламентированной длительности проведения соответствующих рентгенологических процедур.

Коэффициент направленности N учитывает направление пучка рентгеновского излучения. Суммарно по всем направлениям падения первичного пучка рентгеновского излучения (с учетом всех возможных вариантов позиционирования пациента) значение N принимается равным 1. Для рассеянного излучения значение N принимается 0,05. Для аппаратов с подвижным источником излучения (сканирующие аппараты: рентгеновский компьютерный томограф, стоматологический аппарат для панорамных снимков и др.) значение N принимается равным 0,1.

Таблица 10.2

Номинальные рабочая нагрузка W и анодное напряжение U для расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов

№ пп	Рентгеновская аппаратура*	Рабочая нагрузка W , (мА·мин)/нед	Анодное напряжение, кВ
1	2	3	4
1	Флюорографический аппарат с люминесцентным экраном и оптическим переносом изображения, пленочный или цифровой	1000	100
2	Флюорографический аппарат со сканирующей линейкой	2000	100
3	Флюорографический малодозовый аппарат с УРИ, ПЗС- матрицей и цифровой обработкой изображения	100	100
4	Рентгенодиагностический аппарат общего назначения, пленочный или цифровой	1000	100
5	Рентгеновские аппараты для интервенционных процедур (ангиографические, хирургические)	1500	100
6	Рентгеновский компьютерный томограф	2000	120
7	Хирургический передвижной аппарат с УРИ	200	100
8	Палатный рентгеновский аппарат	100	90
9	Рентгеноурологический аппарат	400	90
10	Рентгеновский аппарат для литотрипсии	200	90

№ пп	Рентгеновская аппаратура*	Рабочая нагрузка W, (мА·мин)/нед	Анодное напряжение, кВ
11	Маммографический аппарат пленочный или цифровой	400	35
12	Маммографический аппарат с цифровым приемником изображения, сканирующий	600	35
13	Рентгеновский аппарат для планирования лучевой терапии (симулятор)	200	100
14	Аппарат для близкодистанционной рентгенотерапии	3000	100
15	Аппарат для дальнедистанционной рентгенотерапии	3000	300
16	Остеоденситометр для всего тела	200	Номинальное
17	Стоматологический аппарат для прицельных снимков пленочный	200	70
18	Стоматологический аппарат для прицельных снимков высокочувствительный пленочный или цифровой	40	70
19	Стоматологический аппарат для панорамных снимков пленочный или цифровой	200	90
20	Стоматологический рентгеновский компьютерный томограф	200	120
21	Микрофокусный рентгеновский аппарат с максимальным анодным током не более 0,1 мА	1	150

Примечания: *Для аппаратов, не вошедших в табл. 11.2, а также при нестандартном применении перечисленных типов аппаратов W рассчитывается по значению фактической экспозиции при стандартизированных значениях анодного напряжения. Для рентгеновских аппаратов, в которых максимальное анодное напряжение ниже указанного в табл. 11.2, при расчетах и измерениях необходимо использовать максимальное напряжение, указанное в технической документации на аппарат.

Расстояние от фокуса рентгеновской трубки до точки расчета определяется по проектной документации на рентгеновский кабинет. За точки расчета защиты принимаются точки, расположенные на высоте 1 м в защищаемом помещении: над и под процедурной - в точках прямоугольной сетки с шагом 1-2 м; смежно по горизонтали - на расстоянии 10 см от стены по всей длине стены с шагом 1-2 м.

На территории учреждения за точки расчета принимают точки, расположенные на расстоянии 10 см от наружной стены помещения процедурной на высоте 1 м, а при наличии окон – до 2 м от основания здания.

При расчете радиационной защиты рентгеновского стоматологического кабинета, расположенного смежно с жилыми помещениями, за точки расчета защиты принимаются точки, расположенные: вплотную к внутренним поверхностям стен кабинета, размещенного смежно по горизонтали с жилыми помещениями; на уровне пола кабинета при расположении жилого помещения под кабинетом; на уровне потолка кабинета при расположении жилого помещения над кабинетом.

На основании рассчитанных значений кратности ослабления $K^m(x)$ определяют необходимые значения свинцовых эквивалентов элементов стационарной защиты. В табл.1 приложения 3 [10.1] представлены значения свинцовых эквивалентов в зависимости от значения кратности ослабления в диапазоне напряжений на рентгеновской трубке от 50 до 250 кВ.

Средства защиты, поставляемые в виде готовых изделий (защитные двери, защитные смотровые окна, ширмы, ставни, жалюзи и др.), должны обеспечивать кратность ослабления излучения, предусмотренную расчетом защиты, содержащимся в технологической части проекта рентгеновского кабинета.

Для изготовления стационарной защиты могут быть использованы материалы, обладающие необходимыми конструкционными и защитными характеристиками, отвечающие санитарно-гигиеническим требованиям. Защитные характеристики (свинцовые эквиваленты) основных строительных и специальных защитных материалов приведены в табл. 2-5 приложения 3 [10.1]. При применении материалов, не перечисленных в табл. 2-5 приложения 3 [10.1], необходимо иметь документы, подтверждающие их защитные свойства или должны быть определены защитные характеристики в аккредитованных организациях с использованием контрольных образцов.

Расчет защиты для двух или более рентгеновских аппаратов, установленных в одной процедурной, должен проводиться по суммарной рабочей нагрузке от всех аппаратов. Необходимая толщина защитных ограждений выбирается, исходя из максимальных рассчитанных значений кратности ослабления. Эти же требования предъявляются при

расчете защиты комнаты управления, смежной с двумя процедурными помещениями.

В процедурной рентгеновского кабинета, где пол расположен непосредственно над грунтом или потолок находится непосредственно под крышей (если она не используется), защита от излучения в этих направлениях не предусматривается.

Коммуникации через стены и перекрытия помещений рентгеновских кабинетов (воздуховод, водопровод, электрический кабель) должны быть оснащены защитой, обеспечивающей безопасность персонала. Коммуникации рекомендуется размещать вне зоны прямого пучка излучения.

10.2.2. ПЕРЕДВИЖНЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рентгеновские кабинеты различного назначения должны иметь обязательный набор передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, перечисленных в приложении 4 Правил [10.1]. Допускается применение других передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, обеспечивающих требуемую или дополнительную радиационную защиту со свинцовым эквивалентом, не ниже предусмотренных в [10.1].

Эффективность передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, выраженная в значении свинцового эквивалента, не должна быть меньше значений, указанных в приложении 5 Правил [10.1]. Защитные средства должны иметь маркировку, предусмотренную технической документацией.

При рентгенологических исследованиях детей должны использоваться защитные средства соответствующих размеров для различных возрастных групп, а также специальные средства (приложение 5 Правил [10.1]).

Защитные средства, содержащие свинец и имеющие прямой контакт с кожей пациента или медицинского персонала, должны изготавливаться с применением обшивочных материалов, соответствующих I классу по СанПиН 2.4.7/1.1.1286-03 «Гигиенические требования к одежде для детей, подростков и взрослых».

Передвижные и индивидуальные средства радиационной защиты должны иметь санитарно-эпидемиологические заключения, в которых должен быть указан свинцовый эквивалент и предназначение для использования при рентгенологических исследованиях.

Контроль защитной эффективности (свинцового эквивалента) и других эксплуатационных параметров средств радиационной защиты должен проводиться аккредитованными организациями по утвержденным методикам.

10.3. КОНТРОЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Контроль индивидуальных доз у персонала. Индивидуальные дозы у персонала рентгеновских кабинетов (группа А), а также у медицинского персонала (хирурги, анестезиологи, медицинские сестры и др., группы А или Б), периодически участвующего в проведении специальных рентгенологических исследований, должны измеряться с помощью индивидуальных дозиметров, откалиброванных в величине индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$, по утвержденным методикам со сменой дозиметров и регистрацией результатов измерений не реже, чем один раз в квартал.

Значения доз по результатам измерений определяют согласно МУ 2.6.1. 2118-06 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений».

У медицинских работников, проводящих интервенционные исследования, должны определяться: значения индивидуальной эффективной дозы; значения эквивалентной дозы в хрусталиках глаз.

Рекомендуется контролировать облучение кожи кистей рук, когда ожидается, что максимальная доза на кожу рук может, по крайней мере, в десять раз превышать эффективную дозу.

Медицинские работники, выполняющие интервенционные исследования, из-за близкого расположения к источнику излучения и наличию средств индивидуальной защиты подвергается резко неравномерному облучению. Для корректной оценки значения эффективной дозы часть или все члены рентгенохирургической бригады (определяется администрацией ЛПУ в зависимости от условий облучения) обязаны носить два индивидуальных дозиметра, - один над защитным фартуком на воротнике халата или на шапочке, другой на груди под защитным фартуком (см. МУ 2.6.1. 2118-06).

При выполнении интервенционных исследований проводится оперативный контроль уровней облучения медицинских работников. Для оценки уровня облучения за одну процедуру нормированные значения дозы рассеянного излучения ($\text{мкГр}/(\text{Гр}\cdot\text{см}^2)$) в местах расположения медицинских работников умножают на значение произведения

дозы на площадь за процедуру. В дальнейшем эти значения используются для оптимизации условий проведения процедуры.

Индивидуальные годовые дозы персонала фиксируются в карточке учета (базе данных) индивидуальных доз. Копию карточки следует хранить в учреждении в течение 50 лет после увольнения работника. Карточка учета доз работника в случае перевода его в другое учреждение передается на новое место работы. Данные об индивидуальных дозах прикомандированных лиц сообщаются по месту работы.

Ежегодно в утвержденные сроки администрация организации предоставляет в установленном порядке сведения о дозах у персонала рентгеновских кабинетов в условиях нормальной эксплуатации и при радиационной аварии в соответствии с формами федерального государственного статистического наблюдения за индивидуальными дозами граждан.

Контроль дозы у пациентов. При проведении рентгенологических процедур должны определяться дозы у пациентов с использованием поверенных дозиметров и утвержденных дозиметрических методик. В зависимости от типа рентгенологических процедур должны определяться следующие дозы у пациентов:

- при диагностических процедурах – эффективные дозы, соответствующие типовым параметрам исследования, или индивидуальные эффективные дозы по результатам измерения значения произведения дозы на площадь за время процедуры;

- при интервенционных процедурах, проводимых под рентгенологическим контролем, - индивидуальные эффективные дозы по результатам измерения произведения дозы на площадь, а также индивидуальные (максимальные) дозы в коже, если оценка дозы близка к порогу детерминированного эффекта; при терапевтических процедурах – индивидуальные поглощенные дозы в облучаемых органах и прилежащих органах и тканях, указанных врачом-рентгенологом.

Эффективные дозы у пациентов при диагностических и интервенционных процедурах определяют согласно МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» по результатам измерений: произведения дозы на площадь с помощью проходной камеры или входной дозы;- радиационного выхода рентгеновского аппарата.

Индивидуальные дозы пациентов регистрируются в установленном порядке в персональном листе учета доз медицинского облучения, фиксируются в амбулаторной карте (истории развития ребенка) или истории болезни и “Журнале учета ежедневных рентгенологических

исследований” и сохраняются в медицинских организациях в течение установленного срока. При изменении места обследования пациента данные о полученных дозах должны передаваться в базовое учреждение и фиксироваться в амбулаторной карте. Результаты измерений (расчетов) и описания использованного дозиметрического оборудования и методик предоставляются по запросам надзорных органов.

Сведения об эффективных дозах у пациентов ежегодно предоставляются администрацией медицинской организации в установленном порядке в соответствии со статистической медицинской формой.

10.4. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Основной продукцией считается листовой свинец. Его используют для изготовления средств коллективной защиты. Во время технологического процесса осуществляется постоянный контроль по качеству продукта согласно ГОСТам. Одним из компонентов является баритовый концентрат с маркировкой КБ-3. Главный поставщик - горно-обогатительный комбинат в населенном пункте Лыткарино. Здесь же, но на другом предприятии изготавливают и рентгенозащитное стекло, которое имеет маркировку ТФ-5. До некоторого времени производством и изучением средств защиты от излучения занимался Всероссийский НИИ медицинской техники. Разработки ученых из этого института до сих пор используются современными изготовителями.

В настоящее время разработаны средства защиты без применения свинца. Главным компонентом становится смесь на основе концентрированных оксидов, добываемых из редкоземельных элементов. Правила и нормы СанПиН от 2003 описывают и требования, применяемые к передвижным средствам защиты от излучения. В большинстве случаев во время изготовления аппарата в него не монтируется защита. Используется и ряд вспомогательных защитных средств, такие как фартуки, монтирование в экранно-снимочные изделия. Первый защитный слой принято создавать при постройке кабинета. В этом случае его нельзя считать частью медицинского инвентаря.

Новый защитный материал содержит матрицу и поглощающий наполнитель при следующем соотношении компонентов в %: матрица - смесь каучуков общего назначения - 24,0-26,9, металлосодержащий наполнитель: оксид висмута - 22,8-14,6 и сложный оксид редкоземельных элементов легкой и средней группы - 53,2-58,5.

Новый материал относится к материалам для защиты от рентгеновского и γ - излучения, которые могут применяться для изготовления защитных элементов рентгеновских аппаратов, защитной одежды персонала и пациентов медицинских рентгеновских кабинетов, а также для изготовления защитной одежды персонала, работающего в поле источников γ - излучения или радиоактивно зараженной местности, например, в районе аварии Чернобыльской АЭС.

Известны материалы для защиты от рентгеновского и γ - излучения, применяемые в медицинской радиологии, содержащие в качестве матрицы резину или пластик и металлический наполнитель свинец и его соединения [10.4]. Высокое содержание в этих материалах наполнителя (до 90 % массы) вызывает трудности с надежной фиксацией его в матрице-носителе.

Известен также материал для защиты от рентгеновского и γ - излучения, включающий матрицу на основе каучука и металлический поглощающий наполнитель [10.5] Этот материал содержит в качестве металлического наполнителя окись свинца в количестве 63,4-88,0 % массы, а в качестве основы (матрицы-носителя) - резиновую смесь, включающую натуральный каучук (6,7-6,8 % массы), синтетический каучук СКИ-3 (0,0-2,1 % массы) и от 7 до 17 других ингредиентов вспомогательного назначения таких как вулканизирующие агенты, мягчители, антиозопанты. Он имеет слабую фиксацию свинца в матрице-носителе указанного материала, поэтому в процессе эксплуатации свинец высыпается из резины и в силу его токсичности создает вредные для здоровья загрязнения рентгеновских кабинетов, одежды и рук персонала. В целях борьбы с этим явлением по указанию Минздрава производится полное зачехление всех индивидуальных средств защиты из свинцовой резины полимерными или другими хорошо поддающимися санобработке материалами.

В силу высокой токсичности свинца промышленное изготовление свинцовых резин относится к классу производств с особо вредными условиями труда. Кроме того, свинец имеет относительно низкие сечения поглощения рентгеновского и γ - излучения в диапазоне энергий 40.70 кэВ, т.е. в той области, которая дает наибольший вклад в суммарную дозу излучения, воздействующую на персонал и пациентов при медицинских рентгеновских исследованиях.

Наиболее близким к предлагаемому материалу является материал для защиты от γ - излучения, матрица которого состоит из синтети-

ческого или естественного каучука, а в качестве наполнителей используют соединения по крайней мере одного из металлов, принадлежащих к группе, включающей в себя свинец, висмут, вольфрам [10.6] За прототип взят состав N 5 Патента US [10.6] матрица которого изготовлена из смеси каучуков, а в качестве наполнителя использован свинец.

Предложенный материал имеет существенно повышенные защитные свойства от рентгеновского и низкоэнергетического γ - излучения, снижение его токсичности при изготовлении и эксплуатации и сохранение других характеристик материала. Повышенные защитные качества материала достигается тем, что в качестве матрицы используется комбинация каучуков общего назначения, а в качестве металлосодержащего поглощающего наполнителя используется смесь окиси висмута и сложного окисла редкоземельных элементов легкой и средней группы (от лантана до диспрозия) при следующем соотношении компонентов по массе: матрица смесь каучуков общего назначения 24,0-26,9 наполнитель: оксид висмута 22,8-14,6, сложный окисел редкоземельных элементов легкой и средней группы (от лантана до диспрозия) 53,2-58,5.

Вещества, входящие в состав наполнителя и резины, практически нетоксичны, поэтому как при изготовлении металлосодержащих резин, так и при эксплуатации изделий из них проблем, связанных с загрязнениями и вредными воздействиями веществ на человека, не возникает.

Проведенные исследования показали, что содержание наполнителя, при котором материал имеет удовлетворительные физико-механические свойства, может составлять 70.85% массы.

Рентгеновская пленка. Она имеет двустороннее покрытие эмульсионным слоем, который состоит из желатины со взвешенными кристаллами бромистого серебра с примесью йодистого серебра. У опасной (горючей) пленки подложкой служит нитроцеллюлоза, а у безопасной - ацетилцеллюлоза. Пленка выпускается размером 13X18, 18X24, 24X30, 30X40.

10.5. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Медицинские профилактические мероприятия по защите от рентгеновского излучения включают: организационные мероприятия, технические и технологические мероприятия, методические мероприятия, защита персонала.

Организационные мероприятия. Пациентов делят на три группы:

1) Группа АД - онкологические больные или люди с подозрением на онкологические заболевания. Для них основным является недопущение детерминированных эффектов.

2) Группа БД - основная группа больных, которым рентгенодиагностику проводят для уточнения диагноза или тактики лечения. Обязательно предварительно записывают диагноз в амбулаторной карте, отмечают проведенную процедуру, полученную дозу и окончательный диагноз для возможности проверки обоснованности назначения процедуры.

3) Группа ВД - лица, которым проводятся процедуры с профилактической целью.

Рентгенодиагностические процедуры не проводят детям до 12 лет, беременным.

Технические и технологические мероприятия. Это мероприятия, направленные на использование современного оборудования, ограничение облучаемой поверхности (диафрагмирование, фокусирование пучка), использование экранов. Правильный подбор напряжения и величины тока в рентгеновской трубке, правильная планировка помещений также относятся к этой группе.

Методические мероприятия. Они направлены на повышение квалификации персонала для проведения более быстрой, точной, квалифицированной работы.

Защита персонала. Включает те же 3 группы мероприятий, а также использование средств индивидуальной защиты.

Средства индивидуальной защиты врача-рентгенолога включают: фартук из просвинцованной резины, перчатки из просвинцованной резины, очки из просвинцованного стекла, шапочку из просвинцованной резины.

Для защиты медицинского персонала, пациентов и лиц, находящихся вне здания, при проектировании, строительстве и отделке рентгеновского кабинета (рентген-кабинет) предусматривается защита от рассеянного рентгеновского излучения.

Применяемые при строительстве кабинетов для проведения рентгенодиагностических исследований **рентгенозащитные материалы и рентгенозащитные изделия**, такие как рентгенозащитная штукатурка, рентгенозащитные двери, рентгенозащитные окна, рентгенозащитные ставни, способны поглощать рассеянное рентгеновское излучение.

Для защиты персонала рентгеновского кабинета от рентгеновского излучения применяются:

- 1) перчатки рентгеновские защитные и резина рентгеновская защитная (просвинцованная) и изготовленные из нее фартуки защитные;
- 2) ширмы защитные большая и малая, изготавливаемые из дерева с прокладкой из листового свинца.

В настоящее время выпускаются только электро-безопасные рентгеновские аппараты различных типов. Электробезопасность осуществляется или присоединением рентгеновской трубки к высоковольтному трансформатору посредством гибкого защитного кабеля высокого напряжения, или использованием блок-трансформаторов, в которых рентгеновская трубка находится вместе с высоковольтным трансформатором в защитном футляре. Эти аппараты применяются без кенотронов.

К рентгеновским аппаратам с блок-трансформатором относятся разборные (полевые) и передвижные аппараты: полевые облегченные, палатные, чемоданного типа и зубные.

В стационарных условиях наибольшее распространение получили аппараты рентгеновские диагностические. В этих аппаратах универсальный штатив и стол дают возможность производить снимки и просвечивание в любых горизонтальных и вертикальных положениях.

Для диагностических целей широко применяется флюорография, при которой снимки производятся непосредственно с просвечивающего (флюоресцирующего) экрана в момент просвечивания при помощи обычного пленочного фотоаппарата, приспособленного к экрану. Этим достигается большая пропускная способность при массовых обследованиях, например для выявления туберкулеза.

Кроме обычных рентгеновских аппаратов, в настоящее время применяются аппараты со специальным приспособлением для производства снимков по отдельным слоям какого-либо органа (томография). Каждый рентгеновский аппарат снабжается паспортом и комплектной описью.

10.6. ФИЗИЧЕСКЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЗАЩИТЫ

Противолучевая защита - предохранение человека от действия излучения, превышающего допустимые уровни. Термин противолучевая защита употребляется в отношении ионизирующих излучений (см. Излучения ионизирующие). Существуют физические и химические (биологические) методы и средства противолучевой защиты.

Противолучевая защита физическая - применение специальных устройств и способов для защиты организма от действия внешних ионизирующих излучений или попадания радиоактивных веществ в организм. Используется в рентгеновских кабинетах, радиологических отделениях и лабораториях различного профиля. Существуют стационарные и передвижные защитные устройства. К передвижным защитным устройствам относятся широко используемые в радиологической практике ширмы и экраны. Стационарными являются защитные стены, окна, двери и др., обеспечивающие защиту от источников излучения более надежно, чем передвижные устройства. Толщина и выбор защитного материала для стационарной защиты определяются видом используемого излучения и его энергией. Защиту от γ - или рентгеновского излучений обеспечивают с помощью материалов, имеющих высокий удельный вес (кирпич, бетон, свинец, вольфрам или свинцовые стекла). С возрастанием энергии излучения удельный вес защитного материала или его толщина должны увеличиваться. Качество защиты выражается свинцовым эквивалентом (который определяется толщиной слоя свинца в миллиметрах), ослабляющим излучение данного вида в такой же степени, как и использованный защитный материал.

При работе с источниками ионизирующих излучений необходимо физические меры противолучевой защиты сочетать также с правильной организацией труда. Организационные противолучевые мероприятия предусматривают:

- 1) обязательную предварительную теоретическую и практическую подготовку персонала по технике безопасности;
- 2) систему дозиметрического и радиометрического контроля облучения персонала и загрязненности рабочих мест;
- 3) медицинский контроль за состоянием здоровья персонала как вновь поступающего на работу, так и ежегодно в плане диспансерного наблюдения;
- 4) рациональное размещение рабочих мест персонала в условиях наименьшего облучения.

