



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность технологических процессов
и производств»

Учебное пособие по дисциплине

«Вредные факторы производственной среды» (Часть 2)

Авторы
Трушкова Е.А.,
Стасева Е.В.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Учебное пособие состоит из разделов, раскрывающих комплекс организационных, гигиенических и санитарно-технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работника вредных производственных факторов.

В пособии основное внимание уделено способам и средствам защиты работников от вредных и (или) опасных физических, химических факторов производственной среды и вредных и (или) опасных факторов трудового процесса. Кроме того, рассмотрены теоретические аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности, приведена классификация негативных факторов производственной среды и условий трудовой деятельности.

Материал сопровождается рисунками и актуализированным списком нормативно-правовых актов, регламентирующих различные аспекты охраны труда.

Учебное пособие предназначено для студентов по дисциплинам «Безопасность жизнедеятельности», «Вредные факторы производственной среды», «Аттестация рабочих мест» всех направлений подготовки и специальностей очной и заочной форм обучения.



Авторы

К.Т.Н., доцент
кафедры «БТПиП»
Трушкова Е.А.

К.Т.Н., доцент
кафедры «БТПиП»
Стасева Е.В.

Оглавление

Введение	5
1. Неионизирующие излучения	6
1.1 Геомагнитное поле земли	6
1.2 Постоянное магнитное поле (ПМП)	9
1.3 Переменное электромагнитное поле промышленной частоты (50Гц).....	12
1.4 Переменное электромагнитное поле радиочастотного диапазона	22
1.5 Лазерное излучение	37
1.6 Инфракрасное излучение.....	52
1.7 Ультрафиолетовое излучение	66
2. Ионизирующие излучения	74
2.1. Источники и виды ионизирующих излучений ..	74
2.2 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	79
2.3 Основные характеристики ионизирующих излучений.....	81
2.4 Биологическое действие ионизирующих излучений.....	83
2.5 Нормирование воздействия ионизирующих излучений.....	87
2.6 Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений.....	90
2.7 Радиационный контроль при работе с техногенными источниками ионизирующего излучения..	92
Библиографический список.....	96
Приложение 1 Классификация лазеров по физико- техническим параметрам.....	100

ВВЕДЕНИЕ

В первой части учебного пособия [1] вы уже познакомились с классификацией негативных факторов производственной среды и условий трудовой деятельности, а также подробно рассмотрели воздействие, гигиеническое нормирование и мероприятия по обеспечению безопасности при влиянии таких факторов как: микроклимат, производственное освещение химические и виброакустические факторы.

Основная цель всей системы охраны труда – это сохранение жизни и здоровья работников (ст.210 ТК РФ) перед другими производственными задачами. Одним из этапов по реализации этой цели является профилактика и предотвращение опасностей, ликвидация и снижение риска в процессе производственной деятельности [2].

Безопасные условия труда – это условия труда, при которых воздействие на работающих вредных или опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленные нормативы [3].

Вредные факторы производственной среды – это такие факторы среды и трудового процесса, воздействие которых на работающего при определенных условиях (интенсивность, длительность и др.) может вызвать профессиональное заболевание, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту соматических и инфекционных заболеваний, привести к нарушению здоровья потомства [4].

Во второй части учебного пособия мы познакомимся с ионизирующими и неионизирующими электромагнитными полями и излучениями: геомагнитное поле, постоянные магнитные поля, электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 Гц), электромагнитные излучения радиочастотного диапазона, электромагнитные излучения оптического диапазона (в т. ч. лазерное, инфракрасное и ультрафиолетовое) [5, 6].

1. НЕИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Неионизирующие излучения – это электромагнитные излучения (ЭМИ) различной частоты, которые не вызывают ионизацию атомов и молекул вещества. В эту же группу относят статическое электрическое и постоянное магнитное поля.

В зависимости от вида и интенсивности ЭМИ могут оказывать влияние на здоровье человека и его последующих поколений. Опасность воздействия электромагнитных, постоянных магнитных и электростатических полей усугубляется тем, что они не обнаруживаются органами чувств.

Спектр электромагнитного излучения природного и техногенного происхождения, оказывающий влияние на человека в производственных условиях, очень широк. Характер воздействия на человека электромагнитного излучения в разных диапазонах различен. В связи с этим значительно различаются и требования к нормированию различных диапазонов электромагнитного излучения.

Неионизирующие излучения делятся на виды в зависимости от частоты излучения и того воздействия, которое они оказывают на человека. Вследствие физических особенностей и различного влияния на организм человека электромагнитных излучений разной частоты принято раздельное нормирование диапазонов неионизирующих излучений, а также статического электрического и постоянного магнитного полей [3].