В отделениях лучевой терапии присутствие персонала в процедурных, где происходит облучение больного, запрещается. Управление аппаратами для лучевой терапии производят из соседней комнаты. В рентгенодиагностических кабинетах и радиоманипуляционных персонал должен использовать при работе передвижные защитные устройства (фартуки и перчатки из свинцовой резины, свинцовые ширмы и др.). Одним из способов противолучевой защиты является защита расстоянием, т. е. обеспечение максимально возможного удаления персонала в

процессе работы от источников излучения. Эффективность противолучевой защиты (физической) в последнее время благодаря автоматическим устройствам для дистанционного применения радиоактивных препаратов повысилась.

При переносе радиоактивных препаратов следует пользоваться транспортным контейнером на длинной ручке. Важным способом противолучевой защиты является защита временем, т. е. выполнение рабочих процессов в течение короткого промежутка времени. Скорость выполнения рабочих процессов с радиоактивными препаратами определяется предварительной тренировкой персонала, четким планированием рабочего процесса и целеустремленностью. Критериями, оценивающими качество противолучевой защиты, являются показатели величин мощности дозы излучения на рабочих местах и величина мощности дозы облучения сотрудников.

Для приближенных расчетов толщины защиты часто используют метод слоев половинного ослабления. Слой половинного ослабления Δ — толщина материала, которая уменьшает интенсивность излучения в 2 раза.

10.7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

10.7.1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Основой радиационной безопасности персонала рентгеновских кабинетов являются: не превышение предела дозы для персонала и оптимизация радиационной защиты.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается планировкой рентгеновского кабинета, конструкцией рентгеновских аппаратов, использованием стационарных, передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, выбором оптимальных условий проведения рентгенологических исследований, осуществлением радиационного контроля, а также выполнением требований ОСПОРБ-99/2010 и настоящих Правил [10.1].

К работе по эксплуатации рентгеновского аппарата (персонал группы А) в соответствии с требованиями ОСПОРБ 99/2010 допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие документ о соответствующей подготовке, прошедшие инструктаж и проверку знания правил безопасности, действующих в учреждении документов и инструкций. Под-

готовка и переподготовка специалистов, участвующих в проведении диагностических и терапевтических рентгенологических процедур, осуществляется учреждениями, имеющими лицензию на образовательную деятельность, по программам, включающим раздел «Радиационная безопасность».

Администрация медицинской организации обеспечивает проведение предварительных (при поступлении на работу) и ежегодных периодических медицинских осмотров персонала группы А. К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний для работы с источниками ионизирующих излучений.

При выявлении отклонений в состоянии здоровья, препятствующих продолжению работы в рентгеновском кабинете, вопрос о временном или постоянном переводе этих лиц на другую работу решается администрацией медицинской организации индивидуально в установленном порядке.

Беременные женщины освобождаются от непосредственной работы с рентгеновской аппаратурой на весь период беременности.

Система инструктажа с проверкой знаний по технике безопасности и радиационной безопасности включает:

вводный инструктаж - при поступлении на работу;

первичный инструктаж - на рабочем месте;

повторный инструктаж - не реже двух раз в год;

внеплановый инструктаж - при изменении характера работ (смене оборудования рентгеновского кабинета, методики исследования или лечения и т.п.) и после радиационной аварии.

Регистрация проведенного инструктажа персонала проводится в специальных журналах

Лица, проходящие стажировку и специализацию в рентгеновском кабинете, а также учащиеся высших и средних специальных учебных заведений медицинского профиля допускаются к работе только после прохождения вводного и первичного инструктажа по технике безопасности и радиационной безопасности. Для студентов и учащихся, проходящих обучение с использованием рентгеновского излучения (старше 16 лет), годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Персонал рентгеновского кабинета обязан знать и строго соблюдать настоящие Правила, правила охраны труда, техники безопасности, радиационной безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии. О нарушениях в работе рентгеновского аппарата, неисправности средств защиты, нарушении пожарной безопасности и в

случае аварии персонал обязан немедленно доложить администрации учреждения. За несоблюдение регламента проведения рентгенологических исследований, нарушение положений инструкций и правил безопасности должностные лица и администрация учреждения привлекаются к ответственности в соответствии с действующим законодательством.

Не допускается проведение работ с рентгеновским излучением, не предусмотренных должностными инструкциями, инструкциями по технике безопасности, радиационной безопасности и другими регламентирующими документами. Не допускается работа персонала рентгеновского кабинета без средств индивидуального дозиметрического контроля. Регистрация индивидуальных доз персонала проводится по установленной форме.

Во время проведения исследования или сеанса рентгенотерапии персонал должен из комнаты управления через смотровое окно или иную систему наблюдать за состоянием пациента, подавая ему необходимые указания через переговорное устройство.

Разрешается нахождение персонала во время проведения исследования в процедурной за защитной ширмой или экраном при работе: рентгенофлюорографического аппарата с защитной кабиной, рентгенодиагностического аппарата с универсальным поворотным столештативом, костного денситометра, маммографа и рентгеностоматологического аппарата.

Во всех случаях нахождения персонала в процедурной применение средств индивидуальной защиты обязательно. Не допускается нахождение в процедурной лиц, не имеющих прямого отношения к рентгенологическому исследованию.

Выполнение персоналом рентгенологических исследований с помощью остеоденситометров допускается без использования средств защиты с учетом принципа защиты расстоянием от источника ионизирующего излучения.

При нахождении персонала в помещении вне рентгеновского кабинета, где проводится рентгенологическое исследование с помощью переносных и передвижных рентгеновских аппаратов, включение аппарата осуществляется с помощью выносного пульта управления на расстоянии не менее 2,5 м от излучателя. При этом персонал по возможности располагается за ширмой или на максимально возможном расстоянии от палатного рентгеновского аппарата и использует средства индивидуальной защиты.

При выполнении интервенционных исследований медицинские работники (хирург, анестезиолог, медицинская сестра и др.), вынуждены находиться вблизи пациента в поле рассеянного излучения, которое неравномерно распределено в пространстве. Высокая интенсивность рассеянного излучения сочетается с длительным временем проведения отдельных видов интервенционных исследований, которое может достигать нескольких часов. В связи с этим уровни облучения медицинских работников, выполняющих интервенционные исследования, относятся к наиболее высоким в медицине. Те из них, кто непосредственно работает с источником излучения (в данном случае с рентгеновским аппаратом), приказом администрации медицинского учреждения должны быть отнесены к группе А персонала.

Основным источником облучения медицинских работников является рассеянное от пациента излучение. Расположение медицинских работников по отношению к пациенту во время проведения процедуры играет важную роль в управлении дозой. Чем дальше от пациента находятся медицинские работники, тем в меньшей степени они облучаются. Увеличения площади поля, напряжения на трубке или общей фильтрации прямого излучения увеличивают долю рассеянного излучения и дозы у медицинских работников.

Конструкция рентгеновских аппаратов для проведения интервенционных исследований (С-дуга) предъявляет специальные требования к расположению рентгеновской трубки и врача-хирурга во время проведения процедуры для снижения уровней облучения последнего:

- если прямой пучок излучения распространяется вертикально (перпендикулярно телу пациента), то рентгеновская трубка должна быть под процедурным столом;

- если прямой пучок излучения распространяется горизонтально (параллельно телу пациента), то врач-хирург должен стоять со стороны УРИ, а не со стороны трубки.

При выборе позиции около процедурного стола медицинским работникам необходимо руководствоваться картами изодоз рассеянного излучения.

При проведении интервенционных исследований, а также других сложных рентгенологических исследований в рентгенооперационной (рентгеноэндоскопия, исследование детей, пациентов в тяжелом состоянии и т.д.) весь работающий персонал должен использовать индивидуальные средства защиты (фартук, жилет с юбкой, очки с просвинцованными стеклами и боковой защитой). Необходимо избегать попадания рук в прямой пучок излучения.

При выполнении длительных исследований, сопровождающихся более высокими уровнями облучения, необходимо использовать дополнительные средства защиты (подвесные экраны, боковые ширмы, защитные шторы).

При проведении рентгенотерапевтических процедур нахождение персонала в процедурной запрещается.

В случае возникновения нештатных (аварийных) ситуаций персонал действует в соответствии с инструкцией по ликвидации аварий (раздел X Правил).

10.7.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ

Основой радиационной безопасности пациентов, подвергающихся медицинским рентгенологическим процедурам, являются: обоснование проведения рентгенологических процедур и оптимизация радиационной защиты пациентов.

Для обеспечения безопасности пациентов следует также соблюдать технические меры ограничительного характера, учитывать особенности защиты детей и беременных женщин, а также особенности защиты при рентгенотерапии. Для проведения рентгенодиагностических процедур должны быть веские обоснования.

Принцип обоснования при проведении рентгенодиагностических исследований реализуется с учетом следующих требований: проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям; риск отказа от рентгенологического исследования заведомо превышает риск от облучения при его проведении; выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований; рассмотрение альтернативных (нерадиационных) методов диагностики.

Принцип обоснования при проведении рентгенотерапевтических процедур реализуется с учетом следующих требований: использование метода только в случаях, когда ожидаемая эффективность лечения превосходит эффективность альтернативных (нерадиационных) методов; риск отказа от рентгенотерапии заведомо превышает риск от облучения при ее проведении.

Принцип обоснования проведения рентгенологической процедуры в медицине применяется на двух уровнях:

- на первом уровне обосновывается применение конкретного рентгенодиагностического исследования или рентгенотерапевтической про-

цедуры для группы пациентов с соответствующей симптоматикой или диагнозом;

- на втором уровне обосновывается применение данной рентгенологической процедуры для конкретного пациента с учетом его анамнеза и предстоящего облучения.

Обоснование рентгенодиагностического исследования или рентгенотерапевтической процедуры у конкретного пациента (2-й уровень) осуществляется лечащим врачом с согласия врача – рентгенолога, в особенности, если пациент является беременной женщиной или ребенком. Индивидуальное обоснование необходимо для исследований, сопровождающихся высокой дозой излучения, т.е. терапевтических и сложных диагностических или интервенционных процедур. При этом учитываются следующие обстоятельства: необходимость и срочность применения рентгенологической процедуры в конкретных обстоятельствах; наличие требуемой диагностической информации и возможность ее получения нерадиационными методами; характеристика предполагаемого облучения и информация о предыдущих радиологических процедурах; индивидуальное состояние пациента.

Если диагностическая или терапевтическая рентгенологическая процедура не обоснована, ее не следует проводить. Необходимо стремиться к уменьшению облучения пациентов за счет исключения, как необоснованных назначений рентгенологических процедур, так и их необоснованных повторений.

Направление пациента на медицинские рентгенологические процедуры осуществляет лечащий врач после постановки предварительного диагноза по обоснованным клиническим показаниям, зафиксировав его в амбулаторной карте или истории болезни.

Пациент имеет право отказаться от медицинского рентгенологического исследования, за исключением профилактических исследований, проводимых в целях выявления заболеваний, опасных в эпидемиологическом отношении.

Окончательное решение о целесообразности, объеме и виде исследования принимает врач-рентгенолог, а в случае отсутствия врача-рентгенолога – врач, направивший пациента на рентгенологическое исследование, прошедший обучение по радиационной безопасности.

При необоснованных направлениях на рентгенологическое исследование (отсутствие первичного диагноза и др.) врач-рентгенолог может отказать пациенту в проведении рентгенологического исследования, предварительно проинформировав об этом лечащего врача и зафиксировав отказ в истории болезни (амбулаторной карте).

Произведенные в амбулаторно-поликлинических условиях рентгенологические исследования не должны дублироваться в условиях стационара. Повторные исследования проводятся только при изменении течения болезни или появлении нового заболевания, а также при необходимости получения расширенной информации о состоянии здоровья пациента.

10.7.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

При проведении рентгенологических процедур облучению в малых дозах могут подвергаться отдельные лица из населения: посетители медицинской организации, соседние пациенты и другие лица. Основой радиационной безопасности отдельных лиц из населения являются: не превышение предела дозы для населения и оптимизация радиационной защиты.

Среди населения имеются группы лиц, которые пациентами не являются, но подвергаются медицинскому облучению: помогающие в уходе за пациентами; проходящие медицинские обследования в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур; добровольцы, участвующие в медико-биологических исследованиях.

Методы регулирования облучения данных групп лиц включают принципы обоснования, оптимизации и нормирования.

10.7.4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

Целью радиационного контроля является определение соответствия уровней облучения персонала, пациентов и населения, а также параметров радиационной обстановки в рентгеновском кабинете, в смежных помещениях и на территории учреждения требованиям санитарного законодательства.

Объектами радиационного контроля являются: рабочие места персонала, помещения рентгеновского кабинета, смежные помещения, прилегающая территория; рентгеновское оборудование, средства радиационной защиты и индивидуальные дозы у персонала и пациентов.

Радиационный контроль в рентгеновских кабинетах проводится службой радиационной безопасности учреждения (ответственным лицом, назначенным приказом по учреждению) или внешней организацией, аккредитованной для соответствующего вида деятельности в установленном порядке.

Программа радиационного контроля разрабатывается на стадии проектирования рентгеновского кабинета в соответствии с ОСПОРБ-99/2010. В разделе «Радиационный контроль» проекта определяются вид и объем дозиметрических измерений, перечень приборов, вспомогательного оборудования, точек текущего и периодического контроля, состав необходимых помещений, а также штат сотрудников, осуществляющих радиационный контроль.

Внеплановый радиационный контроль проводится при изменении условий эксплуатации рентгеновского кабинета (изменение назначения кабинета и/или смежных помещений, замена рентгеновской трубки, защитных средств, при аварийных ситуациях и др.).

Радиационный контроль в рентгеновских кабинетах должен включать:

- измерение мощности дозы рентгеновского излучения на рабочих местах персонала группы А. Проводится планоно (1 раз в 2 года) и внепланоно (при изменении условий эксплуатации используемого оборудования);

- измерение мощности дозы рентгеновского излучения на рабочих местах персонала группы Б, в помещениях и на территориях, смежных с процедурной рентгеновского кабинета. Проводится планоно (1 раз в 2 года) и внепланоно (при изменении условий эксплуатации помещений или оборудования);

- измерение мощности дозы излучения утечки на расстоянии 1 м от фокусного пятна в любом направлении при закрытом выходном окне излучателя при стандартных значениях анодного напряжения (см. табл. 5.2 Правил);

- индивидуальный дозиметрический контроль персонала группы А. Проводится постоянно с регистрацией результатов измерений не реже, чем один раз в квартал;

- индивидуальный дозиметрический контроль медицинского персонала, периодически участвующего (хирурги, анестезиологи и др.) в проведении специальных рентгенологических исследований. Проводится так же, как и для персонала группы А;

- контроль дозы у пациентов. Проводится постоянно при каждом рентгенологическом исследовании с регистрацией полученных результатов;

- контроль технического состояния и защитной эффективности передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты. Проводится один раз в два года.

Все дозиметрические измерения необходимо выполнять поверенными в установленном порядке приборами. Метрологическая проверка приборов для выполнения измерений должна проводиться ежегодно.

Радиационный контроль мощности дозы (МД) на рабочих местах персонала, в смежных помещениях и на контролируемой территории. При проведении радиационного контроля МД в качестве измеряемой величины используется мощность амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$. Измерения $\dot{H}^*(10)$ на рабочих местах персонала, в помещениях и на территории, смежных с процедурной рентгеновского кабинета, должны проводиться при стандартных значениях анодного напряжения (см. табл. 10.2), значении величины анодного тока не менее 2 мА и наличии фильтров, указанных в эксплуатационной документации на рентгеновский аппарат. Размер поля на приемнике изображения при проведении измерений необходимо установить не менее 200 x 200 мм.

Измерения должны проводиться с тканеэквивалентными (водными) фантомами, имитирующими тело пациента и имеющими размеры:

- в рентгенодиагностических кабинетах общего назначения, в рентгенотерапевтических кабинетах, а также при контроле палатных и других передвижных рентгеновских аппаратов – не менее 250 x 250 x 150 мм;
- в рентгенофлюорографических кабинетах – не менее 250 x 250 x 75 мм;
- при контроле рентгеностоматологических аппаратов - диаметром 150 и высотой 200 мм;
- в кабинетах маммографии – со штатными фантомами, имеющимися в комплекте маммографических рентгеновских аппаратов (допускается использование в качестве фантома пакета из пластика объемом 200 мл, заполненного водой);
- в кабинетах компьютерной томографии и остеоденситометрии - штатными фантомами, имеющимися в комплекте компьютерных томографов и остеоденситометров.

Радиационный контроль МД на рабочих местах персонала группы А должен проводиться непосредственно около рентгеновского аппарата за малой защитной ширмой на участках размерами 60 x 60 см при вертикальном и горизонтальном положениях поворотного стола штатива в точках, расположенных на высотах, соответствующих уровню головы - 160 ± 20 см и талии - 100 ± 20 см. При наличии телеуправ-

ляемого рентгеновского аппарата радиационный контроль проводят на местах фактического нахождения персонала в пультовой во время проведения исследований.

При радиационном контроле МД в помещениях, где расположены хирургические, флюорографические, маммографические, стоматологические и другие специализированные рентгеновские аппараты, измерения мощности амбиентного эквивалента дозы необходимо проводить на рабочих местах, т.е. на участках фактического нахождения персонала во время проведения рентгенологических процедур с использованием передвижных и индивидуальных средств защиты.

Измерения мощности дозы на рабочих местах персонала в процедурной следует проводить с использованием средств индивидуальной защиты и индивидуального дозиметра.

При проведении радиационного контроля МД в рентгенотерапевтических кабинетах измерения мощности дозы проводят только в помещениях и на территории, смежных с процедурной.

В помещениях, смежных с процедурной рентгеновского кабинета, измерения мощности амбиентного эквивалента дозы проводят на одной высоте 1 м при реально используемом направлении прямого пучка рентгеновского излучения:

- в помещениях, расположенных над и под процедурной, - в точках прямоугольной сетки с шагом 1-2 м;
- в помещениях, смежных по горизонтали, - вплотную к стенам по всей длине стены с шагом 1-2 м (то же для наружной стены процедурной).

Измерения проводят также на стыках защитных ограждений, у дверных проемов, смотровых окон и отверстий технологического назначения. В дальнейшем используют максимальное измеренное значение.

Состояние радиационной безопасности в жилых или общественных помещениях, смежных с рентгеновским стоматологическим кабинетом, оценивается по результатам измерений мощности амбиентного эквивалента дозы внутри кабинета вплотную к внутренним поверхностям стационарных защитных ограждений кабинета.

Измеренные значения $\dot{H}^*(10)$ приводят к значениям стандартной рабочей нагрузки рентгеновского аппарата по формуле:

$$\dot{H}^*(10)_{np} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10) \cdot W}{t_c \cdot n \cdot T \cdot I_{uzm}}, \text{ мкЗв/ч}, \quad (10.3)$$

где: $\dot{H}^*(10)_{np}$ - значение мощности амбиентного эквивалента дозы, приведенное к стандартной рабочей нагрузке рентгеновского аппарата,

мкЗв/ч; $\dot{H}^*(10)$ – измеренное значение мощности амбиентного эквивалента дозы, мкЗв/ч; W – рабочая нагрузка рентгеновского аппарата (табл. 10.2), (мА·мин)/нед; t_c , n и T – определены в пояснении к формуле (10.1); их численные значения для разных помещений и территорий приведены в табл. 10.1; $I_{нзм}$ – значение тока, установленное во время измерения, мА; 0,83 – числовой множитель.

Для анализа результатов радиационного контроля МД на рабочих местах, находящихся непосредственно в процедурной рентгеновского кабинета, значение приведенной мощности эффективной дозы

\dot{E} оценивают по формуле:

$$\dot{E} = \left[\dot{H}^*(10)_{np}^{160} \cdot w^{160} + \dot{H}^*(10)_{np}^{100} \cdot w^{100} \right], \text{ мкЗв/ч, (10.4)}$$

где: $\dot{H}^*(10)_{np}^{160}$, $\dot{H}^*(10)_{np}^{100}$ – значения мощности амбиентного эквивалента дозы, приведенные к рабочей нагрузке рентгеновского аппарата на основе измеренных значений на уровнях головы и талии; w^{160} , w^{100} – взвешивающие коэффициенты, принятые равными 0,1 и 0,9, соответственно.

В помещениях, смежных с процедурной рентгеновского кабинета, мощность амбиентного эквивалента дозы измеряют на одной высоте 100 см, учитывая, что в этих условиях облучение тела человека относительно равномерно. Для оценки результатов радиационного контроля мощность эффективной дозы \dot{E} принимается равной мощности амбиентного эквивалента дозы, приведенного к рабочей нагрузке рентгеновского аппарата

$$\dot{E} \approx \dot{H}^*(10)_{np}^{100}, \text{ мкЗв/ч, (10.5)}$$

Полученное по результатам измерений значение приведенной мощности эффективной дозы \dot{E} сравнивают со значениями ДМЭД для лиц соответствующих категорий и помещений различного назначения.

Результаты дозиметрических измерений оформляются в форме протокола. Протоколы выполненных измерений предоставляются надзорным органам или прилагаются к акту обследования.

РАЗДЕЛ III. ЗАЩИТА ОТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ГЛАВА 11. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

11.1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

По отношению к защищенному объекту существуют методы и средства коллективной и средства индивидуальной защиты.

Для снижения уровня шума на предприятиях могут применяться согласно ГОСТ 12.1.029 – 80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» следующие основные методы коллективной защиты: -уменьшение шума в источнике его возникновения; изменение направленности излучения; рациональная планировка предприятий и цехов; акустическая обработка помещений; уменьшение шума на пути его распространения.

Уменьшение шума в источнике его возникновения. Основной источник шума в производственных цехах - технологическое оборудование. Опыт показывает, что эффективность мероприятий по снижению наиболее характерного для оборудования механического шума весьма ограничена и обусловлена возможностью конструктивных изменений его узлов. Поэтому снижения механического шума машин следует добиваться, главным образом, на стадии проектирования. Необходимо учитывать, что один из возможных путей снижения шума - уменьшение скорости соударения элементов оборудования и увеличение продолжительности их соударения.

С целью уменьшения механического шума необходимо:

- заменять возвратно-поступательное движение деталей равномерным вращательным движением;
- применять вместо прямозубых шестерен косозубые или шевронные, что снижает уровень шума на 5 дБ;
- повышать класс точности обработки и уменьшать шероховатость поверхностей шестерен, что снижает шум на 5 – 10 дБ;
- по возможности заменять зубчатые и цепные передачи клиноременными и зубчато-ременными, что снижает шум на 10 – 15 дБ;
- заменять, когда это возможно, подшипники качения на подшипники скольжения, такая замена снижает шум на 10 – 15 дБ;

-по возможности заменять металлические детали деталями из пластмасс и других незвучных металлов; так, замена одной из стальных шестеренок (в паре) на капроновую снижает шум на 10 – 12 дБ;

-использовать пластмассы при изготовлении деталей корпусов, например, замена стальных крышек редуктора пластмассовыми приводит к снижению шума на 2 – 6 дБ на средних частотах и на 7 – 15 дБ на высоких;

-увеличивать внутренние потери материала деталей, изготавливая их из сплавов с высоким коэффициентом внутреннего трения (хромистые стали, марганцево-медные магниевые сплавы, чугун и др.);

-применять балансировку вращающихся элементов машин;

-использовать прокладочные материалы и упругие вставки в соединениях, чтобы исключить или уменьшить передачи колебаний от одной детали или части агрегата к другой;

-применять смазку соударяющихся деталей, заключать в масляные ванны вибрирующие и создающие шум детали (шестерни редуктора и др.).