1.1 Геомагнитное поле земли

Геомагнитное поле (ГМП) – это постоянное магнитное поле Земли. Оно оказывает очень глубокое влияние на геофизические, биофизические и экологические процессы на Земле. Магнитное поле земли ориентирует стрелку компаса в направлении север-юг, благодаря ему совершены великие физические открытия, до сих пор геомагнитное поле используется для воздушной, водной, подводной и космической навигации. Оно сыграло выдающуюся роль в эволюции Земли, в происхождении и защите жизни на Земле [3].

Напряжённость геомагнитного поля невелика, на поверхности Земли она изменяется от 0.3 эрстед на магнитном экваторе до 0.6 эрстед на магнитных полюсах, которые, не совпадают с соответствующими географическими полюсами. Отклонение магнитных полюсов от географических в настоящее время достигает 2000-3000 км. Геомагнитное поле пронизывает все три оболочки Земли:

литосферу, гидросферу и атмосферу, воздействует на живую и неживую природу, на все четыре царства природы: растительное, животное, минеральное и, конечно, человеческое. Магнитное поле Земли также оказывает существенное влияние на климат и погоду. Изменения его интенсивности могут привести к значительным колебаниям в температуре, в атмосферном давлении и в частоте выпадения осадков, а также к бурям, ураганам и другим стихийным бедствиям [7].

Геомагнитное поле состоит из главного геомагнитного поля, источники которого находятся во внешнем электропроводящем ядре Земли, аномального, создаваемого намагниченными горными породами, и внешнего геомагнитных полей. Вклад главного геомагнитного поля составляет более 95%. В соответствии с общей теорией геомагнетизма Гаусса главное геомагнитное поле состоит из дипольной и недипольной частей. В первом приближении теории геомагнитное поле является полем диполя, наклоненного к оси вращения Земли на угол 10-12 градусов. Аномальное поле составляет около 3% геомагнитного поля, а внешнее, связанное с солнечно-земными взаимодействиями, – менее 1%. Измерения магнитного поля Земли выполняются на магнитных обсерваториях, магнитные съемки бывают сухопутными, водными, воздушными и спутниковыми.

На Земной поверхности существуют так называемые магнитные аномалии, напряженность которых существенно превышает среднее аномальное геомагнитное поле. Магнитные аномалии во многих случаях связаны с залежами полезных ископаемых. Таким образом, непосредственные измерения геомагнитного поля прямо связаны с поиском полезных ископаемых (включая алмазы) как на суше, так и на дне мирового океана. Геомагнитное поле является одним из обязательных условий существования и развития жизни на Земле, потому что, оно, наравне с атмосферой, защищает Землю от пагубного разрушительного воздействия солнечного ветра и космических лучей [8].

Вспышки на солнце вызывают изменения интенсивности солнечного ветра, что в свою очередь является основной причиной возмущения геомагнитного поля и магнитосферы. А эти возмущения являются источником наиболее интенсивных геомагнитных сигналов на Земле – магнитных бурь и суббурь. Суббурей называется магнитная буря, имеющая локальный географический характер и меньший в сравнении с магнитной бурей «размах». Всем известно, что магнитные бури вызывают у многих людей плохое самочувствие, связанное с повышением или понижением давления,

Вредные факторы производственной среды

и другие побочные эффекты. Учёные установили, что в состав человеческой крови и лимфы входят ионы железа, а, как известно, железо обладает магнитным моментом и способностью намагничиваться в магнитном поле. Может быть именно поэтому человек так чувствителен к любому, даже самому незначительному изменению интенсивности геомагнитного поля [7].

Ослабление геомагнитного поля оказывает отрицательное влияние на здоровье человека, в первую очередь – на нервную систему, что характеризуется изменением поведения человека, и его условно-рефлекторной деятельности.

Ослабление ГМП в производственных условиях происходит в экранированных сооружениях (экранирование от электромагнитных полей, генерируемых размещенным в помещении оборудованием), в подземных сооружениях, зданиях из железобетонных конструкций, кабинах строительных машин, салонах легковых автомобилей, самолетах, и т.д. [3].

Интенсивность ГМП измеряют в единицах напряженности магнитного поля (H) в А/м или в единицах магнитной индукции (B) в Тл. Нормирование уровня ослабления геомагнитного поля производится коэффициентом ослабления интенсивности ГМП K_O , который равен отношению интенсивности ГМП открытого пространства B_O или H_O к его интенсивности внутри помещения B_B или H_B и в течение смены **не должен превышать 2** [10]:

$$K_O = |B_O| / |B_B| < 2, \quad (1.1)$$

1.2 Постоянное магнитное поле (ПМП)

Источниками постоянных магнитных полей (ПМП) являются постоянные магниты, электромагниты, электролизные ванны (электролизеры), линии передачи постоянного тока, шинопроводы и другие электротехнические устройства, в которых используется постоянный ток. В последнее время новым источником ПМП является транспорт на магнитной подвеске.

Постоянные магниты – это намагниченные заготовки из ферромагнитных материалов, подразделяемые на литые и керамические. Литые представляют собой намагниченные слитки ферромагнитных сплавов (обычно сталь с добавлением кобальта или никеля). Керамические изготавливают путем спекания или прессования порошка, содержащего наполнитель (оксиды бария, кремния) и ферромагнитные вещества (железная окалина, никель, кобальт). В последнее время для изготовления магнитов используют соединения редкоземельных элементов с кобальтом, которые находят широкое применение в машиностроении [9].

Важным фактором производственной среды при изготовлении, контроле качества, сборке магнитных систем из отдельных магнитов, монтаже различных устройств с магнитными деталями (генераторов и двигателей постоянного тока, измерительных приборов, радио- и телеаппаратуры) является постоянное магнитное поле.

Наша планета обладает естественным постоянным магнитным полем, являющимся определенной защитой живых организмов от проникновения космических ионизирующих излучений – геомагнитное поле земли, о котором подробно рассмотрено в п.1.1.

Магнитное поле (МП) характеризуется двумя величинами – индукцией и напряженностью. Индукция (B) – это сила, действующая в данном поле на проводник единичной длины с единичным током. Единицей измерения индукции в системе единиц СИ является Тесла (Тл). Напряженность (H) – это величина, характеризующая магнитное поле независимо от свойств среды. Вектор напряженности совпадает с вектором индукции. В системе единиц СИ единица измерения напряженности – Ампер на метр (А/м). [8]. (Аникеева)

1.2.1 Действие постоянного магнитного поля (ПМП) на человека

Результаты исследований свидетельствуют о чувствительности к биологическому действию ПМП практически всех физиологических систем организма человека. Было установлено, что ПМП увеличивает латентные периоды сенсорно-моторных реакций на звук и свет. Действие ПМП уменьшает количество эритроцитов в крови и гемоглобин. Изменения, вызванные ПМП в организме, отличаются полиморфностью и разнообразием, сочетающимися с различными сердечнососудистыми, эндокринными, обменными и эмбриогенными нарушениями [9].

1.2.2 Гигиеническое нормирование ПМП

В целях гигиенического нормирования в нашей стране установлен предельно допустимый уровень ПМП для производственных условий – 8 кА/м. В гигиенической практике широко используются измерители магнитной индукции, поэтому необходимо отметить, что в системе единиц СИ 8 кА/м соответствует 10 мТл (для сравнения ПМП Земли имеет напряженность 10 А/м).

Нормирование ПМП осуществляется по уровню напряженности магнитного поля дифференцированно – в зависимости от времени воздействия ПМП на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия. Величину ПМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля H в А/м или в единицах магнитной индукции B в мТл. ПДУ напряженности и индукции ПМП на рабочих местах представлены в табл. 1.1 [3].

Таблица 1.1 – ПДУ постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день (минуты)	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

Реальное воздействие ПМП на работающих при изготовлении постоянных магнитов в течение 1,5...2 ч составляет на уровне рук 8...40 кА/м, а на уровне туловища – 1...7 кА/м. Улиц, занятых

сборкой магнитной системы, руки находятся в магнитном поле, индукция которого составляет 17,2...36,7 мТл. При работе на установках ядерного магнитного резонанса на уровне рук магнитное поле достигает 80...200 кА/м, на уровне головы, груди и живота – 4...20 кА/м. Индукция МП на рабочих местах у электролизеров в алюминиевой промышленности находится в пределах до 40 мТл. Магнитоимпульсные установки МИУ и электрогидравлические (ЭГУ) являются источниками низкочастотного импульсного магнитного поля. Напряженность последнего на (МИУ) составляет 2...600 А/м (оператор тратил на их обслуживание только 2...20 % рабочего времени), а на ЭГУ – 170...2850 А/м (операторы находятся у пультов управления, у оборудования до 40 % рабочего времени) [8].