Изменение направленности излучения шума. В ряде случаев величина показателя направленности установок G достигает 10 – 15 дБ, что необходимо учитывать при размещении установок с направленным излучением, соответствующим образом ориентируя их по отношению к рабочим местам и прилегающему к территории предприятия жилому массиву.

Рациональная планировка предприятий и цехов. Меры борьбы с шумом следует предусматривать уже на стадии проектирования генеральных планов промышленных предприятий и планировок помещений в отдельных цехах. Так, при расположении промышленных зданий на генплане не допускается размещение объектов, требующих защиты от шума (лабораторно-конструкторских корпусов, вычислительных центров, административных и тому подобных зданий), в непосредственной близости от шумных механических и кузнечно-штамповочных цехов, компрессорных станций и т.п. Разрывы между зданиями, в которых расположены особо шумные производства (с уровнем шума более 85 дБА), и соседними с ними должны быть не менее 100 м. Наиболее шумные объекты необходимо компоновать в отдельные комплексы. Между “тихим” и “шумным” комплексами рекомендуется создавать зеленую защитную полосу шириной не менее 5 м из густолиственных деревьев.

При планировке помещений внутри зданий нужно предусматривать максимально возможное удаление тихих и малозумных помеще-

ний от помещений с интенсивными источниками шума. Между шумными и тихими цехами устраивают коридоры, холлы с внутренним озеленением. Озеленение весьма желательно размещать также и в цехах. Все эти мероприятия должны выполняться с учетом технологических процессов на предприятии.

Акустическая обработка помещений. При наличии источника шума в помещении нередко звуковые волны многократно отражаются от стен, потолка и различных предметов. Большинство материалов применяемых в строительстве (бетон, кирпич, стеклоблоки, и т.п.) поглощает меньше 2% падающей на их поверхность звуковой энергии, отражая 98% обратно в помещение. В этом случае интенсивность звука

I на рабочем месте складывается из интенсивности прямого звука $I_{\text{пр}}$, идущего непосредственно от источника, и интенсивности отраженного звука $I_{\text{отр}}$: $I = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}}$. Отраженный звук обычно увеличивает уровень шума в помещении на 5 – 15 дБ.

С целью уменьшения интенсивности отраженного звука применяют метод *акустической обработки помещения*, под которой понимается облицовка всех или части внутренних поверхностей помещения звукопоглощающим материалом или специальными звукопоглощающими конструкциями.

При падении звуковых волн на звукопоглощающие материалы и конструкции значительная часть звуковой энергии поглощается, а меньшая часть – отражается. Процесс поглощения звука происходит за счет перехода энергии колеблющихся частиц воздуха в теплоту вследствие потерь на трение в порах материала. Следовательно, для эффективного звукопоглощения материал должен обладать пористой структурой, причем поры должны быть открыты со стороны падения звука и соединяться между собой, чтобы не препятствовать проникновению звуковой волны в толщу материала.

Звукопоглощающие материалы и конструкции характеризуются коэффициентом звукопоглощения

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{пад}}}, \quad (11.1)$$

где $I_{\text{погл}}$ – интенсивность поглощенного звука, Вт/м²; $I_{\text{пад}}$ – интенсивность падающего звука, Вт/м².

Свойствами поглощения звука обладают все материалы. Однако звукопоглощающими материалами (конструкциями) принято называть лишь те, у которых коэффициент звукопоглощения на средних частотах (400 – 1000 Гц) больше 0,2. У таких строительных материалов, как кирпич, бетон, величина α мала (0,01 – 0,05), поэтому в помещении облицовка стен и потолков, выполненных из этих материалов, дает значительный эффект.

Величину снижения шума $\Delta L_{обл}$ (дБ) в результате акустической обработки (облицовки) помещения определяют по формуле:

$$\Delta L_{обл} = 10 \lg \frac{B_2}{B_1}, \quad (11.2)$$

где B_1 – постоянная помещения до его акустической обработки, м², определяемая из графика по СНиП II-12-77 в зависимости от объема помещения; B_2 – постоянная помещения после его акустической обработки, м².

Величину постоянной помещения B_2 можно определить по формуле:

$$B_2 = \frac{S\gamma}{S - \gamma}, \quad (11.3)$$

где S – площадь внутренних ограждающих поверхностей помещения, м². $S = 2(ab + S = 2(ab + bh + ah))$, где a , b , h – длина, ширина и высота помещения соответственно, м.

Величину γ вычисляют по формуле:

$$\gamma = \bar{\alpha}S + (\alpha_{обл} - \alpha)S_{обл}, \quad (11.4)$$

где $S_{обл}$ – площадь звукопоглощающей конструкции, м²; $\alpha_{обл}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции, определяемый по таблицам; $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения помещения до его акустической обработки, определяемый по формуле

$$\bar{\alpha} = \frac{B_1}{B_2 + S}. \quad (11.5)$$

Звукопоглощающие облицовки целесообразно применять в цехах прут ковых автоматов и клепальных, на участках холодной штамповки и вибро-обкатки, в машинных залах вычислительных центров.

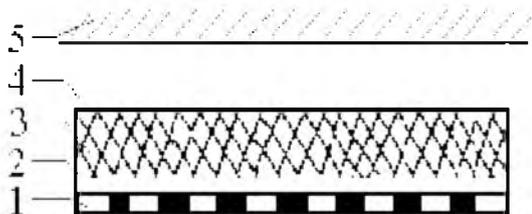


Рис. 11.1. Схема звукопоглощающей облицовки

Звукопоглощающие облицовки обычно размещают в помещении на потолке и на стенах. Площадь облицовываемой поверхности для достижения максимально возможного эффекта должна составлять не менее 60 % общей площади ограничивающих помещение поверхностей. С помощью звукопоглощающих облицовок и конструкций можно обеспечить снижение шума в помещении на 8-10 дБ.

Наиболее часто для акустической обработки производственных помещений применяются облицовки, состоящие из пористых волокнистых звукопоглощающих материалов типа матов или мягких плит, закрытых со стороны помещения перфорированными экранами (рис. 11.1).

Перфорированный экран 1 защищает звукопоглощающий материал 3 от механических повреждений. Чтобы предотвратить высыпание через отверстия перфорации звукопоглощающих волокнистых материалов (особенно стекломинераловатных), между экраном и волокнистым материалом помещается защитная оболочка 2 из акустически прозрачной ткани.

При необходимости снижения шума в помещении, преимущественно в области низких частот, звукопоглощающую облицовку следует относить от поверхности стены на 100 – 250 мм, оставляя между потолком 5 или стеной и облицовкой воздушный промежуток 4.

Уменьшение шума на пути его распространения. Снижение шума, распространяющегося по воздуху, наиболее радикально может быть осуществлено устройством на пути его распространения звукоизолирующих преград в виде стен (рис. 11.2), перегородок, перекрытий, специальных звукоизолирующих кожухов, кабин и т.д.

Принцип звукоизоляции устройством ограждения заключается в том, что большая часть падающей звуковой энергии отражается и лишь незначительная часть проникает через ограждение.

Звукоизоляция ограждения R (дБ) определяется по формуле:

$$R = \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{I_{\text{ПАД}}}{I_{\text{ПР}}} = 10 \lg \frac{P_{\text{ПАД}}}{P_{\text{ПР}}}, \quad (11.6)$$

где τ – коэффициент звукопроницаемости ($\tau = I_{\text{ПР}} / I_{\text{ПАД}} = P_{\text{ПР}} / P_{\text{ПАД}}$); $I_{\text{ПАД}}$ – интенсивность падающего звука, Вт/м²; $I_{\text{ПР}}$ – интенсивность прошедшего звука, Вт/м²; $P_{\text{ПАД}}$ – звуковая мощность, падающая на ограждение, Вт; $P_{\text{ПР}}$ – звуковая мощность, прошедшая через ограждение, Вт.

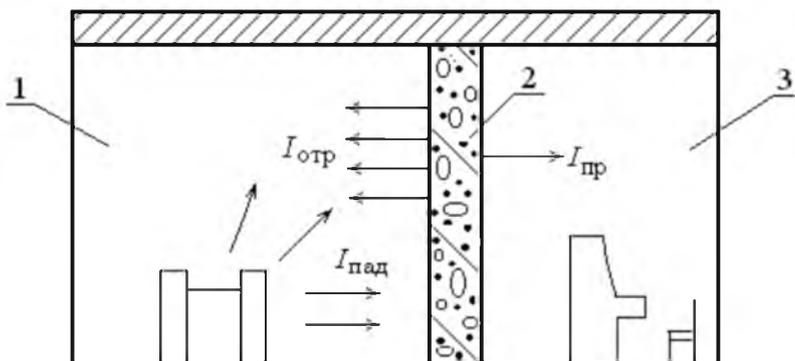


Рис. 11.2. Звукоизоляция устройством ограждения:

1 – помещение с источником шума; 2 – звукоизолирующая преграда; 3 – изолируемое помещение

Ограждения бывают однослойные и многослойные. Звукоизоляция однослойной однородной перегородки R (дБ) может быть определена по формуле:

$$R = 20 \lg(m_0 f) - 47,5, \quad (11.7)$$

где m_0 – масса 1 м² ограждения, кг; f – частота звука, Гц.

Из формулы следуют два важных вывода: звукоизоляция ограждений тем выше, чем они тяжелее, она меняется по закону массы, так, увеличение массы в два раза приводит к повышению звукоизоляции на 6 дБ; звукоизоляция одного и того же ограждения возрастает с увеличением частоты, на высоких частотах эффективность установки ограждения будет значительно выше, чем на низких частотах.

Необходимо отметить, что формула применима не во всем диапазоне частот, поскольку в ней не учитывается влияние жесткости и размеров ограждения. В действительности же в частотной характеристике однослойного ограждения можно выделить три диапазона (рис. 11.3).



Рис. 11.3. Частотные диапазоны звукоизоляции однослойного ограждения

Звукоизоляция в диапазоне I определяется жесткостью ограждения и резонансными явлениями. Учитывая, что у большинства однослойных ограждений собственная частота колебаний лежит ниже диапазона частот, в котором нормируется уровень шума, расчет звукоизоляции в диапазоне I не производят.

В диапазоне II звукоизоляция определяется массой ограждения, которое можно рассматривать состоящим из большого количества масс, колеблющихся независимо одна от другой. В этом частотном диапазоне звукоизоляция может быть рассчитана по выше приведенной формуле.

В диапазоне III сначала наблюдается ухудшение звукоизоляции из-за возникновения явления волнового совпадения (см. рис. 11.4), При волновом совпадении распространение давления в падающей звуковой волне вдоль ограждения точно соответствует распределению амплитуды смещения собственных изгибных колебаний ограждения, что при-

водит к своеобразному пространственному резонансу и интенсивному росту колебаний. Затем звукоизоляция однослойного ограждения, зависящая не только от его массы, но и от жесткости, увеличивается с ростом частоты звука несколько быстрее, чем в диапазоне II.

Рассмотренная величина звукоизолирующей способности ограждения показывает насколько понижается уровень шума за перегородкой в предположении, что далее он распространяется беспрепятственно (например, шум через ограждение выходит на улицу).

При волновом совпадении распространение давления в падающей звуковой волне вдоль ограждения точно соответствует распределению амплитуды смещения собственных изгибных колебаний ограждения, что приводит к эффекту пространственного резонанса и интенсивному росту колебаний. Затем звукоизоляция, зависящая не только от массы, но и от жесткости ограждения, увеличивается с ростом частоты звука несколько быстрее, чем в диапазоне II.

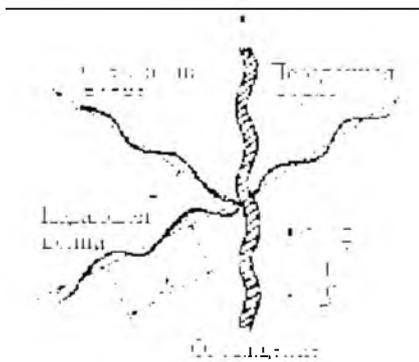


Рис. 11.4. Схема волнового совпадения

Согласно требований безопасности ГОСТ 12.1.003–83* звукоизолирующие свойства ограждения, установленного на пути распространения звука, должны обеспечивать снижение шума на рабочих местах в помещении до допустимых уровней звукового давления во всех девяти октавных полосах.

Требуемая звукоизолирующая способность ограждения $R_{ТР.ОГР}$ (дБ), обеспечивающая в изолируемом помещении допустимые уровни звукового давления, определяется из выражения:

$$R_{ТР.ОГР} = L - \lg B_{II} + 10 \lg S_{ОГР} - L_{доп}, \quad (11.8)$$

где L – октавные уровни звукового давления в шумном помещении, дБ; $V_{п}$ – постоянная помещения, смежного с шумным, м²; $S_{огр}$ – площадь ограждения общего для шумного и изолируемого помещений, м²; $L_{доп}$ – допустимые уровни звукового давления в изолируемом помещении, дБ.

Уровень шума на рабочих местах в изолируемом помещении

$L_{из}$ (дБ) определяется по формуле:

$$L_{из} = L - R_{огр} - 10 \lg V_{п} - 10 \lg S_{огр}, \quad (11.9)$$

где $R_{огр}$ – звукоизоляция реальной конструкции ограждения, дБ.

Один из эффективных способов уменьшения шума – заключение источника шума 1 в звукоизолирующий кожух 2 (рис. 12.5). Высокая степень звукоизоляции за счет установки кожуха может быть достигнута только в случае отсутствия в нем щелей, отверстий, тщательной виброизоляции 4 кожуха от фундамента 5 и трубопроводов, а также при облицовке внутренней поверхности кожуха звукопоглощающим материалом 3.

В качестве материала для изготовления обшивки кожуха используется сталь, алюминиевые сплавы, фанера, древесно-стружечная плита ДСП, стеклопластик.

Звукоизолирующая способность кожуха $R_{КОЖ}$ (дБ) определяется физическими параметрами используемых при изготовлении материалов и конструктивными размерами его элементов. Требуемую зву-

коизолирующую способность кожуха $R_{ТРКОЖ}$ (дБ) рассчитывают по формуле

$$R_{ТРКОЖ} = \Delta L_{ТР} + 10 \lg \frac{S_{КОЖ}}{S_{ИСТ}} \quad (11.10)$$

где $\Delta L_{ТР}$ – требуемое снижение уровней звукового давления, дБ; $S_{КОЖ}$ – площадь поверхности кожуха, м²; $S_{ИСТ}$ – площадь воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума, м².

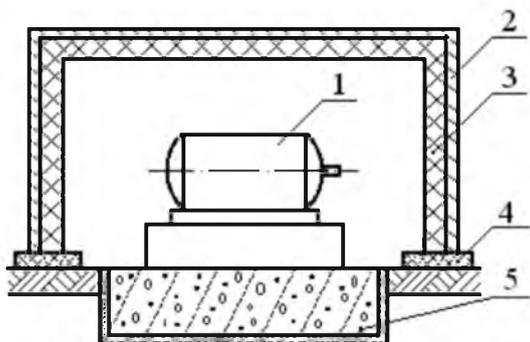


Рис. 11.5. Звукоизолирующий кожух

Конструкцию кожуха подбирают так, чтобы его звукоизолирующая способность была в каждой октавной полосе больше требуемой

$$R_{КОЖ} \geq R_{ТРКОЖ}$$

Уровень шума в расчетной точке после установки звукоизолирующего кожуха на источник $L_{КОЖ}$ (дБ) рассчитывается по формуле:

$$L_{КОЖ} = L - R_{КОЖ} + 10 \lg \frac{S_{КОЖ}}{S_{ИСТ}}, \quad (11.11)$$

где L – уровень шума в расчетной точке до установки кожуха, дБ;
 $R_{КОЖ}$ – звукоизолирующая способность реальной конструкции стенок кожуха, дБ

Средства защиты по отношению к источнику шума подразделяются на средства, снижающие шум на пути его распространения, и средства, снижающие шум в источнике возникновения. Средства, снижающие шум в источнике его возникновения в зависимости от характера шумообразования, подразделяются на средства, снижающие шум механического, аэро-, гидродинамического и электрического происхождения.

Средства, снижающие шум на пути его распространения, в зависимости от среды подразделяются на средства, снижающие передачу воздушного шума, и средства, снижающие передачу структурного шума (распространяемого через твердые элементы).

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

11.2. СИСТЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ ШУМА

Для предупреждения распространения шума его источник изолируется (частично или полностью) с помощью ограждений (стен, перегородок, перекрытий, кожухов и экранов), отражающих звуковую энергию. Звукоизолирующая способность ограждений зависит от акустических свойств материалов (скорости звука в поле), геометрических размеров, числа слоев материала, массы, упругости, качества крепления ограждения, частоты его собственных колебаний и частотной характеристики шума. На рис. 11.6 приведены примеры снижения шума средствами шумоглушения, из которого следует, что наиболее эффективно они снижают наиболее опасные средне- и высокочастотные шумы.

Акустические экраны представляют собой щиты, облицованные со стороны источника шума звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50-60 мм. Их следует применять для защиты от шума обслуживаемого и соседних агрегатов, если звукопоглощающие облицовки не обеспечивают соблюдения гигиенических нормативов. Их назначение - снижение интенсивности прямого звука или отгораживание шумного оборудования или участков от остальной части помещения. Экран является преградой, за которой образуется акустическая тень со сниженным уровнем звукового давления прямого шума. Он наиболее эффективен против шума высоких и средних частот и дает малый эффект для низкочастотного шума, огибающего экраны за счет дифракции. Линейные размеры экрана не менее чем в 2-3 раза должны превосходить линейные размеры источника шума. Их целесообразно применять для защиты от источников шума, создающих уровни звукового давления в рассматриваемых точках, превышающие допустимые не менее чем на 10 дБ и не более чем на 20 дБ.

Звукоизолирующие качества ограждения определяются коэффициентом звукопроводимости. Для диффузного звукового поля, в котором все направления распространения прямых и отраженных звуковых волн равновероятны, величина звукоизоляции ограждения может быть

рассчитана по формуле (в дБ):

$$R = 10 \lg(1/\tau)$$

Глушители шума, распространяющегося по каналам, возникающего на выходе вентиляторов, на входе и выходе компрессоров, разделяются на активные и реактивные (рис. 11.7). Активные представляют собой канал, облицованный звукопоглощающим материалом. Они используются для борьбы с шумом со сплошным широкополосным спектром. Реактивные глушители применяются для борьбы с шумом с резко выраженными дискретными составляющими (выхлопом поршневых двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и т. п.) и выполняются в виде камер расширения и сужения, с перегородками и т. п.

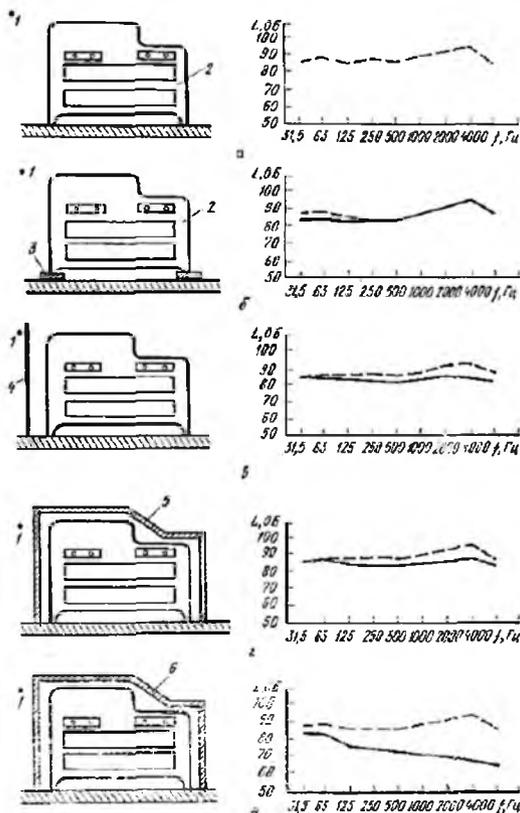


Рис. 11.6. Эффективность средств снижения шума машин: а - до применения средств шумоглушения; б - после применения виброизолятора; (1 - точна наблюдения; 2 - машина; 3 - виброизолятор); в - после применения твердого экрана 4, з - после применения кожуха из пористого материала 5; д - после применения кожуха из жесткого непористого материала 6.

Особо нужно отметить, что традиционные методы борьбы с шумом с помощью звукоизоляции и звукопоглощения малоэффективны при инфразвуке. В этом случае первостепенным является борьба с этим вредным производственным фактором в источнике его возникновения.

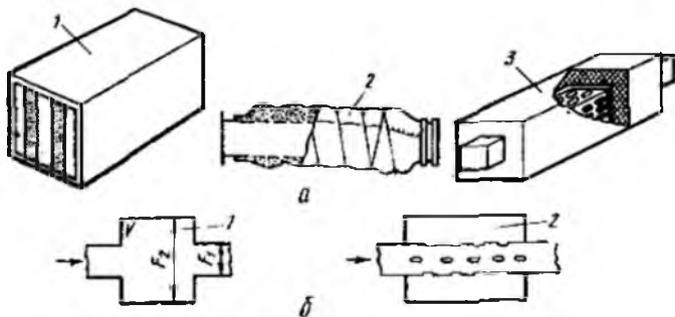


Рис. 11.7. Схемы глушителей шума:

а - активного типа (1 - пластинчатый; 2 - трубчатый круглого сечения; 3 - трубчатый прямоугольного сечения); *б* - реактивные (1 - камерный; 2 - резонансный; F_1 - площадь сечения канала; F_2 - площадь сечения расширительной камеры; V - объем камеры)

Амортизаторы для изоляции от вибрации изготавливаются из пружин, резиновых прокладок, в виде гидравлических или пневматических устройств, -а также их комбинации (рис. 11.8).

*При вертикальных колебаниях используются опорные или подвесные амортизаторы, а при одновременном действии вертикальных и горизонтальных колебаний - сочетание указанных амортизаторов, размещаемых как по вертикали, так и в горизонтальной плоскости.