1.2.3 Мероприятия по защите от вредных действий ПМП

Защита от воздействия МП сводится к защите расстоянием и экранированию. Экран изготавливают из магнитомягких (легко намагничивающихся) материалов, причем он должен быть замкнут. Вместе с тем МП (постоянное и низкочастотное) быстро убывает по мере удаления от источника. Поэтому при работе с постоянными магнитами, магнитными дефектоскопами, станками с магнитным креплением обрабатываемых деталей защита в ряде случаев сводится к выведению работающего из зоны повышенного МП. Установки намагничивания и размагничивания при внесении в них деталей следует обесточивать. По мере получения новых данных о биологическом влиянии ПМП будут совершенствоваться и способы защиты человека от их воздействия [9]. (Аникеева)

1.3 Переменное электромагнитное поле промышленной частоты (50Гц)

Электромагнитные поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ) – электромагнитные поля с частотой, принятой в качестве стандартной для выработки электроэнергии, ее передачи и потребления. В РФ стандартной принята частота 50 Гц.

Источниками ЭМП ПЧ являются электрические машины (генераторы, электродвигатели, трансформаторы), линии передачи электроэнергии, распределительное, коммутирующее и другое электрооборудование, прочие потребители переменного тока промышленной частоты. Например, мощными источниками ЭМП ПЧ являются высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП), понижающие и распределительные электрические подстанции, электропривод промышленного оборудования, однофазные коллекторные электродвигатели бытовых электроприборов и пр.[3].

1.3.1 Действие переменного электромагнитного поля промышленной частоты (50Гц) на здоровье человека

В небольших дозах ЭМП ПЧ воздействуют на нервную систему (признаки – головная боль, повышенная раздражительность, утомляемость, вялость, сонливость). При высоких значениях ЭМП ПЧ на организм наблюдаются функциональные нарушения нервной и сердечнососудистой систем, желудочно-кишечного тракта. Имеются также данные об изменении показателей крови, хромосомных изменениях и воздействии на потомство [3].

Биологическое действие электромагнитных полей

Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности ЭМП во всех частотных диапазонах. При относительно высоких уровнях облучающего ЭМП современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне ЭМП (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц это менее 1 мВт/см²) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия ЭМП в этом случае еще мало изучены. Многочисленные исследования в области биологического действия ЭМП позволяют определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервная, иммунная, эндокринная и половая. Эти системы организма являются критическими. Реакции этих систем должны обязательно учитываться при оценке риска воздействия ЭМП на население [9].

Вредные факторы производственной среды

Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. Особо опасны ЭМП могут быть для детей, беременных (эмбрион), людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечнососудистой системы, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом.

Влияние на нервную систему

Большое число исследований, выполненных в России, и сделанные монографические обобщения, дают основание отнести нервную систему к одной из наиболее чувствительных систем в организме человека к воздействию ЭМП. На уровне нервной клетки, структурных образований по передачи нервных импульсов (синапсе), на уровне изолированных нервных структур возникают существенные отклонения при воздействии ЭМП малой интенсивности. Изменяется высшая нервная деятельность, память у людей, имеющих контакт с ЭМП. Эти лица могут иметь склонность к развитию стрессорных реакций. Определенные структуры головного мозга имеют повышенную чувствительность к ЭМП. Изменения проницаемости гематоэнцефалического барьера может привести к неожиданным неблагоприятным эффектам. Особую высокую чувствительность к ЭМП проявляет нервная система эмбриона [9].

Влияние на иммунную систему

В настоящее время накоплено достаточно данных, указывающих на отрицательное влияние ЭМП на иммунологическую реактивность организма. Результаты исследований ученых России дают основание считать, что при воздействии ЭМП нарушаются процессы иммуногенеза, чаще в сторону их угнетения. Установлено также, что у животных, облученных ЭМП, изменяется характер инфекционного процесса – течение инфекционного процесса отягощается. Возникновение аутоиммунитета связывают не столько с изменением антигенной структуры тканей, сколько с патологией иммунной системы, в результате чего она реагирует против нормальных тканевых антигенов. В соответствии с этой концепцией, основу всех аутоиммунных состояний составляет в первую очередь иммунодефицит по тимусзависимой клеточной популяции лимфоцитов. Влияние ЭМП высоких интенсивностей на иммунную систему организма проявляется в угнетающем эффекте на Т-систему клеточного иммунитета. ЭМП могут способствовать неспецифическому угнетению иммуногенеза, усилению образования антител к тканям

Вредные факторы производственной среды

плода и стимуляции аутоиммунной реакции в организме беременной самки [9].

Влияние на эндокринную систему и нейрогуморальную реакцию

В работах ученых России еще в 60-е годы в трактовке механизма функциональных нарушений при воздействии ЭМП ведущее место отводилось изменениям в гипофиз-надпочечниковой системе. Исследования показали, что при действии ЭМП, как правило, происходила стимуляция гипофизарно-адреналиновой системы, что сопровождалось увеличением содержания адреналина в крови, активацией процессов свертывания крови. Было признано, что одной из систем, рано и закономерно вовлекающей в ответную реакцию организма на воздействие различных факторов внешней среды, является система гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников. Результаты исследований подтвердили это положение.