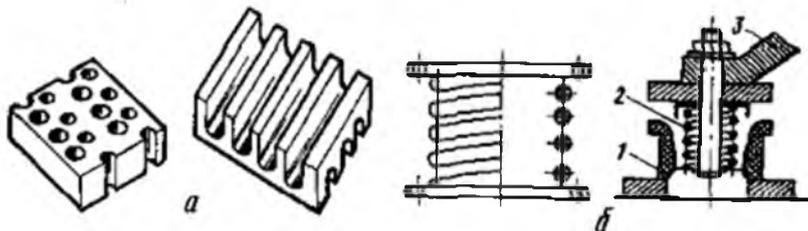


Рис. 11.8. Виброизолирующие опоры:

а - резиновые; *б* - пружинные; *в* - пружинно-резиновое (1 - резина; 2 - пружина; 3 - опора виброизолированной машины)

Обладающие высокой виброизолирующей способностью и долговечностью пружинные амортизаторы имеют небольшое внутреннее трение, в связи с чем плохо рассеивают энергию колебаний, затухание которых замедляется особенно в резонансном режиме при пуске и остановке машины.

Виброизолирующая способность резиновых амортизаторов ниже пружинных, но большое внутреннее сопротивление (коэффициент неупругого сопротивления) обеспечивает значительное снижение амплитуды собственных колебаний и времени их затуханий на резонансных режимах.

Для повышения устойчивости и уменьшения амплитуды колебаний машины ее следует монтировать на тяжелой металлической раме, чем достигается увеличение массы всей виброизолируемой системы, опирающей на виброопоры типа ОВ.

Для снижения вибрации ограждений, кожухов, транспортных и вентиляционных коммуникаций в резонансных режимах применяется вибропоглощение с помощью покрытий их поверхности материалами с большим внутренним трением (резина, пластики, мастики). Их наносят в местах максимальных амплитуд вибраций, определяемых по значениям виброскорости.

11.3. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ) обосновано лишь в тех случаях, когда невозможно добиться снижения шума другими средствами. СИЗ выбирают исходя из спектра шума на рабочем месте, они бывают в виде вкладышей (мягких или жестких), в виде наушников или шлемов. Звукопоглощающим материалом в наушниках служит поролон или ультратонкое стекловолокно. Чтобы привыкнуть к наушникам, их надевают сначала на полчаса в день, затем в течение 12 месяцев увеличивают время на 15-20 мин ежедневно. Высокочастотный шум наушники ослабляют до 35 дБ. Для защиты от низкочастотного шума они не эффективны. Человеческая речь, в основном состоящая из низкочастотных звуков, в наушниках слышима, в то время как производственный шум заглушается.

Постоянный рост автопарка в городах и интенсивности транспортных портов, расширение улично-дорожной сети приводят к значительному увеличению площади городских территорий с неблагоприятным акустическим режимом.

Для снижения шума на жилой территории строятся специальные шумозащитные (барьерные) здания – экраны (жилого и нежилого назначения), стенки, насыпи, эстакады, образующие акустическую тень.

Большое значение для снижения уровня шума в жилой среде имеет оформление лоджий и балконов с помощью звукопоглощающей облицовки.

Уменьшению транспортного шума (до 25 дБ) способствует применение типовых конструкций окон с повышенной звукоизоляцией за счет увеличения толщины стекол и воздушного пространства между ними, тройного остекления, уплотнения притворов, использования звукопоглощающей прокладки по периметру оконных рам. Специальные конструкции оконных блоков с устройством вентиляционных клапанов – глушителей («шумозащитное окно») обеспечивают естественную вентиляцию помещений при одновременном снижении транспортного шума на 25-35 дБ.

Часто практически невозможно, а иногда неэкономично уменьшить шум, вибрацию до допустимых величин общетехническими мероприятиями. Тогда прибегают к средствам индивидуальной защиты органов слуха, установленных ГОСТ 12.4.051–87. К ним относятся противошумы – вкладыши, наушники, шлемы, эффективность использования которых особенно велика в области высоких частот, наиболее вредных и неприятных для человека.

Вкладыши могут быть однократного пользования, изготовленные из ультратонкого волокна типа ФПП, и многократного пользования из пластмассы или других упругих эластичных материалов. Вкладыши обеспечивают снижение шума в октавных полосах на 5–30 дБ.

Наушники типа ВЦНИИОТ обладают большей эффективностью, снижая уровень звукового давления на 7–47 дБ. Однако они в ряде случаев неудобны в эксплуатации (большая масса, наличие прижима в околоушной области, запотевание кожи под наушниками и др.). Поэтому наушники чаще используют в тех случаях, когда требуется их периодическое применение.

При шумах с высокими уровнями (более 120 дБ) вкладыши и наушники не обеспечивают необходимой защиты, и в этих случаях применяют противошумные каски, эффективность которых составляет 35-40 дБ, и, кроме органов слуха, они препятствуют передаче энергии звука через поверхность головы.

Эффективность различных средств индивидуальной защиты от шума приведена на рис. 11.9, из которого следует весьма важная особенность с точки зрения охраны труда.

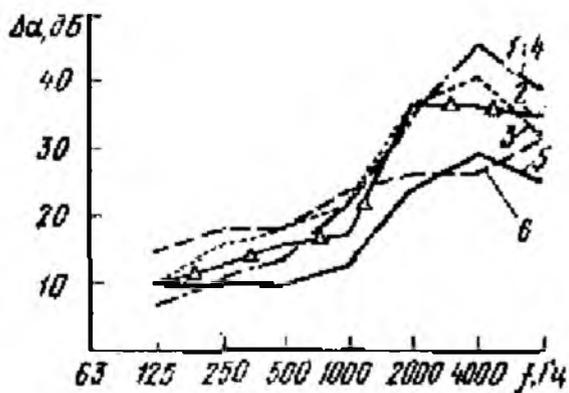


Рис. 11.9. Эффективность различных средств индивидуальной защиты от шума:

1-наушники ВЦНИИОТ-2М; 2 - наушники ВЦНИИОТ А1; 3 - наушники ВЦНИИОТ-7И; 4 - противошумная каска ВЦНИИОТ-2; 5 – заглушки «Антифоны»; 6 - вкладыши «Беруши».

Большая их эффективность соответствует области наиболее опасных средне- и высокочастотных шумов. В низкочастотной области, т. е. в области разговорной речи, их эффективность значительно ниже и составляет 4-15 дБ. Это обеспечивает возможность принятия указаний и команд, подаваемых голосом, что особенно важно в аварийных ситуациях.

Применение средств индивидуальной защиты от шума остается пока единственной мерой защиты на тех производствах, где в настоящее время невозможно добиться снижения шума техническими средствами.

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 85 дБ А должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026 – 76 «ССБТ. Сигнальные знаки безопасности». Работаящих в этих зонах работодатель обязан снабжать средствами индивидуальной защиты органов слуха по ГОСТ 12.4.051 – 87 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические условия и методы испытаний».

При написании главы 11 использованы литературные источники [11.1-11.12].

ГЛАВА 12. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ИНФРАЗВУКОМ И УЛЬТРАЗВУКОМ

12.1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ИНФРАЗВУКА

Инфразвук (ИЗ) может распространяться на большие расстояния вследствие незначительного поглощения в атмосфере и способности огибать препятствия. Большие длины волн, свойственные ИЗ, определяют их выраженную дифракционную способность, а значительные величины амплитуды колебаний позволяют им воздействовать на человека на значительных расстояниях от источника.

Для организации защиты от ИЗ необходимо использовать комплексный подход, включающий конструктивные меры снижения инфразвука в источнике образования, планировочные решения, организационные, медицинские меры профилактики и средства индивидуальной защиты.

К основным мероприятиям по борьбе с ИЗ относятся:

1. Изоляция объектов, являющихся источниками ИЗ, выделение их в отдельные помещения.
2. Использование кабин наблюдения с дистанционным управлением технологическим процессом.
3. Повышение быстроходности машин, обеспечивающее перевод максимума излучения в область слышимых частот.
4. Применение глушителей инфразвука с механическим преобразованием частоты волны.
5. Устранение низкочастотных вибраций.
6. Повышение жесткости конструкций больших размеров.
7. Введение в технологические цепочки специальных демпфирующих устройств малых линейных размеров, перераспределяющих спектральный состав колебаний в область более высоких частот.
8. Использование средств защиты органы слуха и головы от ИЗ – противошумов, наушников, гермошлемов и т.д. (заглушающая способность которых на низких частотах значительно ниже, чем на высоких). Для повышения эффективности защиты рекомендуется использовать комбинацию нескольких типов средств защиты, например, противошумные наушники и вкладыши.
9. Применение рационального режима труда и отдыха – введение 20-минутных перерывов через каждые 2 часа работы при воздействии ИЗ с уровнями, превышающими нормативные.

12.2. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАЗВУКА ПО ПУТИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Снижение интенсивности ИЗ может быть достигнуто различными способами: изменением режима работы устройства или его конструкции; звукоизоляцией источника, поглощением звуковой энергии, при помощи глушителей шума: интерференционного, камерного, резонансного и динамического типов, а также за счет использования механического преобразователя частоты. Защита от вредного воздействия ИЗ расстоянием мало эффективна, так как при равной мощности источников ИЗ и звуковых колебаний с частотой f_u и f_{zv} соответственно справедливо выражение

$$r_u = r_{zv} \left(\frac{f_{zv}}{f_u} \right), \quad (12.1)$$

где r_u и r_{zv} - соответственно расстояние от источника ИЗ волн и воли в слышимом диапазоне частот, на которых имеет место одинаковая интенсивность излучаемых колебаний. Таким образом, ослабление уровня ИЗ с увеличением расстояния весьма незначительно по сравнению с ослаблением звуковых колебаний. Это связано с малым затуханием ИЗ колебаний при распространении в воздушной среде. Поглощение в нижних слоях атмосферы ИЗ колебаний с частотой ниже 10 Гц не превышает $8 \cdot 10^{-6}$ дБ/км.

Борьбу с ИЗ в источнике его возникновения необходимо вести, прежде всего, в направлении изменения режима работы технологического оборудования увеличением его быстроходности, например увеличением числа рабочих ходов кузнечно-прессовых машин, чтобы основная частота следования силовых импульсов лежала за пределами ИЗ диапазона. Одновременно должны приниматься меры по снижению интенсивности аэродинамических процессов, в частности по ограничению скоростей движения устройств транспортного средства, снижению скоростей истечения в атмосферу рабочих тел (авиационные и ракетные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, системы сброса пара тепловых электростанций и т. д.).

При выборе конструкции предпочтение должно отдаваться малогабаритным машинам большой жесткости, поскольку в конструкциях с плоскими поверхностями большой площади и малой жесткости создаются условия для генерации ИЗ.

Для уменьшения амплитуды ИЗ колебаний целесообразно использовать глушители шума, что является наиболее простым способом уменьшения уровня ИЗ составляющих шума всасывания и выхлопа стационарных дизельных и компрессорных установок, ДВС и турбин.

Применение глушителей интерференционного типа так же, как в случае борьбы с шумом, наиболее эффективно, когда требуется заглушить одну или несколько дискретных составляющих в спектре ИЗ, особенно в случае его распространения по каналам.

Чтобы добиться смещения волны по фазе, в воздуховодах устраивают боковой отвод, длина которого должна быть $(\lambda/2)a$, где λ - длина заглушаемой ИЗ; $a = 1, 3, 5, \dots$

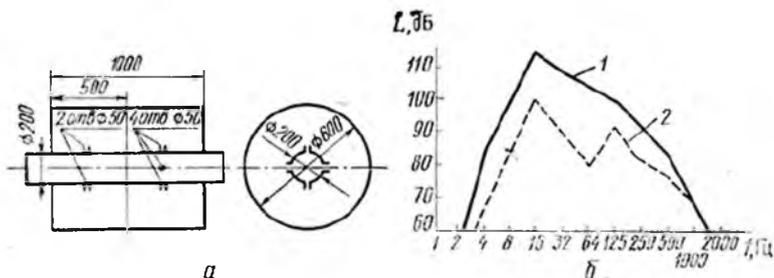


Рис. 12.1. Схема двухкамерного кольцевого глушителя ИЗ (а) и спектры ИЗ компрессора ВП-20/10М (б):

1 - спектр ИЗ до установки глушителя; 2 - спектр ИЗ после постановки глушителя

Глушители камерного или резонансного типа работают на тех же принципах, что и аналогичные глушители шума. Однако в случае ИЗ колебаний они должны иметь весьма большой объем расширительной камеры или резонансной полости. На рис. 12.1,а представлена схема двухкамерного кольцевого гасителя к компрессору ВП-20/10М. Использование этого глушителя на всасывающем тракте позволило резко снизить уровень ИЗ составляющих компрессора (рис. 12.1,б). Сравнение спектров шума компрессора до установки глушителя (кривая 1) и после установки (кривая 2) показывает, что эффективность глушителя составляет более 10 дБ во всем рассматриваемом диапазоне частот.

Механический преобразователь частоты ИЗ колебаний основан на способе амплитудной модуляции звуковых колебаний. Он может быть применен для защиты от ИЗ, распространяющегося по закрытому каналу, например в выхлопных трубах двигателей внутреннего сгорания (ДВС), аэродинамических трубах при испытаниях авиационных двигателей. Модуляция ИЗ колебаний осуществляется посредством

аэродинамического преобразователя, например ультразвуковой сирены, установленного па пути распространения ИЗ волн. Это позволяет преобразовывать ИЗ колебания в менее опасные ультразвуковые колебания. Амплитуда несущего колебания может быть изменена за счет соответствующего изменения частот модулирующего сигнала во времени. На этом принципе работает глушитель, разработанный, в частности, и для систем выхлопа ДВС.

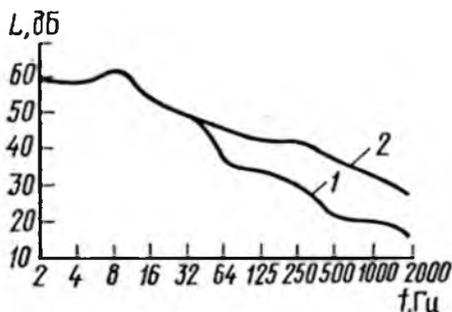


Рис. 12.2. Спектры ИЗ оборудования цеха по производству асфальта

Применение звукоизоляции ИЗ на практике представляет достаточно сложную инженерную задачу, так как требуются весьма мощные строительные конструкции с массой одного квадратного метра изоляции не менее 105-106 кг. На рис. 12.2 представлены спектры уровня ИЗ от оборудования цеха по производству асфальта, замеренные в квартирах первого этажа 4-этажного панельного дома, имеющего двойные деревянные переплеты окон. Спектр 1 соответствует измерению ИЗ в квартире с открытыми окнами, спектр 2 - с закрытыми. Обращает на себя внимание полное отсутствие эффекта звукоизоляции в ИЗ диапазоне частот. Следует отметить, что существующие расчетные зависимости эффективности звукоизоляции неприменимы для ИЗ [12.2].

Метод звукопоглощения может быть реализован применительно к ИЗ колебаниям путем использования резонирующих панелей типа конструкций Бекешы (рис. 12.3). Они представляют собой прямоугольные рамы, на которые крепится тонкостенная мембрана. Последняя может быть выполнена из металла, дерева либо воздухонепроницаемой пленки (например, холста, покрытого лаком или подобным ему материалом). При монтаже указанной конструкции в помещениях с источниками ИЗ энергия последних поглощается, так как туго натянутый холст играет роль мембраны с большим затуханием. Конструкция мо-

жет быть настроена на определенную частоту в спектре ИЗ. Собственная частота резонатора Бекеши

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c^2 \rho}{mh}}, \text{ Гц,} \quad (12.2)$$

где c - скорость распространения звука; ρ - плотность воздуха; m - масса, приходящаяся на единицу поверхности мембраны; h - толщина воздушного промежутка за мембраной.

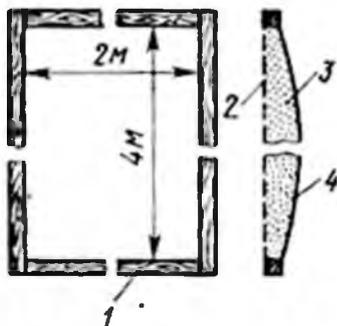


Рис. 12.3. Резонирующие панели Бекеши:
1 - рама-каркас; 2 - металлическая сетка; 3 - звукопоглотитель;
4 - апретированный холст

Для повышения эффективности рассматриваемых конструкций в диапазоне более высоких частот внутренняя полость резонатора заполняется каким-либо звукопоглощающим материалом. В этом случае со стороны поверхности крепления на раму монтируется мелкоячеистая стенка.

12.3. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ИНФРАЗВУКА

В связи с незначительным поглощением в атмосфере, способностью огибать препятствия ИЗ распространяется на значительные расстояния. Поэтому для организации защиты от ИЗ должен использоваться комплексный подход, включающий конструктивные меры снижения инфразвука в источнике образования (инфра-звукоизоляция и инфра-звукопоглощение, глушители ИЗ), планировочные решения, а в производственных условиях - применение организационно-

административных, медицинских мер профилактики и средств индивидуальной защиты.

В производственных условиях при воздействии ИЗ с уровнями, превышающими нормативные, следует применять режимы труда и отдыха с введением 20-минутных перерывов через каждые 2 ч работы, что должно быть отражено в технологических регламентах, инструкциях и др.

Для профилактики неблагоприятных функциональных состояний при напряженном труде и воздействии интенсивного ИЗ в составе бытовых помещений следует предусматривать комнаты психологической разгрузки.

Для защиты органа слуха в случаях воздействия шума и ИЗ с уровнями, превышающими нормативные, рекомендуется применять средства индивидуальной защиты (СИЗ). Подбор СИЗ при воздействиях низкочастотного шума и ИЗ производится с учетом спектральных характеристик. Для повышения эффективности защиты рекомендуется использовать комбинацию нескольких типов СИЗ от шума, например, противозумные наушники и вкладыши, а также специальные пояса, уменьшающие колебания внутренних органов и др.

Работающие в условиях воздействия ИЗ должны проходить предварительный (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры один раз в 24 месяца с привлечением специалистов: оториноларинголога (с обязательным проведением аудиометрии с исследованием воздушной и костной проводимостей и дополнительно импедансометрии), невролога и терапевта.

При проведении медицинских осмотров работающих в условиях воздействия ИЗ следует учитывать специфику его воздействия на орган слуха - поражения как звуковоспринимающего, так и звукопроводящего аппаратов. В качестве скринингового теста воздействия ИЗ на организм следует использовать наличие жалоб на зуд и неприятные ощущения в слуховом проходе при отсутствии явлений дерматита.

Организация медико-профилактического обслуживания работающих в условиях воздействия ИЗ на предприятиях должна осуществляться администрацией предприятия.

Работающие в условиях воздействия ИЗ должны проходить предварительный (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры один раз в 24 мес. с привлечением специалистов: оториноларинголога (с обязательным проведением аудиометрии по данным воздушной и костной проводимости и дополнительно импедансо-аудиометрии), невропатолога и терапевта.

Периодические медицинские осмотры должны проводиться с учетом данных комплексной гигиенической аттестации рабочего места обследуемого работающего.

12.4. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАЗВУКА

В зависимости от того, где находится источник ультразвука (УЗ) - на открытом пространстве или в помещении, - для расчета уровня УЗ в расчетной точке (РТ) применяют различные формулы.

На открытом пространстве (рис. 13.4) уровень УЗ в расчетной точке можно определить по формуле

$$L = L_p + G - 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L \quad (12.3)$$

где L_p - уровень звуковой мощности источника УЗ, дБ. Это характеристика источника, определяемая по определенным методикам и обычно приводимая в его технических характеристиках; G - показатель направленности источника, дБ. Это также техническая характеристика источника, показывающая на сколько дБ энергия УЗ, излучаемого в данном направлении больше или меньше энергии, которая бы излучалась источником с таким же уровнем звуковой мощности во всех направлениях одинаково. Значение G отрицательно, если в данном направлении излучаемая энергия меньше энергии равномерно излучающего источника, и положительно, если больше; S - площадь поверхности, в которую излучается звук ($S_0 = 1 \text{ м}^2$), м^2 . Например, если источник УЗ находится на полу, то УЗ распространяется в полусферу и $S = 2\pi r^2$, где r - расстояние от источника ультразвука до расчетной точки; ΔL - снижение уровня шума на пути его распространения. Если на пути шума нет никаких препятствий и расстояние r не более 50 м, значение ΔL можно принимать нулевым.

Таким образом, если источник звука расположен на поверхности, т. е. излучает звук в полусферу, формула может быть представлена в следующем виде:

$$L = L_p + G - 20 \cdot \lg r - 10 \cdot \lg 2\pi - \Delta L = L_p + G - 20 \cdot \lg r - 8 - \Delta L \quad (12.4)$$

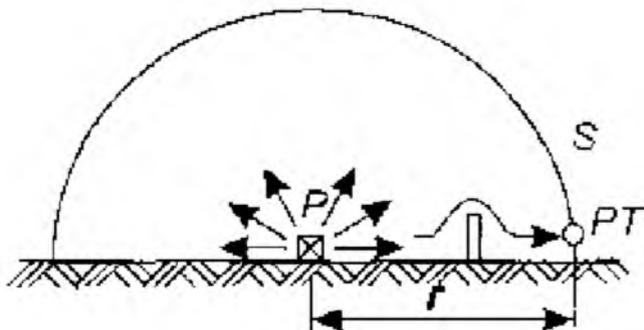


Рис. 12.4. Излучение звуковых волн на открытом пространстве

В помещении (рис. 12.5) уровень УЗ в расчетной точке складывается из прямых и отраженных от стен, пола и потолка звуковых волн, и его можно определить по следующей формуле:

$$L = L_p + 10 \cdot \lg \left(\frac{\Phi}{S_0} + \frac{4}{B} \right) \quad (12.5)$$

где Φ - фактор направленности, аналогичный G и равный $10^{0.1G}$; B - так называемая постоянная помещения, m^2 .

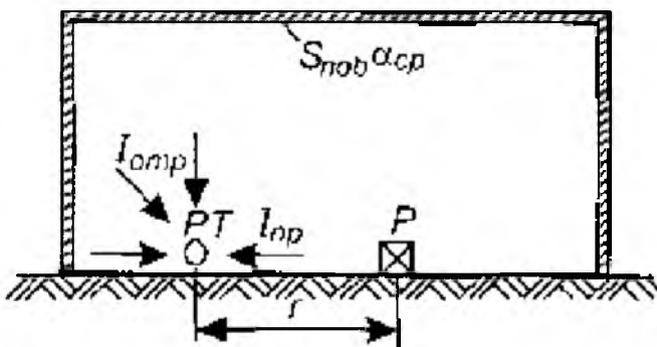


Рис. 12.5. Излучение звуковых волн в помещении

Постоянная помещения определяется по формуле

$$B = \frac{\alpha_{cp} \cdot S_{пов}}{1 - \alpha_{cp}} \quad (12.6)$$

где α_{cp} - средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей помещения площадью $S_{нов}$, для производственных помещений он редко превышает 0,3...0,4, но может быть увеличен специальной обработкой поверхностей.