Влияние на половую функцию

Нарушения половой функции обычно связаны с изменением ее регуляции со стороны нервной и нейроэндокринной систем. С этим связаны результаты работы по изучению состояния гонадотропной активности гипофиза при воздействии ЭМП. Многократное облучение ЭМП вызывает понижение активности гипофиза.

Любой фактор окружающей среды, воздействующий на женский организм во время беременности и оказывающий влияние на эмбриональное развитие, считается тератогенным. Многие ученые относят ЭМП к этой группе факторов.

Первостепенное значение в исследованиях тератогенеза имеет стадия беременности, во время которой воздействует ЭМП. Принято считать, что ЭМП могут, например, вызывать уродства, воздействуя в различные стадии беременности. Хотя периоды максимальной чувствительности к ЭМП имеются. Наиболее уязвимыми периодами являются обычно ранние стадии развития зародыша, соответствующие периодам имплантации и раннего органогенеза. Было высказано мнение о возможности специфического действия ЭМП на половую функцию женщин, на эмбрион. Отмечена более высокая чувствительность к воздействию ЭМП яичников нежели семенников. Установлено, что чувствительность эмбриона к ЭМП значительно выше, чем чувствительность материнского организма, а внутриутробное повреждение плода ЭМП может произойти на любом этапе его развития. Результаты проведенных эпидемиологических исследований позволяют сделать вывод, что наличие контакта женщин с электромагнитным излучением может привести к

преждевременным родам, повлиять на развитие плода и, наконец, увеличить риск развития врожденных уродств.

Другие медико-биологические эффекты

Были проведены широкие исследования по изучению здоровья людей, имеющих контакт с ЭМП на производстве. Результаты клинических исследований показали, что длительный контакт с ЭМП в СВЧ диапазоне может привести к развитию заболеваний, клиническую картину которого определяют, прежде всего, изменения функционального состояния нервной и сердечнососудистой систем. Было предложено выделить самостоятельное заболевание – радиоволновая болезнь. Это заболевание, по мнению авторов, может иметь три синдрома по мере усугубления тяжести заболевания:

- астенический синдром;
- астено-вегетативный синдром;
- гипоталамический синдром.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия ЭМ-излучения на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в зоне ЭМ-излучения, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечнососудистой системы проявляются, как правило, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца и др. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови (лабильность показателей) с последующим развитием умеренной лейкопении, нейтропении, эритроцитопении. Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием ЭМ-излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с МП и ЭМП, а также население, живущее в зоне действия ЭМП жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в осуществлении психических функций человека, можно ожидать, что длительное повторное воздействие предельно

допустимых ЭМ-излучения (особенно в дециметровом диапазоне волн) может повести к психическим расстройствам [9].

1.3.2 Нормирование интенсивности

Нормирование ЭМП ПЧ осуществляется отдельно по электрической (ЭП) и магнитной (МП) составляющим – по напряженности электрического поля E в кВ/м, и напряженности магнитного поля H , А/м или индукции B , Тл [10, 11, 12].

ПДУ напряженности ЭП ПЧ на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным **5 кВ/м**. При напряженности E в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время T (час) пребывания в ЭП ПЧ определяется по формуле:

$$T = (50/E) - 2, \quad (1.2)$$

При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания составляет 10 мин. Пребывание в ЭМП ПЧ с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП ($T_{пр}$) вычисляют по формуле:

$$T_{пр} = 8 \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right) \quad (1.3)$$

где $T_{пр}$ – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;

$t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$ – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью E_1, E_2, \dots, E_n , ч;

$T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$ – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон.

Приведенное время не должно превышать 8 ч.

Указанные нормативные требования действительны при условии, что работы не связаны с подъемом на высоту, исключена возможность воздействия электрических разрядов на персонал, а

Вредные факторы производственной среды

также при условии защитного заземления всех изолированных от земли предметов, конструкций, частей оборудования, машин и механизмов, к которым возможно прикосновение работающих в зоне влияния ЭП. ПДУ напряженности периодических (синусоидальных) ЭМП ПЧ по магнитной составляющей устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл.1.2) [12].

Таблица 1.2 – ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП, H (А/м) / B (мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Допустимая напряженность МП внутри временных интервалов определяется в соответствии с кривой интерполяции, приведенной на рис. 1.1.

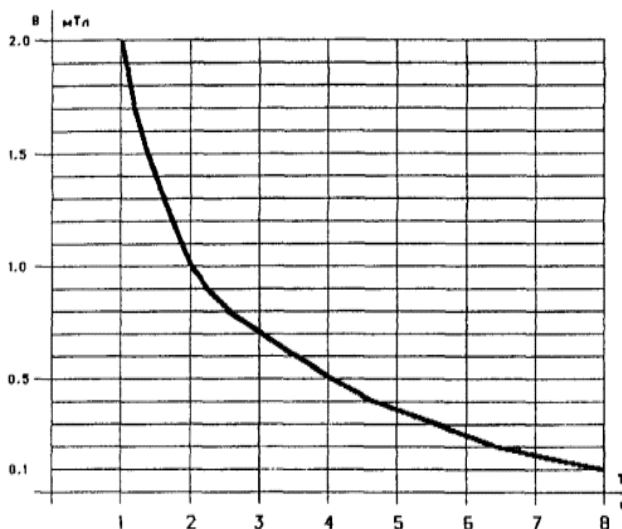


Рисунок 1.1 – ПДУ производственных воздействий МП ПЧ в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего воздействия

1.3.3 Средства защиты персонала, работающего в зоне действия переменного электромагнитного поля промышленной частоты (50Гц)

Согласно СанПиН 22.41191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [10, 11] защита работающих от неблагоприятного воздействия электрических полей должна обеспечиваться применением средств индивидуальной защиты, выполнением организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий (рис. 1.2). Яворский

Организационные мероприятия включают в себя выбор рациональных режимов работы персонала по обслуживанию электроустановок, ограничение мест и времени пребывания персонала в зоне воздействия электрических полей частотой 50 Гц. Их внедрение регламентируется действующими правилами и не требует каких-либо затрат.



Рисунок 1.2 – Классификация средств и методов защиты работающих от неблагоприятного воздействия электрических полей

Вредные факторы производственной среды

Организационные мероприятия при проектировании и эксплуатации оборудования, являющегося источником ЭМП или объектов, оснащенных источниками ЭМП, включают [10,11]:

- выбор рациональных режимов работы оборудования;
- выделение зон воздействия ЭМП (зоны с уровнями ЭМП, превышающими предельно допустимые, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание персонала, должны ограждаться и обозначаться соответствующими предупредительными знаками);
- расположение рабочих мест и маршрутов передвижения обслуживающего персонала на расстояниях от источников ЭМП, обеспечивающих соблюдение ПДУ;
- ремонт оборудования, являющегося источником ЭМП следует производить (по возможности) вне зоны влияния ЭМП от других источников;
- соблюдение правил безопасной эксплуатации источников ЭМП

Инженерно-технические мероприятия подразумевают рациональное размещение электроустановок и применение экранирующих средств защиты.

Рациональное размещение оборудования, конструктивных элементов (опоры, порталы и т.п.) на открытых распределительных устройствах (ОРУ) решается на стадии проектирования электроустановок либо может быть реализовано при реконструкции подстанции в целом или ее отдельных частей. Выбор высоты подвеса токоведущих частей, шага расщепления фазных проводов, расстояния между фазными проводами выполняется исходя не только из условий обеспечения электрической прочности воздушного промежутка, но и обеспечения взаимной компенсации электрических полей разных фаз, а также снижения напряженности электрического поля в зоне нахождения персонала.

К *экранирующим средствам защиты*, применяемым при эксплуатации электроустановок сверхвысокого напряжения, относятся экранирующие навесы, козырьки, перегородки, переносные экранирующие устройства, экранирующие костюмы [13].

Прежде всего, отметим, что защитные свойства экранирующих устройств основаны на эффекте ослабления напряженности и искажении электрического поля в пространстве вблизи заземленного электрического предмета

Экранирующие навесы, являются одним из эффективных средств защиты персонала, занятого работой на ОРУ. Они выполняются в виде параллельных проводов, натянутых над проходами между высоковольтным оборудованием либо над пешеходными дорожками (рис. 1.3).

Навесы изготавливаются из стальных прутков либо из отрезков стального троса или провода диаметром 5...8 мм, которые натягивают параллельно друг другу при расстоянии между ними 10...20 см. Навесы целесообразно устанавливать на уровне 2,3...2,5 м над землей над проходами и участками ОРУ, с которых производят осмотр оборудования. При этом необходимо, чтобы расстояние от головы человека до навеса было не менее 30 см.