Анализ формул (12.5) и (12.6) показывает, что для защиты от УЗ можно использовать следующие методы:

- снижение звуковой мощности источника звука (уменьшение L_P);
- размещение рабочих мест с учетом направленности излучения звуковой энергии (уменьшение **G**):
- удаление рабочих мест от источника звука (увеличение r);
- акустическая обработка помещений (увеличение **B**):
- звукоизоляция (увеличение ΔL):
- применение глушителей (увеличение ΔL);
- применение средств индивидуальной защиты.

Снижение мощности источника ультразвука (уменьшение L_P). Для снижения ультразвука, исходящего от механизмов и машин применяют методы, аналогичные методам, снижающим вибрацию машин.

Аэродинамический шум, вызываемый движением потоков воздуха и газа и обтеканием им элементов механизмов и машин, - наиболее мощный источник ультразвука, снижение которого в источнике наиболее сложно. Для уменьшения интенсивности генерации ультразвука улучшают аэродинамическую форму элементов машин, обтекаемых газовым потоком, и снижают скорость движения газа.

Изменение направленности излучения ультразвука (уменьшение **G**). При размещении установок с направленным излучением необходима соответствующая ориентация этих установок по отношению к рабочим и населенным местам, поскольку величина направленности может достигать 10...15 дБ. Например, отверстие воздухозаборной шахты вентиляционной установки или устье трубы сброса сжатого газа необходимо располагать так, чтобы максимум излучаемого ультразвука был направлен в противоположную сторону от рабочего места.

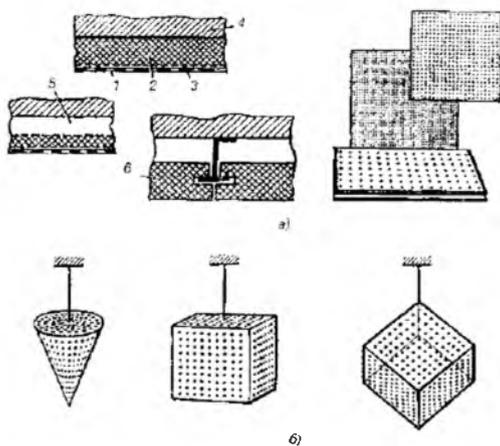


Рисунок 12.6. Акустическая обработка помещений:

a - звукопоглощающая облицовка помещений: 7 - защитный перфорированный слой; 2 - звукопоглощающий материал; 3 - защитная стеклоткань; 4 - стена или потолок; 5 - воздушный промежуток; 6 - плита из звукопоглощающего материала; *б* - звукопоглотители различных конструкций

Удаление рабочих мест от источника ультразвука (увеличение r). Как видно из формулы (12.5) увеличение расстояния от источника звука в 2 раза приводит к уменьшению уровня ультразвука на 6 дБ.

Акустическая обработка помещения - это мероприятие, снижающее интенсивность отраженного от поверхностей помещения (стен, потолка, пола) ультразвука. Для этого применяют звукопоглощающие облицовки поверхностей помещения (рис. 12.6, а) и штучные (объемные) поглотители различных конструкций (рис. 12.6, б), подвешиваемые к потолку помещения.

Поглощение ультразвука происходит путем перехода энергии колеблющихся частиц воздуха в теплоту за счет потерь на трение в пористом материале облицовки или поглотителя. Для большей эффективности звукопоглощения пористый материал должен иметь открытые со стороны падения ультразвука незамкнутые поры. Звукопоглощающие материалы характеризуются коэффициентом звукопоглощения, α равным отношению звуковой энергии, поглощенной материалом, и энергии, падающей на него. Звукопоглощающие материалы должны иметь коэффициент звукопоглощения не менее 0,3. Чем это значение выше, тем лучше звукопоглощающий материал. Звукопоглощающие свойства пористых материалов определяются толщиной слоя,

частотой звука, наличием воздушной прослойки между материалом и поверхностью помещения. Эффект снижения ультразвука за счет применения звукопоглощающей облицовки можно оценить по формуле

$$\Delta L = 10 \cdot \lg(B_2 / B_1), \quad (12.7)$$

где B_1 , и B_2 - постоянные помещения соответственно до и после проведения акустической обработки.

Постоянную помещения рассчитывают по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{cp}},$$

в которой $A = \sum \alpha_i \cdot S_i$ — эквивалентная площадь звукопоглощения, m^2 , $\alpha_{cp} = A / S_{пов}$ - средний коэффициент звукопоглощения помещения, а $\alpha_i, S_i, S_{пов}$ - коэффициент звукопоглощения облицовки, соответствующая ему площадь поверхности и общая площадь поверхностей помещения.

Установка звукопоглощающих облицовок снижает уровень УЗ на 6...8 дБ в зоне отраженного УЗ (вдали от его источника) и на 2...3 дБ в зоне превалирования прямого УЗ (вблизи от источника). Несмотря на такое относительно небольшое снижение уровня УЗ, применение облицовок целесообразно по следующим причинам: во-первых, спектр УЗ в помещении меняется за счет большей эффективности (8... 10 дБ) облицовок на высоких частотах: он делается более глухим и менее раздражающим; во-вторых, становится более заметным УЗ, излучаемый оборудованием, а следовательно, появляется возможность слухового контроля его работы, становится легче разговаривать, улучшается разборчивость речи. По этим причинам помещения концертных залов подвергают акустической обработке.

Штучные звукопоглотители применяют при недостаточности свободных поверхностей помещения для закрепления звукопоглощающих облицовок. Поглотители различных конструкций, представляющие собой объемные тела, заполненные звукопоглощающим материалом (тонкими волокнами), подвешивают к потолку равномерно по площади. Эффективность снижения УЗ штучными поглотителями рас-

считывают по указанной выше формуле, принимая $A = A_1 \cdot n$, где

A_1 и n - соответственно эквивалентная площадь звукопоглощения одного поглотителя и их количество. Для стандартных материалов облицовок и типов штучных звукопоглотителей значения коэффициентов звукопоглощения a и эквивалентной площади звукопоглощения A_1 известны и содержатся в справочных данных по борьбе с ультразвуком.

12.5. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАЗВУКА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

УЗ - это механические колебания упругой среды, имеющие одинаковую со звуками физическую природу, но по частоте превышающие верхний порог слышимости (20 000 Гц). На производстве УЗ применяют для дефектоскопии отливок, сварных швов, пластмасс, при измельчении твердых веществ в жидкостях, для очистки и обезжиривания деталей, гомогенизации молока, резания, сварки металла, дробления, сверления хрупких материалов, ускорения брожения при изготовлении вин, в медицине - для диагностики и лечения многих заболеваний.

При прохождении УЗ через жидкость возникает явление кавитации, сопровождающееся образованием пузырьков, заполненных парами жидкости и растворенным в ней газом, ростом температуры и повышением давления до десятков миллионов паскалей. При этом возникают электрические заряды, люминесцентное свечение, ионизация. Поэтому кавитацию используют для стерилизации, получения эмульсий таких жидкостей, как вода и масло, которые обычным путем не смешиваются, при пайке алюминия и его плавке, так как обычно процесс плавки этого металла нарушается из-за окисления.

Длительное воздействие УЗ на человека вызывает быструю утомляемость, головную боль, раздражение, боль в ушах, бессонницу, а также профессиональные заболевания - парезы кистей и предплечий. Поэтому необходимо предупреждать контактное озвучивание через твердые и жидкие среды, а также ограничивать распространение УЗ и шума в воздухе рабочей зоны. В данном случае следует руководствоваться требованиями стандарта "Ультразвук. Общие требования безопасности". Важно помнить о том, что УЗ волны подчиняются всем законам волнового движения; им свойственны отражение, преломление, дисперсия, дифракция и интерференция, причем указанные свойства

использовать легче, чем свойства обычных звуковых волн, в связи со значительно меньшей длиной волны УЗ.

На рабочих местах уровни звукового давления низкочастотных УЗ колебаний, распространяющихся воздушным путем, не должны превышать следующих допустимых значений:

Средние геометрические частоты третьооктавных полос, кГц	12,5	16	20	25	31, 5.. .100
Уровень звукового давления, дБ	80	80 (90)	100	105	110

Характеристикой УЗ, передаваемого контактным путем, является пиковое значение виброскорости (м/с) в частотном диапазоне 105...109 Гц или его логарифмический уровень (дБ). Допустимый уровень УЗ в зоне контакта рук и других частей тела оператора с рабочими органами приборов и установок должен быть не более 110 дБ.

12.6. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАЗВУКА ПО ПУТИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Основными документами, регламентирующими безопасность при работе с УЗ, являются ГОСТ 12.1.001. ССБТ. «Ультразвук. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.2.051. ССБТ. «Оборудование технологическое ультразвуковое. Требования безопасности». Нормируемые параметры УЗ установлены санитарными нормами СН 9-88 РБ 98 «Ультразвук, передающийся контактным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах» и СН 9-87 РБ 98 «Ультразвук, передающийся воздушным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах».

Вредное влияние повышенных уровней УЗ на работающих стремятся ликвидировать с помощью следующих мероприятий: применяют дистанционное управление оборудованием, автоблокировки (устройства, отключающие установку в момент загрузки или выгрузки деталей, сырья), специальные захваты для извлечения деталей или шипцы, ручки которых покрыты эластичными, поглощающими УЗ материалами; устанавливают звукоизолирующие кожухи и экраны; облицовывают помещения и кабины управления звукопоглощающими материалами; обеспечивают работающих СИЗ (противошумами для защиты органов

слуха и специальными перчатками для защиты рук от воздействия УЗ в зоне контакта человека с твердой или жидкой средой); оптимизируют режим труда и отдыха; проводят предварительные и периодические медицинские осмотры работающих.

Для защиты от УЗ, передающегося через воздушную среду, применяют звукоизоляцию - экраны между оборудованием и человеком, помещение установок в специальных помещениях, кабинах, герметичных звукоизолирующих кожухах. Рекомендуется при проектировании УЗ оборудования использовать более высокие частоты, поскольку для них допустимые уровни звукового давления выше.

При контактном действии УЗ защита обеспечивается средствами виброизоляции: виброизолирующими покрытиями, резиновыми перчатками, резиновыми ковриками и т.п.

Мероприятия по защите от ультразвука воздушного во многом совпадают с мероприятиями по защите от шума, но имеют и свои особенности. Так организационно-техническими мероприятиями по защите от УЗ воздушного при распространении его по воздуху являются:

- Использование в оборудовании более высоких рабочих частот, для которых допустимые уровни звукового давления выше.

- Применение звукоизолирующих кожухов. Оборудование, излучающее УЗ воздушный, необходимо заключать в звукоизолирующие кожухи, выполненные из стального листа или дюралюминия толщиной 0,7 - 1 мм с оклейкой внутренней поверхности кожуха резиной, тонким (5 - 10 мм) слоем звукопоглощающего материала (эффект установки таких кожухов составляет 50-70 дБ), возможно применение эластичных кожухов, изготовленных из двух-трех слоев резины общей толщиной 4 - 5 мм.

- Использование акустических экранов. Между работающими и оборудованием устанавливать экраны из прозрачных материалов.

- Использование ограждающих конструкций. Размещать УЗ оборудование необходимо в специальных помещениях, кабинах, выгородках, если применение перечисленных выше мер невозможно или не обеспечивает необходимой защиты.

Среди многообразия способов применения УЗ с позиций оценки их возможного неблагоприятного влияния на организм работающих целесообразно выделить:

1. Применение низкочастотных УЗ колебаний (до 100 кГц), распространяющихся контактным и воздушным путями, для активного воздействия на вещества и технологические процессы - очистка, обез-

зараживание, сварка, пайка, механическая и термическая обработка материалов (сверхтвердых сплавов, алмазов, керамики и др.), коагуляция аэрозолей; в медицине - УЗ хирургический инструментарий, установки для стерилизации рук медперсонала, различных предметов и др.

2. Применение высокочастотных (100 кГц - 100 МГц и выше) УЗ колебаний, распространяющихся исключительно контактным путем, для неразрушающего контроля и измерений; в медицине - диагностика и лечение различных заболеваний.

12.7. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ УЛЬТРАЗВУКА

Мероприятия по защите работающих от неблагоприятного воздействия контактного УЗ и сопутствующих факторов производственной среды и трудового процесса включают:

1. Медико-биологический скрининг при приеме на работу с учетом субъективных (индивидуальных) и объективных (профессионально-производственных) факторов риска.

2. Применение различных режимов труда (сменных и скользящих недельных, декадных, месячных, квартальных и др.) и контрактной системы ведения работ на срок прогнозируемой продолжительности безопасности стажа.

3. Гигиенический, в том числе экспозиционный, и клинико-физиологический мониторинг.

4. Мероприятия медико-профилактического характера по оздоровлению работающих.

Медико-биологический скрининг при приеме на работу целесообразно проводить в несколько этапов:

I-й этап - социальный отбор. Согласно действующим гигиеническим нормам и правилам, основным противопоказанием для работы в условиях воздействия УЗ является возраст моложе 18 лет.

II-й этап - медицинский отбор, включающий предварительный медицинский осмотр и проведение функциональных исследований с учетом специфики действия контактного УЗ и факторов риска (как выявленных индивидуальных, так и конкретных профессионально-производственных, установленных при аттестации или лицензировании рабочего места, на которое предполагается трудоустройство).

Предварительный медицинский осмотр проводится в соответствии с действующим приказом. При проведении предварительных медицинских осмотров следует учитывать противопоказания для работы

в «ультразвуковых» профессиях, к числу которых наряду с общими медицинскими противопоказаниями к допуску на работу в контакте с вредными, опасными веществами и производственными факторами отнесены хронические заболевания периферической нервной системы, облитерирующие заболевания артерий и периферический ангиоспазм.

Помимо медицинских противопоказаний определены индивидуальные и объективные факторы риска, способные усугублять воздействие контактного УЗ. К субъективным (личностным) факторам риска следует отнести наследственную отягощенность по сосудистым заболеваниям, астенический тип конституции, холодовую аллергию, травмы конечностей и их отморожение в анамнезе, вегетативную лабильность, преимущественно с преобладанием тонуса симпатической нервной системы, длительный стаж работы в профессии и др.

Объективными или производственно-профессиональными факторами риска являются высокие уровни контактного и воздушного УЗ, передача УЗ колебаний через жидкую среду, большая площадь контакта с источником, загрязнение рук контактными смазками, охлаждение рук, высокий УЗ индекс источников, статическая нагрузка на мышцы пальцев и кистей рук, вынужденная поза, охлаждающий микроклимат, высокие уровни суммарного индекса одночисловой оценки комплексного воздействия факторов и т.д.

Большое значение в профилактике УЗ воздействия имеют рациональные режимы труда, устанавливаемые для конкретного рабочего места или источника колебаний. При разработке режимов труда необходимо руководствоваться следующими **принципами**:

- сокращение суммарного времени контакта и уменьшение экспозиции УЗ озвучивания при превышении нормативов;
- ведение работ с регулярно прерывающимися УЗ воздействиями;
- организация двух регламентированных перерывов, первый - продолжительностью 10 мин, второй - 15 мин для активного отдыха, проведения специального комплекса производственной гимнастики, физио-профилактических процедур и т.д.;
- обеденный перерыв продолжительностью не менее 30 мин.

К мероприятиям, направленным на повышение сопротивляемости организма, в том числе и при воздействии контактного УЗ, относятся различные виды физио-профилактических процедур, рефлексо-профилактика, производственная гимнастика, рациональное сбалансированное питание, витаминизация, психофизиологическая разгрузка.

Вводная гимнастика проводится до работы и рекомендуется всем без исключения работающим.

В результате многочисленных экспериментальных исследований были подобраны наиболее эффективные способы защиты рук работающих от воздействия низкочастотного и высокочастотного УЗ, распространяющегося в твердой и жидкой средах.

Работающим с *низкочастотными источниками* контактного УЗ рекомендуется применять: при распространении колебаний в твердой среде - две пары плотных хлопчатобумажных перчаток; при распространении колебаний в жидкой среде - две пары перчаток: нижние - хлопчатобумажные и верхние - плотные резиновые.

Работающим с *высокочастотными источниками* контактного ультразвука рекомендуется применять: при распространении колебаний в твердой среде - одну пару хлопчатобумажных перчаток, или хлопчатобумажные перчатки с непромокаемой ладонной поверхностью (выполненной, например, из непромокаемых синтетических материалов), или хлопчатобумажные напальчники; при распространении колебаний в жидкой среде - две пары перчаток: нижние - хлопчатобумажные и верхние - резиновые.

В качестве СИЗ от воздействия шума и воздушного УЗ работающие должны применять противошумы - вкладыши, наушники.

Среди мероприятий по защите работающих от УЗ воздействия важное место занимают вопросы обучения работающих основам законодательства об охране труда, правилам техники безопасности и мерам профилактики при работе с источниками контактного УЗ; санитарное просвещение среди работающих, пропаганда здорового образа жизни.

Мероприятия по формированию и управлению качеством производственной среды на рабочих местах с источниками ультразвука в целях снижения риска нарушения здоровья работающих. Важную роль в управлении качеством производственной среды отводят средствам и методам коллективной защиты работающих. Наиболее эффективными в этом плане считаются *организационно-технические меры* в источнике, снижающие уровни контактного УЗ, воздействующего на работающих, сокращающие время контакта с ним и ограничивающие влияние неблагоприятных сопутствующих факторов производственной среды, в частности:

- разработка и внедрение нового, усовершенствованного оборудования с улучшенными УЗ характеристиками;
- создание автоматического УЗ оборудования, например, для очистки деталей, дефектоскопии, механической обработки материалов и др.;
- создание установок с дистанционным управлением;

- использование маломощных УЗ генераторов в оборудовании, если это не противоречит требованиям технологических процессов;
- проектирование УЗ установок с рабочими частотами, максимально удаленными от слышимого диапазона частот (не ниже 22 кГц), чтобы избежать действия выраженного высокочастотного шума;
- блокирование, т.е. автоматическое отключение оборудования, приборов при выполнении вспомогательных операций по загрузке и выгрузке продукции, нанесении контактных смазок и т.д.;
- проектирование искателей и датчиков, удерживаемых руками, с учетом необходимости обеспечения минимального напряжения мышц кисти;
- применение снабженных ручками сеток и различных приспособлений при загрузке и выгрузке деталей из УЗ волн или специальных приспособлений (зажимов, штативов, крючков и т.д.) для удержания обрабатываемых деталей или источника УЗ;
- облицовка мест контакта рук оператора с источником (сканирующие устройства дефектоскопов и диагностической аппаратуры, рукояток ручного УЗ инструмента и т.д.) изоляционным материалом;
- осуществление контроля за своевременностью проведения профилактического и текущего ремонта УЗ аппаратуры и оборудования;
- оборудование УЗ установок звукоизолирующими устройствами (кожухи, экран) из листовой стали или дюрала, покрытие их резиной, противозумной мастикой или другими материалами, оборудование звукоизолирующих кабин, боксов;
- экранировка фидерных линий;
- оборудование эффективной вентиляции.

Кроме того, при проектировании и разработке новой УЗ аппаратуры с видеотерминальными устройствами необходимо соблюдать следующие **технико-гигиенические требования**: яркость свечения экрана не менее 100 кд/м²; минимальный размер светящейся точки для монохромного дисплея - 0,4 мм, для цветного дисплея - 0,6 мм; контрастность изображения знаков не менее 0,8; низкочастотное дрожание изображения в диапазоне 0,05-1,0 Гц в пределах 0,1 мм; частота регенерации изображения при работе с позитивным контрастом не менее 72 Гц; наличие антибликерного покрытия экрана.

Оптимизация факторов, определяющих тяжесть труда, достигается в результате правильного выбора позы за счет рациональной компоновки рабочего места. Для этого, прежде всего, необходимо подобрать производственное оборудование и рабочую мебель, соответст-

вующие антропометрическим данным и психофизиологическим возможностям человека.

Следует выдерживать размеры рабочей зоны, включающей пространство, в котором располагаются органы управления оборудованием, заготовками, деталями, инструментом, т.е. все то, что необходимо для выполнения работ.

В процессе выполнения трудовых операций целесообразно по возможности исключить статические нагрузки, возникающие при поддержании, например, заготовок, деталей и т.д. за счет устройства верстаков, подставок для обрабатываемых деталей, а также применения манипуляторов, тележек, различных средств малой механизации для снижения динамической нагрузки и перенапряжения опорно-двигательного аппарата.

В комплексе мероприятий по научной организации труда особое место занимают рекомендации по рационализации рабочих движений и усилий.

Эффективный гигиенический контроль за состоянием рабочей среды может быть обеспечен путем создания соответствующих мониторинговых комплексов, в том числе экспозиционных, позволяющих проводить одночисловую оценку физических факторов, что важно для прогноза нарушений здоровья работающих.

При написании 12 главы использованы материалы, опубликованные в [12.1-12.14].

ГЛАВА 13. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

13.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В случаях превышения допустимого для человека уровня вибрации следует проводить мероприятия по снижению ее параметров. Вибрация воздействует на работающего через объекты - машины, сооружения или транспортные средства, в которых установлены источники колебаний (электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, станки и т. д.). Поэтому защитные мероприятия должны охватывать все элементы системы "генератор колебаний - объект - человек".

Классификация средств и методов защиты от вибрации определяется ГОСТ 26568–85. Средства защиты от вибрации делятся на коллективные и индивидуальные. Средства коллективной защиты, в свою очередь, делятся на средства, воздействующие на источник возбуждения, и средства защиты от вибрации на путях ее распространения.

К первым относятся такие средства защиты, как широко распространенные динамическое уравнивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий, изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний. Они используются, как правило, на этапе проектирования или изготовления машины.

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения (см. рис. 13.1) могут быть заложены в проекты машин и производственных участков, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

Далее рассмотрим подробнее наиболее распространённые методы, с помощью которых можно снизить уровень воздействия вибрации на технические устройства и человека. К ним отнесём следующие: уменьшение вибрации в источнике ее образования; уменьшение вибрации по пути ее распространения; применение организационно-технических мероприятий; лечебно-профилактические мероприятия и использование СИЗ от вибрации.



Рис. 13.1. Классификация методов и средств защиты от вибрации

13.2. УМЕНЬШЕНИЕ ВИБРАЦИИ В ИСТОЧНИКЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ПО ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Амплитуда скорости вибрации (виброскорости) v_m может быть определена по формуле

$$v_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + \left(2\pi f m - \frac{c}{2\pi f}\right)^2}}, \quad (13.1)$$

где F_m - амплитуда возмущающей вибросилы, Н; μ - коэффициент сопротивления, Н·с/м; f - частота вибрации, Гц; m - масса системы, кг; c - коэффициент жесткости системы, Н/м.