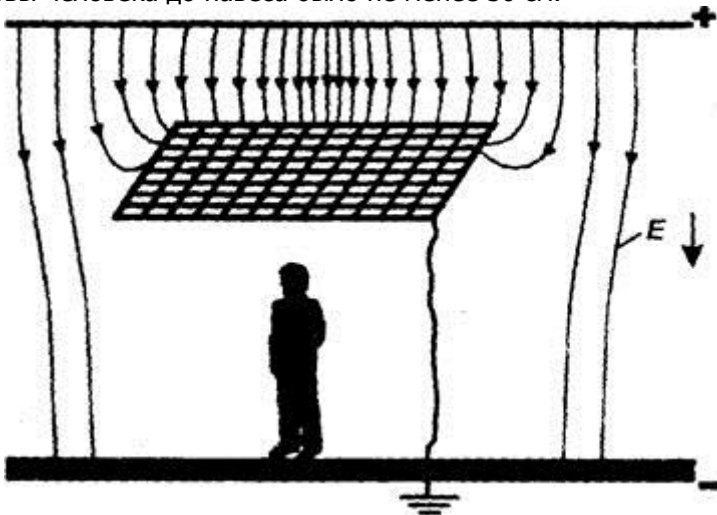


Рисунок 1.3 – Принцип действия экранирующего навеса

Ширина навеса должна быть не менее 1,5 м, а длина его зависит от размеров защищаемого участка. Экранирующие козырьки изготавливают из металлической сетки с ячейками не крупнее 50 x 50 мм, укрепляемой на раме из угловой стали. Устанавливают их над рабочими местами, с которых производятся работы по управлению и обслуживанию: у агрегатных шкафов и шкафов управления воздушных выключателей, приводов разъединителей и других устройств и аппаратов, требующих периодического обслуживания (рис. 1.4) [13].



Рисунок 1.4 – Экранирующий навес над проходом в здание

Ширина козырька должна быть не менее объекта обслуживания, а длина его выступающей части – не менее 1 м. Целесообразно устанавливать козырек на высоте 2,5 м над землей.

Экранирующие перегородки устанавливают вертикально и точно посередине между соседними ячейками воздушных выключателей. Они изготавливаются из металлической сетки или стальных прутков, смонтированных на стальной раме соответствующих размеров и крепятся на специальных опорах с оттяжками. При этом нижняя грань перегородки должна находиться над поверхностью земли на высоте 2...3 м, чтобы не мешать проходу людей и проезду машин. Длина и высота перегородки должны быть, по крайней мере, равны длине и высоте воздушного выключателя с учетом всех его токоведущих частей. Переносные экранирующие устройства (временные устройства) предназначены для защиты персонала, выполняющего в течение длительного времени какие-либо работы на участках действующей электроустановки, не защищенных стационарными экранами [13].

При пересечении воздушными линиями (ВЛ) 500 кВ транспортных путей на участке пересечения используется тросовое

экранирование. В этом случае для снижения электрического влияния ВЛ на переездах и в местах прохода людей могут быть использованы экранирующие заземленные тросы.

Конструктивно экраны целесообразно выполнять в виде расщепленных в горизонтальной плоскости проводов, подвешиваемых под каждой фазой ВЛ. Кроме того, путем подачи на экраны напряжения в противофазе с напряжением ВЛ можно ослабить электрическое влияние ВЛ более чем в 2 раза.

Для снижения напряженности вдоль линий электропередачи напряжением 500 кВ рекомендуются зеленые насаждения. Расчеты и исследования показывают, что наличие растительности высотой 2,5...4 м ограничивает напряженность поля под линиями переменного тока до уровней, обеспечивающих допустимые условия для людей и животных. Однако выбор типа насаждений необходимо решать со специалистами.

В качестве мер защиты от воздействия магнитного поля должны применяться стационарные или переносные магнитные экраны.

Рабочие места и маршруты передвижения персонала следует располагать на расстояниях от источников магнитного поля, при которых уровни магнитного поля не превышают предельно допустимых.

Зоны электроустановок с уровнями магнитных и электрических полей, превышающими предельно допустимые, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание персонала, должны ограждаться и обозначаться соответствующими предупредительными надписями или плакатами.

1.4 Переменное электромагнитное поле радиочастотного диапазона

Электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) возникают в широком диапазоне частот от 10^4 Гц до $3 \cdot 10^9$ Гц (0,01 МГц – 300 ГГц). Источниками ЭМИ РЧ являются: телевизионные и радиостанции, радиолокационная и радионавигационная аппаратура; системы сотовой, мобильной, радиорелейной и спутниковой связи, высоковольтные линии электропередач, оборудование индукционного нагрева, в т.ч. микроволновые печи; медицинское оборудование и пр. Фактически любое электротехническое устройство, в котором используется переменный ток высокой частоты является источником ЭМП РЧ [3].