На основе анализа формулы (13.1) можно сделать следующие выводы: для уменьшения виброскорости V^m необходимо снижать силу F^m (снижать виброактивность машины) и увеличивать знаменатель, а именно - повышать сопротивление системы μ и не допускать, чтобы $2\pi f m = c / 2\pi f$. При равенстве этих членов наступает явление резонанса и уровень вибрации резко возрастает.

Таким образом, для защиты от вибрации в источнике и по пути её распространения следует использовать следующие методы: снижение виброактивности машин (уменьшение силы F^m); отстройку от резонансных частот ($2\pi f m \neq c / 2\pi f$); вибродемпфирование (увеличение μ); виброгашение (увеличение m) - для высоких и средних частот; повышение жесткости системы (увеличение C) - для низких и средних частот; виброизоляцию.

Снижение виброактивности машин достигается изменением технологического процесса, применением машин с такими кинематическими схемами, при которых динамические процессы, вызываемые ударами, резкими ускорениями и т. п. были бы исключены или предельно снижены (например, замена клепки сваркой); хорошей динамической и статической балансировкой механизмов, смазкой и чистотой обработки взаимодействующих поверхностей; применением кинематических зацеплений пониженной виброактивности (например, использование шевронных и косозубых зубчатых колес вместо прямозубых); заменой подшипников качения на подшипники скольжения; применением конструкционных материалов с повышенным внутренним трением.

Отстройка от резонансных частот заключается в изменении режимов работы машины и соответственно частоты возмущающей вибросилы; собственной частоты колебаний машины путем изменения жесткости системы C (например, установка ребер жесткости) или изменения массы m системы (например, закрепление на машине дополнительных масс).

Собственная частота f_o вибрирующей системы определяется по формуле

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}. \quad (13.2)$$

Вибродемпфирование - это метод снижения вибрации путем усиления в конструкции процессов внутреннего трения, рассеивающих колебательную энергию в результате необратимого преобразования ее в теплоту при деформациях, возникающих в материалах, из которых изготовлена конструкция. Вибродемпфирование осуществляется нанесением на вибрирующие поверхности слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение, - мягких покрытий (резина, покрытие «Агат», пенопласт ПХВ-9, мастики ВД17-59, «Антивибрит») и жестких (листовые пластмассы, стеклоизол, гидроизол, листы алюминия); применением поверхностного трения (например, использование прилегающих друг к другу пластин, как у рессор), установкой специальных демпферов. Примером таких демпферов могут являться амортизаторы автомобилей, которые подавляют раскачку машины.

Виброгашение осуществляют путем установки агрегатов на массивный фундамент (рис. 13.2).

Как следует из (13.1) виброгашение наиболее эффективно при средних и высоких частотах вибрации. Этот способ нашел широкое применение при установке тяжелого оборудования (молотов, прессов, вентиляторов, насосов и т. п.).

Одним из способов подавления вибраций является установка динамических виброгасителей, представляющих собой дополнительную

колебательную систему с массой m_1 и жесткостью c_1 собственная частота которой $f_{o1} = (1 / 2\pi) \cdot \sqrt{c_1 / m_1} = f$, где f - частота вибрации, уровень которой необходимо снизить.

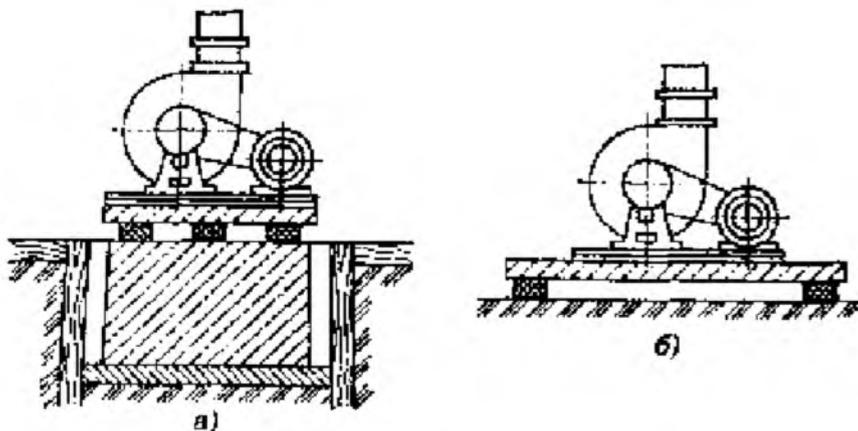


Рис. 13.2 Установка агрегатов на виброгасящем основании:
 а - на фундаменте и грунте; б - на перекрытии

Схема динамического виброгасителя показана на рис. 13.3.

Динамический виброгаситель крепится на вибрирующем агрегате, поэтому в нем в каждый момент времени возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями агрегата. Недостатком динамического виброгасителя является то, что он подавляет колебания только определенной частоты, соответствующей его собственной. Такие виброгасители применяют в агрегатах, например турбогенераторах, имеющих характерный, постоянный во времени дискретный спектр вибрации. На рис. 13.4 изображен динамический виброгаситель с двумя степенями свободы и схема установки виброгасителя на турбогенераторе. Грузики перемещаются по резьбе и фиксируются гайками. Это позволяет менять жесткость виброгасителя, а следовательно, его собственную частоту и частоту подавляемых вибраций. Такие виброгасители удобно настраивать на заданную частоту.

Повышение жесткости системы (увеличение C), например путем установки ребер жесткости. Как видно из формулы (13.1) этот способ эффективен только при низких частотах и в ряде случаев средних.

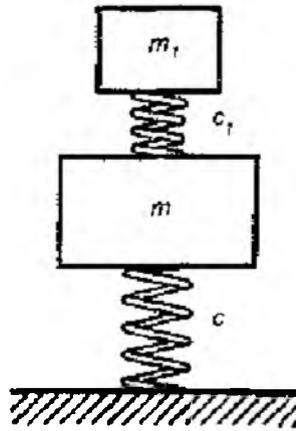


Рис. 13.3. Схема динамического виброгасителя

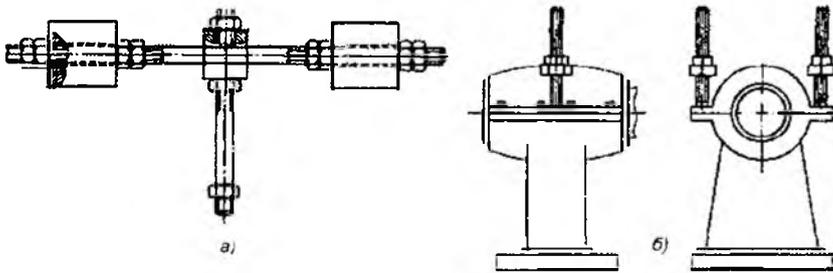


Рис. 13.4:

a - динамический гаситель с двумя степенями свободы для дизель-генератора; *б* - схема турбоагрегата с динамическим виброгасителем

Виброизоляция заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждения защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых между ними. Для виброизоляции чаще всего применяют виброизолирующие опоры типа упругих прокладок, пружин или их сочетания. На рис. 14.5 изображены типовые конструкции пружинных и резиновых виброизоляторов.

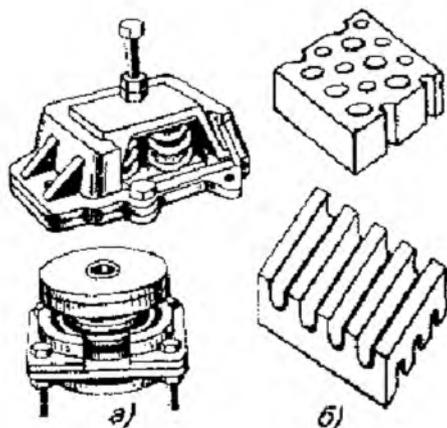


Рис. 13.5 Виброизолирующие опоры:
а - пружинные; *б* - резиновые виброизоляторы

Эффективность виброизоляторов оценивают коэффициентом передачи, равным отношению амплитуды виброперемещения, виброскорости, виброускорения защищаемого объекта или действующей на него силы к соответствующему параметру источника вибрации:

$$КП = \frac{F_{осл}}{F_{ист}}$$

Виброизоляция только в том случае снижает вибрацию, когда $КП < 1$. Чем меньше КП, тем эффективнее виброизоляция. Для виброизолированных систем, в которых можно пренебречь трением:

$$КП = \frac{1}{[(f / f_0)^2 - 1]}, \quad (13.3)$$

где f - частота вынужденных колебаний; f_0 - собственная частота виброизолированной системы.

Как видно из формулы (14.3), только при $f / f_0 > \sqrt{2}$ $КП < 1$, т. е. снижает передачу вибрации на защищаемый объект. По конструктивным и экономическим соображениям существует оптимальное значение $f / f_0 = 3...4$, что соответствует $КП = 1/8... 1/15$.

Собственная частота виброизолированной системы $f_0 = 1 / 2\pi \cdot \sqrt{c / m}$. Умножив числитель и знаменатель подкоренного выражения на g - ускорение свободного падения, получим $f_0 = 1 / 2 \cdot \pi \sqrt{cg / mg}$. Так как mg - сила тяжести машины, а $mg / c = x_{cm}$ - статическая осадка виброизоляторов под действием силы тяжести машины, то

$$f_0 = 1 / 2\pi \cdot \sqrt{g / x_{cm}} \dots\dots\dots(13.4)$$

Т. е. чем больше статическая осадка виброизоляторов под действием веса машины, тем меньше f_0 , а значит меньше КП и лучше виброизоляция.

Эффективность виброизоляции в дБ можно определить по формуле

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \left[(f / f_0)^2 - 1 \right], \text{ дБ} \dots\dots\dots(13.5)$$

13.3. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ СТАЦИОНАРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проектирование виброизоляции машин и оборудования производится по руководству ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Оно включает методики расчета: виброизоляции машин с периодической возмущающей нагрузкой; виброизоляции фундаментов под ковочные и штамповочные молоты; систем виброизоляции технологического оборудования для снижения передачи на него колебаний основания, вызываемых расположенным рядом виброактивным оборудованием.

Ниже приведена методика расчета наиболее распространенных опорных систем виброизоляции роторных машин (вентиляторов, компрессоров, насосов, воздуходувок, центрифуг) и оборудования, имеющего рабочее колесо и (или) вал, создающих при вращении неуравновешенную гармоническую центробежную силу (см. рис. 13.3).

Цель расчета систем виброизоляции – определение числа и типа стандартных виброизоляторов или числа и параметров пружин (упругих прокладок) для снижения уровня вибрации на рабочих местах до требований норм ГОСТ 12.1.012–90.

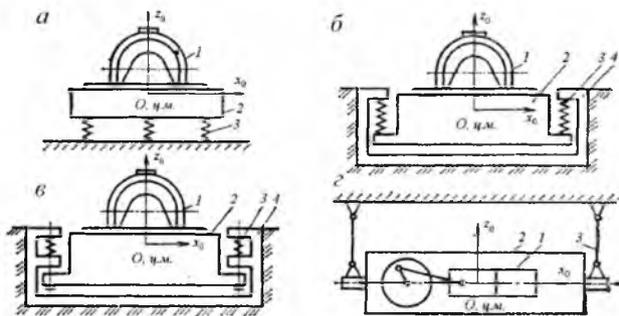


Рис. 13.3. Схемы систем виброизоляции машин:
 а – опорный вариант; б – подвесной вариант с пружинами, работающими на растяжение; в – вариант с подвесными стержнями и пружинами, работающими на сжатие; г – подвесной вариант с шарнирными стержнями; 1 – машина; 2 – постамент; 3 – виброизоляторы; 4 – подфундаментный короб (корыто)

Исходные данные к расчету: масса m и моменты инерции оборудования $I_{о\bar{o}x}, I_{о\bar{o}y}, I_{о\bar{o}z}$ относительно осей X, Y, Z , проходящих через его центр масс (тяжести); габаритные размеры оборудования, размеры фундаментного блока $a_{\phi}, b_{\phi}, c_{\phi}$ и его масса M (если он предусмотрен); число оборотов привода $n_{пр}$, неуравновешенная центробежная сила F , приложенная к центру масс рабочего колеса; расстояние от опорной поверхности машины до центра масс системы P и от центра масс системы до оси рабочего вала a_B ; расстояния центра масс виброизолированной машины (Ц. М. В.) от оси рабочего колеса (вала) по вертикали h_v и координаты e и f этого центра по горизонтальным осям в выбранной системе координат X_1, Y_1, Z_1 , проходящей через середину основания опорной плиты (см. рис. 13.4); нормативное значение амплитуды виброперемещения $A_{норм}$ рабочего места на рабочем режиме установки по ГОСТ 12.1.012–78 (согласно Приложению 6 данного ГОСТа для гармонических колебаний могут задаваться амплитуды виброперемещения); допустимая по технологическим нормам

2. Определяют координаты x_0, y_0, z_0 центра масс системы (Ц. М. С.) «машина с динамическими нагрузками – опорная плита» относительно координатных осей X_1, Y_1, Z_1 , имеющих начало посередине основания плиты:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i x_i; \\ y_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i y_i; \\ z_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i z_i, \end{cases} \quad (13.3)$$

где m – масса i -ой составляющей виброизолированной системы; x_i, y_i, z_i – координаты центра масс i -ой составляющей в системе координат X_1, Y_1, Z_1 ; n – число составляющих системы.

3. По полученным значениям координат центра масс виброизолированной системы определяют ее моменты инерции ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$) относительно осей X_0, Y_0, Z_0 , проходящих через центр масс агрегата (Ц. М. А.).

В общем случае

$$\begin{aligned} I_{0x} &= \sum \left[I_{xi} + m_i (y_{0i}^2 + z_{0i}^2) \right]; \\ I_{0y} &= \sum \left[I_{yi} + m_i (z_{0i}^2 + x_{0i}^2) \right]; \\ I_{0z} &= \sum \left[I_{zi} + m_i (x_{0i}^2 + y_{0i}^2) \right], \end{aligned} \quad (13.4)$$

где I_{xi}, I_{yi}, I_{zi} – моменты инерции i -го элемента относительно осей, проходящих через его центр масс параллельно осям X_0, Y_0, Z_0 ; x_{0i}, y_{0i}, z_{0i} – координаты центра масс i -го элемента в той же системе координат.

В рассматриваемом случае (см. рис. 13.6) система уравнений (14.3) имеет вид

$$\begin{aligned}
 I_{0x} &= I_{обx} + m \left[y_{ц.м.об}^2 + (z_{ц.м.об} - z_0)^2 \right] + M (z_0 - z_{ц.м.ф}) \\
 I_{0y} &= I_{обy} + m \left[(z_{ц.м.об} - z_0)^2 + (x_{ц.м.об} - x_0)^2 \right] + I_{фy} + M \left[(z_0 - z_{ц.м.ф})^2 + x_0^2 \right] \\
 I_{0z} &= I_{обz} + m \left[y_{ц.м.об}^2 + (x_{ц.м.об} - x_0)^2 \right] + I_{фz} + M + x_0^2
 \end{aligned} \quad (13.5)$$

где $x_{ц.м.об}$, $y_{ц.м.об}$, $z_{ц.м.об}$ и $x_{ц.м.ф}$, $y_{ц.м.ф}$, $z_{ц.м.ф}$ - координаты центра масс соответственно виброизолированного объекта и фундаментного блока в указанной выше системе координат X_1, Y_1, Z_1 ; $I_{фx}, I_{фy}, I_{фz}$ - моменты инерции фундаментного блока относительно осей, проходящих через его центр (Ц. М. Ф).

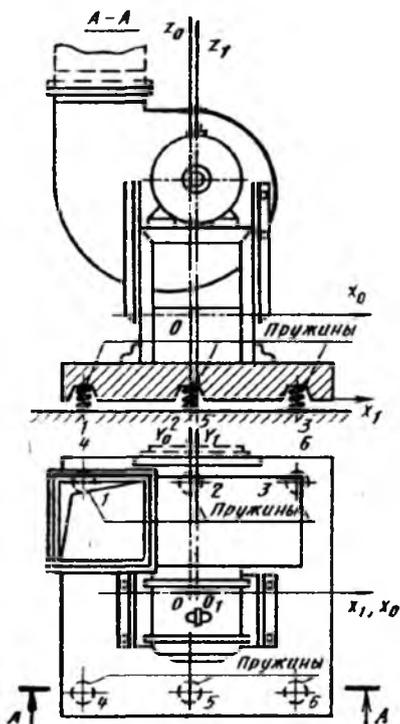


Рис. 13.5. Схема расположения пружинных виброизоляторов

При аппроксимации фундаментного блока в виде параллелепипеда

$$I_{\phi x} = \frac{M}{12}(b_{\phi}^2 + c_{\phi}^2), \quad I_{\phi y} = \frac{M}{12}(c_{\phi}^2 + a_{\phi}^2), \quad I_{\phi z} = \frac{M}{12}(a_{\phi}^2 + b_{\phi}^2)$$

4. Рассчитывают значение угловой частоты ($1/c$) возмущающей силы $\omega = 2\pi n_{np} / 60$

5. Определяют возмущающие воздействия по каждой координате. Заданная центробежная сила заменяется вертикальной силой $F_{mz} = F \sin \omega t$ и горизонтальной силой $F_{mx} = F \cos \omega t$. Возмущающая сила F_{mz} , изменяющаяся по закону синуса, обуславливает возникновение крутящих моментов $M_{my} = F_{mz} l_x$. Возмущающая сила F_{mx} , изменяющаяся по закону косинуса, обуславливает возникновение крутящих моментов $M_{mx} = F_{mz} l_y$, $M_{my} = -F_{mx} l_z$. Таким образом, суммарные крутящие моменты вокруг осей X_0, Y_0, Z_0 составят $\sum M_{mx} = -F_{mz} l_y$, $\sum M_{my} = F_{mz} l_x - F_{mx} l_z$, $\sum M_{mz} = F_{mx} l_y$, где l_x, l_y, l_z – координаты центра масс виброизолированного агрегата в системе координат X_0, Y_0, Z_0 : $l_x = e - x_0$, $l_y = f$, $l_z = a_B - h_B$.

6. В первом приближении определяют значения амплитуд колебаний a_{mx} , a_{my} , a_{mz} центра масс системы по осям координат (м) и угловых колебаний φ_{mx} , φ_{my} , φ_{mz} вокруг этих осей (рад):

$$a_{mz} = \frac{F_{mz}}{(m + M)\omega^2}, \quad \varphi_{mx} = \frac{\sum M_{mx}}{I_{0x}\omega^2}, \quad a_{my} = 0; \quad (13.6)$$

$$\varphi_{my} = \frac{\sum M_{my}}{I_{0y}\omega^2}, \quad a_{mx} = \frac{F_{mx}}{(m + M)\omega^2}, \quad \varphi_{mz} = \frac{\sum M_{mz}}{I_{0z}\omega^2} \quad (13.7)$$

7. Определяют ориентировочные значения амплитуды виброперемещения вала рабочего колеса агрегата по осям X_0, Y_0, Z_0 :

$$\begin{aligned} a_{mBx} &= a_{mx} + \varphi_{my} \cdot l_z - \varphi_{mz} \cdot l_y, \\ a_{mBy} &= a_{my} - \varphi_{mx} \cdot l_z + \varphi_{mz} \cdot l_x = \varphi_{mz} \cdot l_x - \varphi_{mx} \cdot l_z, \\ a_{mBz} &= a_{mz} + \varphi_{mx} \cdot l_z - \varphi_{my} \cdot l_x. \end{aligned}$$

Проводят сопоставление полученных значений с допускаемым значением $[A^m]$ по условиям технологического процесса. В случае необходимости изменяют параметры фундаментного блока и расположение виброизоляторов.

8. Определяют требуемое значение коэффициента эффективности виброизоляции:

$$K_{\mathcal{E}j} = \frac{a_{mj}}{A_{норм}}$$

где j - направление по осям ортогональной системы (X, Y, Z).

9. Оценивают ожидаемую амплитуду силы, передаваемую на несущую конструкцию, на которой располагается рабочее место, в направлении j :

$$F_{kj} = \frac{F_{mj}}{K_{\mathcal{E}j}}$$

10. Исходя из полученного значения F_{kj} , проводят контроль прочности несущей конструкции, что особенно важно при расположении виброактивного оборудования на перекрытии зданий.

11. Определяют требуемый коэффициент передачи вибрации (виброизоляции)

$$K_{пвj} = F_{kj} / F_{mj}$$

12. Находят требуемое значение отношения $\omega / \omega_{0j} = \alpha_j$:

$$\alpha_j = \sqrt{1 + 1 / K_{пвj}}$$

13. Полученное максимальное значение $\alpha_{\max} = \max(\alpha_j)$ или величина большая α_{\max} закладывается в дальнейший расчёт. Исходя из полученных значений α_j , определяют угловые (1/с) и циклические (Гц) частоты собственных колебаний в отдельных направлениях пространства:

$$\omega_{0j} = \frac{\omega}{\alpha_j}, \text{ 1/с; } f_{0j} = \frac{\omega_{0j}}{2\pi}, \text{ Гц.}$$

14. Вычисляют потребные суммарные жесткости системы виброизоляции в направлении осей j ортогональной системы (X, Y, Z):

$$q_j = (m + M) \omega_{0j}^2, \text{ Н/м.} \quad (13.8)$$

15. Определяют значение критерия скорости убывания частоты вращения к квадрату частоты собственных колебаний

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon}{f_{0z}^2},$$

где ε - скорость нарастания или убывания числа оборотов машины, Гц/с; f_{0z} - частота собственных колебаний машины, Гц.

Далее по коэффициентам неупругого сопротивления $\gamma = 0,01$ (случай стальных пружин) по графику на рис. 13.6 определяют отношение

$$\frac{a_{\max z}}{a_{mz}},$$

где $a_{\max z}$ - максимальная амплитуда колебаний установки при прохождении через резонанс в режиме останова, см; a_{mz} - амплитуда вертикальных колебаний машины при рабочем режиме.

17. Полученные значения $F_{\max z}$ сравнивают с допустимыми с точки зрения прочности поддерживающей строительной конструкции.

При необходимости изменяют параметры фундаментного блока a_ϕ, b_ϕ, c_ϕ , расположение виброизоляторов либо режим работы установки $n_{нф}$.

18. Для полученного значения q_j , и выбранного количества виброизоляторов N определяют требуемую динамическую жесткость одного виброизолятора $q_{1j} = q_j / N$ и расчётную нагрузку на него.

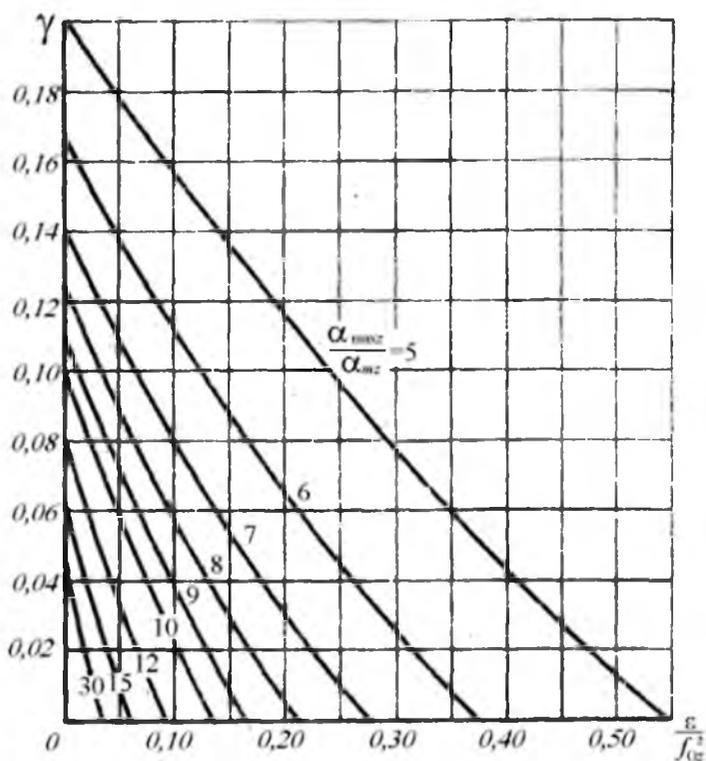


Рис. 13.6. Зависимость γ , характеризующая затухание вибрации во времени Δ_1

16. Оценивают $\alpha_{\max z} = \Delta_2 \alpha_{mz}$ и максимальное амплитудное значение вертикальной силы, передающейся через виброизоляторы при пуске или останове агрегата, $F_{\max z} = \alpha_{\max} q_z$.

Расчетная нагрузка по оси Z на каждый пружинный виброизолятор, в случае их применения, определяется по формуле

$$F_{Iz} = F_{cm1} + 1,5F_{дин1}$$

$$F_{cm1} = \frac{(M + m)g}{N}$$

где N - статическая нагрузка на виброизолятор, Н;

$F_{дин1} = q_{Iz} a_{mz}$ - динамическая нагрузка на виброизолятор, Н.

Динамическую нагрузку по другим осям рассчитывают по аналогичным формулам:

$$F_{динy} = q_y a_{my}, \quad F_{динx} = q_x a_{mx}$$

19. Зная нагрузку на виброизолятор и его потребную динамическую жесткость, подбирают стандартные виброизоляторы.

13.4. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ

Расчет виброизоляции рабочих мест проводят согласно ГОСТ 25571-82 «Вибрация. Основные положения методов расчета виброизоляции рабочего места операторов самоходных машин». Рассмотрим случай полигармонического возбуждения вибраций, наиболее характерного для машиностроительных заводов, а также для испытательных стендов.

Целью расчета виброизоляции рабочих мест является определение значений коэффициентов эффективности виброизоляции, значений амплитуд виброскорости (виброускорения) и виброперемещения сиденья относительно основания для каждой из гармонических составляющих полигармонического возбуждения; определение суммарных среднеквадратичных значений виброскорости (ускорения) в каждой стандартной октавной полосе частот; сравнение их с допустимыми значениями, установленными ГОСТ 12.1.012-78.

Таблица 13.1

Исходные данные по возбуждению колебаний рабочего места

Способ описания движения основания	Закон, описывающий кинематическую характеристику	Исходные данные
Перемещением	$y = \sum_{k=1}^n y_{mk} \sin(2\pi f_k t)$	$y_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$
Скоростью	$\frac{dy}{dt} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{dy}{dt} \right)_{mk} \sin(2\pi f_k t)$	$\left(\frac{dy}{dt} \right)_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$
Ускорением	$\frac{d^2 y}{dt^2} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)_{mk} \sin(2\pi f_k t)$	$\left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$

Исходные данные к расчету: масса сиденья m_c , масса оператора $m_ч$, масса опорной конструкции M , масса оборудования $m_{об}$ (если оно имеется). Данные по возбуждению вибраций для различных кинематических характеристик движения основания приведены в табл. 13.1.

Расчет осуществляется в следующем порядке:

1. Задают число опор N (как правило, 4, 8 или 16, но не менее 4).
2. Подбирают стандартный тип виброизолятора.
3. По данным табл. 13.1–13.2 или ТУ на виброизоляторы определяют жесткость q и коэффициент трения опор ϵ .

4. Рассчитывают суммарную жесткость всех виброизоляторов $q_s = qN$.

5. Определяют степень демпфирования систем виброизоляции $D = 0,5\epsilon\sqrt{q_s m_s}$, где $m_s = m_c + m_ч + M + m_{об}$.

6. Вычисляют значения угловых частот возбуждения $\omega_k = 2\pi f_k$ и отношений ω_k / ω_0 , где $2\pi f_0, k = 1, 2, \dots, n$, $f_0 = (1/2\pi)\sqrt{q_z / m_z}$.

7. Подсчитывают коэффициенты передачи:

$$K_{пх} = \frac{\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}}; \quad K_{пz} = \frac{1 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}}$$

Для $D = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0$ зависимости $K_{Пх}$ и $K_{Пz}$ от ω_k / ω_0 приведены на рис. 13.7.

8. Определяют коэффициент эффективности виброзащиты $K_{Э} = 1 / K_{Пz}$.

9. Определяют $\left(\frac{dz}{dt}\right)_m, \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)_m, x_m$.

Формулы для их определения в зависимости от исходных данных, характеризующих кинематическое возбуждение, приведены в [13.2].

10. Определяют среднеквадратические значения скорости (ускорения) и логарифмические уровни скорости:

$$v_{ck} = \frac{1}{1,41} \left(\frac{dz}{dt}\right)_m, \quad w_{ck} = \frac{1}{1,41} \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)_m, \quad L = 20 \lg \frac{v_{ck}}{v_{on}}, \quad v_{on} = 5 \cdot 10^{-8}, \text{ м/с.}$$

Для составляющих, попавших в одну стандартную октавную полосу, определяется суммарное значение вибрационных параметров (их абсолютных значений, но не уровней)

$$v_s = \sqrt{\sum_k v_{cki}^2}, \quad w_s = \sqrt{\sum_k w_{cki}^2},$$

где k - количество составляющих в октавной полосе.

Значения граничных частот стандартных октавных полос даны в табл. 13.2.

Полученные значения вибрационных параметров сравнивают с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012-78 (табл. 13.3).

При превышении нормативных значений в какой-либо полосе частот задают другие типы опор либо увеличивают их число и расчет повторяют.

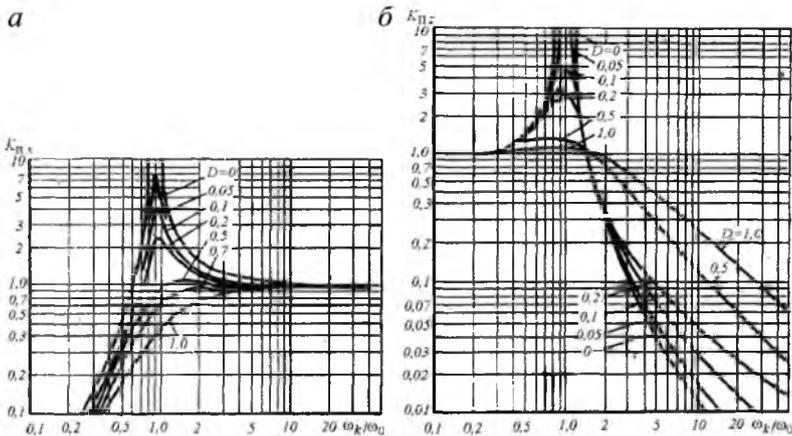


Рис. 14.7. График для определения коэффициентов передачи $K_{Пх}$ (а) и $K_{Пz}$ (б) в зависимости от отношения ω_k / ω_0 и степени демпфирования D в системе виброизоляции

Таблица 13.2

Граничные частоты стандартных октавных полос

Среднегеометрическая частота октавной полосы	2	4	8	18	31,5
Значения граничных частот	1,4–2,8	2,8–5,6	5,6–11,25	11,25–22,5	22,5–45

Таблица 14.3

Допустимые амплитуды виброперемещений на рабочих местах при проектировочных расчетах строительных конструкций для различных условий воздействия вибрации

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, мм		
	на постоянных рабочих местах стационарных машин в производственных помещениях	в производственных помещениях, не имеющих источников вибрации	в помещениях работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом
2	1,4	0,57	0,2026
4	0,25	0,1	0,0354
8	0,063	0,025	0,0090
16	0,0282	0,112	0,0039
31,5	0,0141	0,0056	0,0020
63	0,0072	0,0028	0,0010

13.5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Применение организационно-технических мероприятий. Организационно-технические мероприятия включают:

- проведение периодических эксплуатационных проверок вибрирующего оборудования и инструмента в сроки, установленные нормативно-технической документацией, но не реже 1 раза в год - для общей вибрации и не реже 2 раз в год - для локальной вибрации,
- своевременный плановый ремонт вибромашин с обязательным послеремонтным контролем их вибрационных характеристик,
- контроль за соблюдением правил и условий эксплуатации машин в соответствии с их назначением,
- принятие мер, исключающих контакт работающих с вибрирующими поверхностями за пределами рабочего места путем установки блокировки, сигнализации, ограждения и т.д.

Уменьшение вибрации по пути ее распространения достигается за счет виброизоляции и вибропоглощения. Определяющим является виброизоляция.

Лечебно-профилактические мероприятия. Комплекс лечебно-профилактических мероприятий по предупреждению вибрационной патологии включает: предварительные медицинские осмотры (м/о), периодичные медицинские осмотры, комплекс физиотерапевтических процедур, комплекс гимнастических упражнений, диспансеризацию рабочих виброопасных производств, витаминпрофилактику, психологическую разгрузку.

При предварительных м/о расширено количество противопоказаний, при которых нельзя допускать рабочих на работу с вибромеханизмами.

Противопоказания: возраст моложе 18 лет; заболевания сердечно-сосудистой системы (т.е. стенокардия, гипертония); заболевания желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки, язвенные колиты); хронические заболевания опорно-двигательного аппарата; все злокачественные заболевания; заболевания органов слуха, близорукость высокой степени. Периодичные медицинские осмотры проводятся обязательно – 1 раз в год. При предварительных и периодических м/о участвуют основные врачи (невропатолог, отоларинголог, терапевт, хирург и офтальмолог).

Для рабочих обязательен комплекс лечебно-профилактических мероприятий, включающих физиотерапевтические процедуры, вита-

минную профилактику, психологическую разгрузку, комплекс гимнастических упражнений, проведение минимум двух курсов в год ультрафиолетового облучения (февраль-март, октябрь-ноябрь).

При воздействии локальной вибрации проводятся тепловые гидрпроцедуры для рук, в течение 8-10 минут (температура 37-38 °С). Это предупреждает спазмы мелких кровеносных сосудов рук и их атрофию. Необходима нормализация микроклимата для профилактики охлаждения, особенно поясничного отдела позвоночника. Следует организовывать горячее питание в обед и возможность принятия горячих напитков в регламентированные перерывы.

Нужно создать условия для пассивного отдыха головы, рук и ног лежа на топчане, для отдыха и вытяжки позвоночника. Желательно обучить рабочих приемам самомассажа шеи, необходимо делать гимнастику для укрепления мускулатуры и поддержания гибкости позвоночного столба. Особенно опасна вибрация для женщин и по СанПиН 2.2.0.555-96 женщинам запрещается работать на тяжелых самоходных транспортных внедорожных машинах (бульдозеры, тракторы, автосамосвалы и землеройные машины).

13.6. СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Средства коллективной защиты (СКЗ) располагаются между источником вибрации и оператором. К СКЗ оператора относятся подставки, сидения, кабины, рукоятки.

Виброзащитные подставки - наиболее приемлемые средства защиты от общей вибрации при работе стоя. Основной частью подставки является опорная плита, на которой стоит и выполняет работу оператор. Средства виброизоляции могут размещаться сверху плиты, снизу плиты или с обеих сторон одновременно. В зависимости от принятой схемы их взаимного расположения виброзащитные подставки изготавливают с опорными, встроенными, накладными или комбинированными виброизоляторами (рис. 13.8).

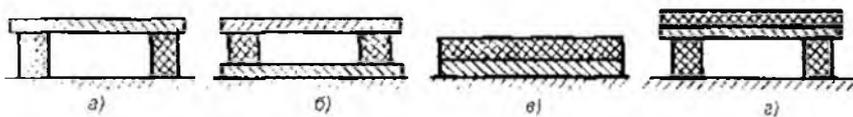


Рис. 13.8. Схемы виброзащитных подставок для виброизоляторов:
а — опорного; б — встроенного; в — накладного; г — комбинированного

На практике применяются различные конструктивные схемы подставок: с резиновыми и пневмобаллонными виброизоляторами (рис. 13.9), с пружинными виброизоляторами (рис. 13.10).

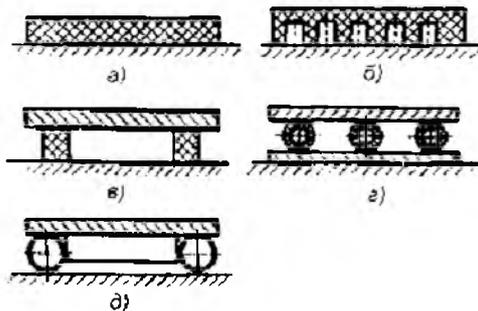


Рис. 13.9. Виброзащитные подставки с резиновыми и пневмобаллонными виброизоляторами:

a - губчатая резина; *б* - перфорированная резина; *в* - резиновые бруски; *г* - цилиндрические пневмобаллоны; *д* - кольцевой пневмобаллон

Виброзащитные сидения применяют, если оператор выполняет работу сидя. Подвижные рабочие места, расположенные на транспортных машинах и перемещающихся технологических агрегатах, оснащают сидениями со встроенными средствами виброизоляции. Отдельные конструктивные варианты виброзащитных сидений представлены на рис. 13.11.

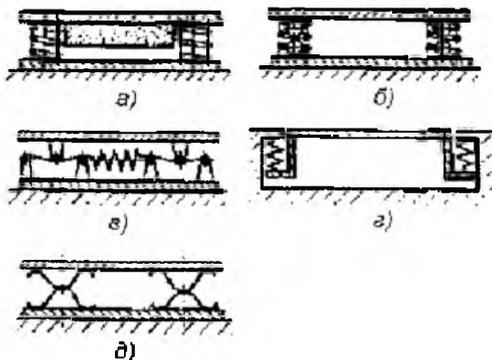


Рис. 13.10. Виброзащитные подставки с пружинными виброизоляторами:

a - пружины сжатия и сыпучий балласт; *б* - пружины сжатия и шаровые пневмобаллоны; *в* - пружинно-тросовая система с опорными роликами; *г* - пружинная подвеска; *д* - спаренные рессоры

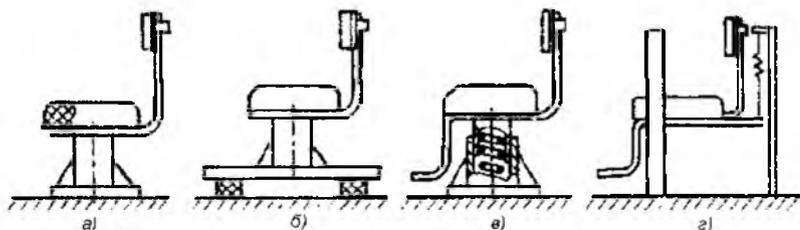


Рис. 13.11. Виброзащитные сиденья с виброизоляторами:
а - упругая накладка; *б* - упругие опоры; *в* - пружины, встроенные в опору; *г* - упругие подвески

Виброзащитные кабины используют в тех случаях, когда на человека-оператора воздействует не только вибрация, но другие негативные факторы: шум, излучения, химические вещества и т. д. Виброзащитная кабина в отличие от обычных кабин, защищающих человека от вредных факторов, устанавливается на виброизолирующих опорах. В зависимости от действующих одновременно с вибрацией вредных факторов виброзащитные кабины могут быть шумовиброзащитными, пылевиброзащитными и т. п. На рис. 13.12 представлена одна из таких кабин.

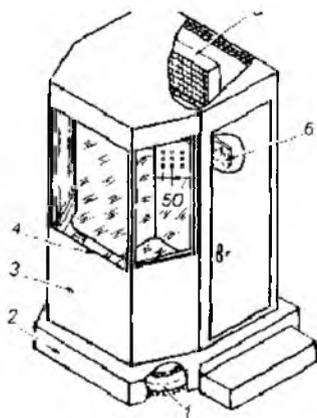


Рис. 13.12 Шумовиброзащитная кабина для оператора компрессорной станции:

1 - пневматические виброизоляторы; *2* - основание кабины; *3* - корпус кабины; *4* - стол оператора; *5* - кондиционер; *6* - вешалка для одежды

Виброзащитные рукоятки предназначены для защиты от локальной вибрации рук оператора. Конструктивные схемы виброзащитных рукояток представлены на рис. 14.13.

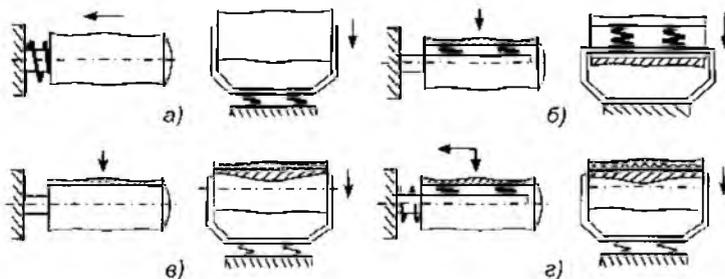


Рис. 13.13 Классификация виброзащитных рукояток:

а - рукоятки с промежуточными виброизоляторами; *б* - рукоятки со встроенными виброизоляторами; *в* - рукоятки с накладными виброизоляторами; *г* - рукоятки с комбинированными виброизоляторами

По месту расположения виброизоляторов рукоятки классифицируются на:

- рукоятки с промежуточными виброизоляторами, в которых виброизоляторы расположены между корпусом ручной машины и рукояткой, охватываемой рукой оператора (рис. 13.13, а);
- рукоятки со встроенными виброизоляторами, размещенными непосредственно в теле рукоятки (рис. 13.13, б);
- рукоятки с накладными виброизоляторами, в которых упругие полимерные накладки и облицовки размещены на наружной поверхности рукоятки и контактируют с руками оператора (рис. 13.13, в);
- рукоятки с комбинированными виброизоляторами, предусматривающие различные сочетания промежуточных, встроенных и накладных виброизоляторов (рис. 13.13, г).

13.7. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

В качестве *средств индивидуальной защиты* от вибрации используются: для рук - виброизолирующие рукавицы, перчатки, накладки и прокладки; для ног - виброизолирующая обувь, стельки, подметки.

Виброзащитные рукавицы отличаются от обычных рукавиц тем, что на их ладонной части или в накладке закреплен упруго-демпфирующий элемент. Этот элемент выполняется из поролона, однако более эффективно использование пенопласта, губчатой резины. Применяются рукавицы с эластично-трубчатыми элементами (рис. 13.14).

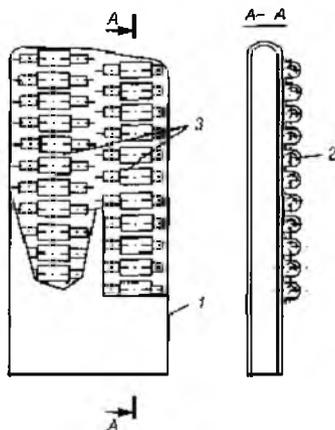


Рис. 13.14 Виброзащитная рукавица с эластично-трубчатыми элементами:
1 - поверхность рукавицы; 2 - трубчатые элементы; 3 - накладки

На рукавице имеются трубчатые элементы, закрепленные накладками и расположенные вертикальными рядами параллельно друг другу и перпендикулярно оси рукавицы. Также рукавицы могут выполняться с накладным карманом, в который вставляется накладка с эластично-трубчатыми элементами (рис. 13.15).

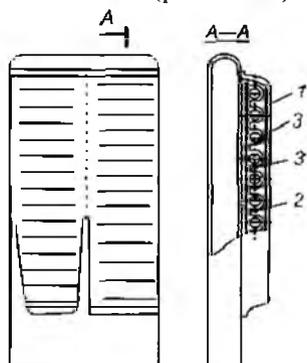


Рис. 13.15. Рукавица с накладным карманом:
1 - накладной карман; 2 - накладка; 3 - эластично-трубчатый элемент

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, полуботинок как мужских, так и женских, и отличается от обычной обуви наличием подошвы или вкладыша из упругодемпфирующего материала (рис. 13.16).

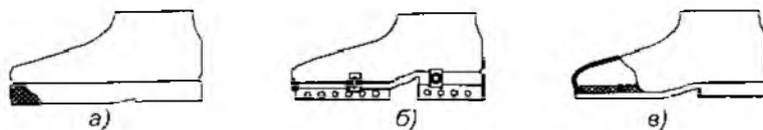


Рис. 13.16. Виброзащитная обувь:

а - на упругой подошве; б - со съёмными упругими каблуками и подметкой; в - с упругой стелькой

При написании 13 главы использованы материалы, опубликованные в [13.1-13.10].

БИБЛИОГРАФИЯ

К ГЛАВЕ 1

- 1.1. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: В 3 т. Т. I. Формирование внешней электромагнитной среды: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 223 с.
- 1.2. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: В 3 т. Т. II. Воздействие электромагнитной среды на технические устройства и средства защиты: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 439 с.
- 1.3. Аполлонский С. М., Каляда, Синдаловский Б. Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.
- 1.4. Аполлонский С. М., Малаян К. Р. Электромагнитная экология человека: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. – 556 с.
- 1.5. Афанасьев А. И., Карпиков И. И. Методы снижения электрических и магнитных полей промышленной частоты 50 Гц (справочное руководство). – Фрязино: НПП "Циклоп-Тест", 2001. – 28 с.
- 1.6. Грачёв Н. Н., Мырова Л. О. Защита человека от опасных излучений. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 317 с.
- 1.7. Аполлонский С. М. Внешние электромагнитные поля электрооборудования и средства их снижения. – СПб.: Безопасность, 2001. – 620 с.
- 1.8. Васин В. К., Кириллова Г. В., Звигинцева Е. А. Защита от электромагнитных и лазерных излучений. Ч. I. Электромагнитные поля: учеб. пособие. - М.: РГОТУПС, 2002. - 47 с.
- 1.9. Довбыш В. Н., Маслов М. Ю., Сподобаев Ю. М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем. – М., 2009. – 198 с.
- 1.10. Занько Н. Г., Ретнев В. М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности. - М.: Изд. Ц. «Академия», 2004. – 287 с.
- 1.11. Куклев Ю. И. Физическая экология: Учеб. Пособие /Ю. И. Куклев. 3-е изд. доп. – М.: Высш. Шк., 2008. – 392 с.
- 1.12. Маслов О. Н. Экологический риск и электромагнитная безопасность: Монография. – М.: ИРИАС, 2004. – 330 с.
- 1.13. Шлендер П. Э., Маслова В. М., Подгаецкий С. И. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие /Под ред. проф. П. Э Шлендера. – М.: Вузовский учебник, 2003. – 208 с.
- 1.14. Электромагнитная безопасность человека /Авт. Григорьев Ю. Г., Степанов В. С., Григорьев О. А., Меркулов А. В. Справочно-информационное издание, 1999. – 145 с.

К ГЛАВЕ 2

- 2.1. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: В 3 т. Т. I. Формирование внешней электромагнитной среды: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 223 с.
- 2.2. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: В 3 т. Т. II. Воздействие электромагнитной среды на технические устройства и средства защиты: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 439 с.
- 2.3. Аполлонский С. М., Каляда., Синдаловский Б. Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.
- 2.4. Аполлонский С. М., Малаяп К. Р. Электромагнитная экология человека: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. – 556 с.
- 2.5. Аполлонский С. М. Внешние электромагнитные поля электрооборудования и средства их снижения. – СПб.: Безопасность, 2001. – 620 с.
- 2.6. Аполлонский С. М. Справочник по расчёту электромагнитных экранов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
- 2.7. Аполлонский С. М. Расчёт электромагнитных экранирующих оболочек. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 144 с.
- 2.8. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.1. Защита от электромагнитных излучений: Монография. М.: SCience, 2016. – 177 с.
- 2.9. Аполлонский С. М. Электромагнитное экранирование, т. 1. Теория электромагнитного экранирования. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. – 471 с.
- 2.10. Занько Н. Г., Ретнев В. М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности. - М.: Изд. Ц. «Академия», 2004. – 287 с.
- 2.11. Куклев Ю. И. Физическая экология: Учеб. Пособие /Ю. И. Куклев. 3-е изд. доп. – М.: Высш. Шк., 2008. – 392 с.
- 2.12. Маслов О. Н. Экологический риск и электромагнитная безопасность: Монография. – М.: ИРИАС, 2004. – 330 с.
- 2.13. Рудаков М. Л. Электромагнитная безопасность в промышленности. – СПб.: Политехника, 1999. – 91 с.
- 2.14. Шлендер П. Э., Маслова В. М., Подгаецкий С. И. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие /Под ред. проф. П. Э Шлендера. – М.: Вузовский учебник, 2003. – 208 с.
- 2.15. Schelkunoff S.A. Electromagnetic waves //D. Van Nostrand Company. – New York, Toronto, London, 1948, pp. 188-241.

К ГЛАВЕ 3

- 3.1. Аполлонский С. М. Внешние электромагнитные поля электрооборудования и средства их снижения. – СПб.: Безопасность, 2001. – 620 с.
- 3.2. Аполлонский С. М. Справочник по расчёту электромагнитных экранов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
- 3.3. Аполлонский С. М. Расчёт электромагнитных экранирующих оболочек. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 144 с.
- 3.4. Аполлонский С. М. Экранирующие оболочки с параметрическими неоднородностями. - Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. - 203 с.
- 3.5. Аполлонский С. М. Электромагнитное экранирование, т. 1. Теория электромагнитного экранирования. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. – 471 с.
- 3.6. Аполлонский С. М. Электромагнитное экранирование, т. 2. Экранирование в инженерной практике. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. – 207 с.

К ГЛАВЕ 4

- 4.1. Аполлонский С. М., Каляда Т.В., Синдаловский Б. Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.
- 4.2. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.1. Защита от электромагнитных излучений: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 177 с.
- 4.3. Аполлонский С.М., Малаян К.Р. Электромагнитная экология человека: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 556 с.
- 4.4. Кукин П.П., Лапин В.Л., Попов В.М., Марчевский Л.Э., Сердюк Н.И. Основы радиационной безопасности в жизнедеятельности человека. - Курск, КГТУ, 1995.
- 4.5. Макашѐв В. А., Петров С.В. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учебное пособие. – М.: ЭНАС, 2008. – 191 с.
- 4.6. Аполлонский С. М., Коровченко П. В. Возможные пути воздействия мобильных телефонов на мозг человека //Вестник МАНЭБ, 2010, т. 15, № 1, с. 26 - 36.
- 4.7. Аполлонский С. М., Коровченко П. Воздействие электромагнитной среды на абонента сотовой связи и его нормирование //Безопасность жизнедеятельности (Приложение), 2011, № 1, с. 15-22.

- 4.8. Горбатенко О.Н., Бибииков С.Б. Использование радиопоглощающих – радио-рассеивающих материалов для защиты георадара от электромагнитных помех //Специальная техника, 2006, № 3, с. 26.
- 4.9. Хорев А.А. Способы и средства защиты информации. – М.,2000. 316 с.
- 4.10. Щеглов А.Ю. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. – Санкт-Петербург, 2004. - 384 с.

К ГЛАВЕ 5

- 5.1. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: Монография В 3-х томах: Т. III. Воздействие внешней электромагнитной среды на человека и средства защиты: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 286 с.
- 5.2. Аполлонский С. М. Защита от неионизирующих излучений. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2014. – 252 с.
- 5.3. Аполлонский С. М., Малаян К. Р. Электромагнитная экология человека: Учебн. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 556 с.
- 5.4. Аполлонский С. М. Справочник по расчёту электромагнитных экранов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отд-ние, 1988. – 224 с.
- 5.5. Аполлонский С. М. Электромагнитное экранирование, т. 2. Экранирование в инженерной практике. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. – 207 с.
- 5.6. Аполлонский С. М. Электромагнитное экранирование, т. 1. Теория электромагнитного экранирования. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. – 471 с.
- 5.7. Аполлонский С. М. Роль природных экранов в снижении электромагнитных нагрузок в урбанизированном пространстве / Журнал «Безопасность жизнедеятельности, №8, 2015, с. 14-20.
- 5.8. Kamra A. K. Inadvertent modification of atmospheric electricity //Curr. sci. (India), 1991, v. 60, n. 11, p. 639-646.
- 5.9. Schelkunoff S. A. «Electromagnetic Fields», Blaisdell Publishing Company/A Division of Random House, 1963.
- 5.10. Gohberg M.B., Chirkov E.B. Electromagnetic prediction earthquakes. (Электромагнитные предвестники катастроф тектонического происхождения //Геофизика и современный мир: Сб. реф. докл. Междунар. науч. колф., Москва,) 9-13 авг., 1993. - М., 1994. - с.84.
- 5.11. Крылов С. М., Никифорова Н. Н. О сверхнизкочастотном электромагнитном излучении активной геологической среды //Физика Земли, № 6, 1995. с. 42-57.

- 5.12. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т. 2 /Гл.ред. Воробьев Г. И.; Ред.кол.: Анучин Н. А., Атрохин В. Г., Виноградов В. Н. и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1986. - 631 с.
- 5.13. Грунтоведение /Под ред. В.Т. Трофимова. - 6-е изд., доп. И перераб. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 1024 с.

ГЛАВЕ 6

- 6.1. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.1. Защита от электромагнитных излучений: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 177 с.
- 6.2. ГОСТ 24940-96. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. М.: Госстрой России, 1996.
- 6.3. Занько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности: учебник /Занько Н.Г., Малаян К.Р., Русак О.Н. - Изд. 13-е. - СПб.: Лань, 2010. - 671 с.
- 6.4. Измеров Н. Ф., Суворов Г. А. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль. – М.: Медицина, 2003. – 560 с.
- 6.5. Кроль Ц.И., Мясоедова Е.И., Терешкевич С.Г. Качество промышленного освещения. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- 6.6. Мушников В.С., Фетисов И.Н., Барышев Е.Е. Определение интенсивности теплового излучения: Учебное электронное текстовое издание. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005.
- 6.7. Охрана труда: учебник для ВУЗов /Н.Н. Карнаух. - М.: Издательство Юрайт, 2011.
- 6.8. Руководство Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005.
- 6.9. Саенко В.Б. Источник УФ излучения с энергией фотонов 7-15 эВ // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 10 – С. 67-73
- 6.10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
- 6.11. СНиП 23-05-95*. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение. М.: Госстрой России, 2003.
- 6.12. СН 4557-88 “Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях”.

К ГЛАВЕ 7

- 7.1. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.2. Защита от ионизирующих излучений и виброакустических колебаний: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 328 с.
- 7.2. Беспалов В. И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие / В. И. Беспалов. Томский политехнический университет. – 4-е изд., расшир. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 508 с.
- 7.3. Гусев Н.Г., Климапов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 1: Физические основы защиты от излучений: учебник. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с.
- 7.4. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 464 с.
- 7.5. Иванов В.И., Климапов В.А., Машкович В.П. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 256 с.
- 7.6. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - 5-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1999. - 520 с.
- 7.7. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 496 с.
- 7.8. Румянцев С.В., Добромислов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. - М.: Атомиздат, 1979. - 199 с.

К ГЛАВЕ 8

- 8.1. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие /В.И. Беспалов; Томский политехнический университет. – 4-е изд., расшир. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 508 с.
- 8.2. Беспалов В.И., Колбаенкова И.И., Штейн М.М. Номограммы для расчета защиты от прямого тормозного излучения // Дефектоскопия, 2002, № 1, с. 83-95.
- 8.3. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ (СанПиН 2.6.1.2573), 2010. - 37 с.
- 8.4. Гусев Н.Г., Климапов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 1: Физические основы защиты от излучений: учеб. для вузов. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с.

- 8.5. Гусев Н.Г., Климатов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 2: Защита от излучений ядерно-технических установок: учеб. для вузов. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.
- 8.6. Иванов В.И., Климатов В.А., Машкович В.П. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 256 с.
- 8.7. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 496 с.
- 8.8. Румянцев С.В., Добромислов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. - М.: Атомиздат, 1979. - 200 с.
- 8.9. Radiation Protection Design Guidelines for 0,1-100 MeV Particle Accelerator Facilities. - NCRP. - Report N51. - Washington, 1977.

К ГЛАВЕ 9

- 9.1. Аполлонский С. М. Защита от ионизирующих излучений. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2014. - 545 с.
- 9.2. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие /В.И. Беспалов; Томский политехнический университет. - 4-е изд., расшир. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 508 с.
- 9.3. Гусев Н.Г., Климатов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 1: Физические основы защиты от излучений: учеб. для вузов. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с.
- 9.4. Гусев Н.Г., Климатов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 2: Защита от излучений ядерно-технических установок: учеб. для вузов. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.
- 9.5. Иванов В.И., Климатов В.А., Машкович В.П. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 256 с.
- 9.6. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 496 с.
- 9.7. Румянцев С.В., Добромислов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. - М.: Атомиздат, 1979. - 200 с.

К ГЛАВЕ 10

10.1. СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

10.2. СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

10.3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. Минздрав России, 1999.

10.4. ГОСТ Р 51532-99. Средства защиты от рентгеновского излучения в медицинской диагностике. Часть 1. Определение ослабляющих свойств материалов.

10.5. ГОСТ Р 51534-99 (МЭК 61331-3-98) Группа Е84. Государственный стандарт Российской Федерации. Средства защиты от рентгеновского излучения в медицинской диагностике. Часть 3. Защитная одежда.

10.6. Строительные нормы и правила. СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения.

10.7. Инструкция о порядке регистрации медицинских изделий зарубежного производства в Российской Федерации. Минздрав России. № 01/29-13 от 08.12.98.

10.8. Определение индивидуальных эффективных доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях с использованием измерителей произведения дозы на площадь. Методические указания по методам контроля МУК 2.6.1.760-99. М., 1999 г.

10.9. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.2. Защита от ионизирующих излучений и виброакустических колебаний: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 328 с.

10.10. Постановление Госкомстата России от 07.09.99 № 84 "Об утверждении годовых форм федерального государственного статистического наблюдения за индивидуальными дозами облучения граждан"

К ГЛАВЕ 11

11.1. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности /ССБТ. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 6 с.

11.2. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация – ССБТ. М.: Изд. Стандартов, 1982. – 5 с.

11.3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Информ.-издат. центр Минздрава России, 1997. – 19 с.

- 11.4. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 606 с.
- 11.5. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов / Под ред. проф. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 431 с.
- 11.6. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.2. Защита от ионизирующих излучений и виброакустических колебаний: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 328 с.
- 11.7. Девисилов В.А. Охрана труда: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 448 с.
- 11.8. Дуванов Б.Н. Защита от шума, ультразвука, инфразвука и вибрации на производстве: Учебное пособие. – Москва, 2007. – 61 с.
- 11.9. Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во ИТМО, 2011. – 44 с.
- 11.12. Евстигнеева Н.А., Карев С.В. Защита от шума. Методические указания к лабораторной работе. – М.: МАДИ, 2007. – 44 с.

К ГЛАВЕ 12

- 12.1. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н., Эскин Г.Н. Основы физики и техники ультразвука: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
- 12.2. Акопян В.Б., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2005. – 223 с.
- 12.3. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.2. Защита от ионизирующих излучений и виброакустических колебаний: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 328 с.
- 12.4. Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками // Вестник МГТУ, том 12, № 2, 2009 г., с. 300-307
- 12.5. Балдев Радж, Раджендран В., Палапичами П. Мир физики и техники. Применения ультразвука. - М.: Техносфера, 2006.
- 12.6. Жуков А. И., Иванников А. Н., Фрайман Б. Я. О необходимости изучения пространственной структуры звукового поля при оценке действия низкочастотного шума. «Борьба с шумом и звуковой вибрацией». - Москва, 1989 г., с. 53-59.
- 12.7. Жуков А. И., Иванников А.Н, Ларюков А. С., Нюнин Б. Н., Павлов В. И., Фрайман Б. Я. Определение аномально активной зоны вредного действия инфразвуковых шумов в жилых и административных

помещениях. «Проблемы акустической экологии». – Л.: Стройиздат, 1990г., с. 13-21.

12.8. Зинкин В.Н. Актуальные проблемы защиты населения от низкочастотного шума и инфразвука / Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В. и др. //Технология гражданской безопасности, т. 12, №. 1(43), 2015.

12.9. Зинкин В.Н. Кумулятивные медико-экологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука / В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, С.П. Драган, И.М. Ахметзянов // Экология и промышленность России, 2012, № 3, с. 46-49.

12.10. Измеров Н. Ф., Суворов Г. А. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль. – М.: Медицина, 2003. – 560 с.

12.11. Ерущенков А.И., Пономарев Е.А., Сорокин А.Г., Орлов В.В. Основные результаты исследований атмосферного инфразвука в ИСЗФ СО РАН (1972–1992 гг.) // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. - Новосибирск, 1993, вып. 100, с. 54–94.

12.12. Пономарев Е.А. О «резонансном» механизме генерации ионосферных неоднородностей //Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. - М.: Наука, 1979, вып. 47, с. 3–9.

12.13. СанПиН 4948-89. Санитарные нормы допустимых уровней инфразвука и низкочастотного шума на территории жилой застройки.

12.14. Хмелев, В.Н. Источники ультразвукового воздействия. Особенности построения и конструкции: монография / В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.В. Левин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 196 с.

К ГЛАВЕ 13

13.1. Аполлонский С.М. Защита от физических факторов волновой природы, Т.2. Защита от ионизирующих излучений и виброакустических колебаний: Монография. М.: SCIENCE, 2016. – 328 с.

13.2. Беляев В. М., Миронов В. М., Сечин А. И. Расчет и проектирование средств защиты: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 184 с.

13.3. Блехман И.И. Вибрационная механика. - М., 1994; англ. пер.: *Blekhman I.I., Vibrational Mechanics (Nonlinear Dynamic Effects, General Approach, Applications)*. Singapore, 2000.

13.4. Вибрации в технике. Справочник в 6 т. Ред. совет: В. Н. Челомей и др. - М: Машиностроение, 1981.

13.5. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль. – М.: Медицина, 2003.

13.6. О состоянии профессиональной заболеваемости в Российской Федерации в 2011 году: Информационный сборник статистических и аналитических материалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.

13.7. Профессиональные заболевания. Руководство для врачей/Н.Ф. Измеров, А.М. Монаенкова, В.Г. Артамонова и др. // Под ред. Н.Ф. Измерова. – М.: Медицина, 1996. – В 2 томах. Т. 2.

13.8. Руководство Р 2.2.2006–05. «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда», утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29.07.2005 г.

13.9. СН 2.2.4_2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

13.10. Хузиахметов Р.А. Исследование вибрации и, ее оценка: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. - Казань: КГАСУ, 2013. – 34 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
РАЗДЕЛ I. ЗАЩИТА ОТ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ	4
ГЛАВА 1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	4
1.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ	4
1.2. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	6
1.3. ЗАЩИТА ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	8
1.4. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ	9
1.5. ЗАЩИТА ОТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ	12
1.6. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТ	14
ГЛАВА 2. ЭКРАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ	25
2.1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ	25
2.2. ПРИНЦИПЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ	27
2.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ	30
ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПАССИВНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК	37
3.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК	37
3.1.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	37
3.1.2. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ	39
3.1.3. УЧЁТ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ЭКРАНА	43
3.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК	45
3.2.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	45
3.2.2. УВЕЛИЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ В ПОЛОСТИ МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКИ	46
3.2.3. ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК НА СТРУКТУРУ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ	47
3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК	48
3.3.1. ОБОЛОЧКИ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ	48
3.3.2. ЗАМКНУТЫЕ ЭКРАНЫ СО СЛАБОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ	50
3.3.3. ОБОЛОЧКИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ	51
3.3.4. СЕТОЧНЫЕ И РЕШЕТЧАТЫЕ ОБОЛОЧКИ	52
3.4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ	52

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ	56
4.1. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	56
4.2. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ГДЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЭКРАНЫ.....	58
4.3. ЭКРАНЫ В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ	63
4.4. ЭКРАНЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКИХ МЕР ЗАЩИТЫ	65
4.5. ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ.....	68
4.6. ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ.....	76
4.7. ЗАЩИТА В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ.....	80
ГЛАВА 5. СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИРОДНЫХ ЭКРАНОВ.....	84
5.1. ВИДЫ ПРИРОДНЫХ ЭКРАНОВ.....	84
5.2. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ	85
5.2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ	87
5.2.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ.....	88
5.3. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНЫХ СРЕД.....	95
5.3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ	95
5.3.2. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ	97
5.3.3. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ	100
5.4. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУШНЫХ СРЕД	100
5.4.1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ	100
5.4.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ	110
5.5. ЭКРАНИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРУНТОВ	110
5.5.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.....	110
5.5.2. УЧЁТ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ	117
ГЛАВА 6. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВИДИМОГО, ИНФРАКРАСНОГО, УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ.....	121
6.1. ЗАЩИТА ОТ ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	121
6.2. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	127

6.3. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	142
6.4. ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	144
6.4.1. ПРОФИЛАКТИКА ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	144
6.4.2. РАСЧЁТ БЕЗОПАСНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	145
РАЗДЕЛ II. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	153
ВВЕДЕНИЕ.....	153
ГЛАВА 7. СРЕДСТВА И ВИДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	155
7.1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	155
7.1.1. СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ.....	155
7.1.2. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ.....	157
7.1.3. КРИТЕРИИ ПРИНЯТИЯ НЕОТЛОЖНЫХ РЕШЕНИЙ В НАЧАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ.....	159
7.2. ВИДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	160
7.2.1. ХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	161
7.2.2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	162
7.2.3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	167
7.3. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ РАБОТЕ С ТЕХНОГЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ.....	167
ГЛАВА 8. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ.....	171
8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	171
8.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ РАДИОНУКЛИДОВ КАК ГАММА-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ.....	173
8.3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАЩИТЫ ОТ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	178
8.4. ЗАЩИТА ВРЕМЕНЕМ, КОЛИЧЕСТВОМ, РАССТОЯНИЕМ.....	185
8.5. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ.....	186
8.6. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ НОМОГРАММ.....	189
8.7. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЛОСКИХ И ТОЧЕЧНЫХ ИЗОТРОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО СЛОЯМ ОСЛАБЛЕНИЯ.....	189
8.8. МЕТОД КОНКУРИРУЮЩИХ ЛИНИЙ.....	195
ГЛАВА 9. РАСЧЁТЫ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ.....	199
9.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТ.....	199
9.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО И РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ.....	202

9.2.1. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРВИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ	202
9.2.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ	209
9.3. ЗАЩИТА ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	214
9.3.1. ЗАЩИТА ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ β - ЧАСТИЦ.....	214
9.3.2. РАСЧЁТ ЗАЩИТЫ ОТ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ.....	217
9.4. ЗАЩИТА ОТ РАССЕЯННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	226
ГЛАВА 10. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	229
10.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	229
10.2. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	231
10.2.1. СТАЦИОНАРНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	231
10.2.2. ПЕРЕДВИЖНЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	237
10.3. КОНТРОЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	238
10.4. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	240
10.5. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	242
10.6. ФИЗИЧЕСКЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЗАЩИТЫ	244
10.7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	246
10.7.1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА.....	246
10.7.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ	250
10.7.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ	252
10.7.4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ	252
РАЗДЕЛ III. ЗАЩИТА ОТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	257
ГЛАВА 11. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА.....	257
11.1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА	257
11.2. СИСТЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ ШУМА.....	267
11.3. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА.....	270

ГЛАВА 12. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ИНФРАЗВУКОМ И УЛЬТРАЗВУКОМ.....	273
12.1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ИНФРАЗВУКА	273
12.2. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАЗВУКА ПО ПУТИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ	274
12.3. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ИНФРАЗВУКА.....	277
12.4. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАЗВУКА.....	279
12.5. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАЗВУКА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	284
12.6. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАЗВУКА ПО ПУТИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ.....	285
12.7. МЕДИЦИНСКИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ УЛЬТРАЗВУКА	287
ГЛАВА 13. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ	292
13.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	292
13.2. УМЕНЬШЕНИЕ ВИБРАЦИИ В ИСТОЧНИКЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ПО ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ.....	293
13.3. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ СТАЦИОНАРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	299
13.4. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ	308
13.5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЛЕЧЕБНО- ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ	312
13.6. СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ.....	313
13.7. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ.....	316
БИБЛИОГРАФИЯ.....	319