Электромагнитное поле (ЭМП) диапазона радиочастот обладает рядом свойств, которые широко используются в отраслях экономики. Эти свойства (способность нагревать материалы, распространение в пространстве и отражение от границы раздела двух сред, взаимодействие с веществом) делают использование ЭМП диапазона радиочастот весьма полезным и перспективным в промышленности, науке, технике, медицине.

Источниками ЭМП этого вида являются приборы, применяемые в промышленности для индукционного нагрева металлов и полупроводников (в таких технологических процессах, как закалка и отпуск деталей, накатка твердых сплавов на режущий инструмент, плавка металлов и полупроводников, очистка полупроводников, выращивание полупроводниковых кристаллов и пленок), а также приборы диэлектрического нагрева, применяемые для сварки синтетических материалов, прессовки синтетических порошков. Свойства электромагнитных волн распространяться в пространстве и отражаться от границы раздела сред широко используют в таких областях, как радиосвязь, телевидение, радиолокация, дефектоскопия и других, поэтому телевизионные и радиолокационные станции, антенны радиосвязи являются также мощными источниками ЭМП диапазона радиочастот. Различают технологические и паразитные источники ЭМП. К последним относятся выносные согласующие трансформаторы, выносные батареи конденсаторов, фидерные линии, щели в обшивке установок.

В радиоаппаратуре всех диапазонов частот к технологическим источникам относятся антенны, петли связи, к паразитным – щели в обшивках генераторов, неплотности соединений тракт, различные отверстия и др.

Единицами ЭМП являются: частота f (Гц), напряженность электрического поля E (В/м), напряженность H (А/м), плотность потока энергии J (Вт/м²). В ЭМП существуют три зоны, которые различаются по расстоянию от источника ЭМП.

З о н а и н д у к ц и и имеет радиус, равный:

$$R = \lambda / 2 \pi \quad (1.4)$$

где λ – длина волны электромагнитного излучения. В этой зоне электромагнитная волна не сформирована и поэтому на человека действует независимо друг от друга напряженность электрического и магнитного полей.

З о н а и н т е р ф е р е н ц и и (промежуточная) имеет радиус, определяемый по формуле:

$$\lambda / 2 \text{ п} < R < 2 \text{ п}\lambda \quad (1.5)$$

В этой зоне одновременно воздействуют на человека напряженность электрического, магнитного поля, а также плотность потока энергии.

Д а л ь н я я з о н а характеризуется тем, что это зона сформировавшейся электромагнитной волны. В этой зоне на человека воздействуют только энергетическая составляющая ЭМП – плотность потока энергии. Если источник ЭМП имеет сверхвысокие частоты (СВЧ), то практически он создает вокруг себя зону энергетического воздействия – дальнюю зону, имеющую радиус:

$$R \geq 2 \text{ п}\lambda \quad (1.6)$$

Знание длин волн ЭМП, формируемых источником, дает возможность выбора приборов контроля электромагнитного излучения. Для низкочастотных источников ЭМП (НЧ, ВЧ, УВЧ-диапазоны) необходимо использовать приборы, измеряющие электрическую и магнитную составляющие ЭМП, для СВЧ-диапазона – приборы, позволяющие измерять плотность потока энергии ЭМП.

1.4.1 Действие переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона на организм человека

Воздействие ЭМП РЧ на организм человека зависит от длины волны, режима генерации, условий воздействия на организм, количества поглощенной организмом энергии излучения. Биологическая активность ЭМП РЧ снижается с увеличением длины волны (уменьшением частоты) излучения. Наиболее опасными являются метровый, санти- и дециметровый диапазоны радиоволн.

Воздействие ЭМП РЧ на человека проявляется в нарушениях нервной, эндокринной, сердечнососудистой систем. В частности, возможны значительные изменения кровяного давления, выпадение волос, ломкость ногтей и др. При длительном воздействии отмечаются случаи раннего атеросклероза, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, нервно-психические заболевания. Известны данные о влиянии ЭМП РЧ на иммунитет, скорость и характер течения химических и ферментативных реакций; биологическую активность организма, мутагенном и канцерогенном воздействии.

Кроме того, при достаточно высоком уровне ЭМП РЧ возникает тепловое воздействие, которое вызывает местный нагрев

участков тела, избирательное повышение температуры отдельных органов и тканей, что особенно опасно для органов со слабой терморегуляцией (головной мозг, глаза и пр.). Например, тепловое воздействие ЭМП сантиметрового диапазона приводит к появлению катаракты [3].

Биологическое действие ЭМП радиочастот характеризуется тепловым действием и нетепловым эффектом. Под тепловым действием подразумевается интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении. Нетепловой эффект связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии (молекулярное резонансное истощение, фотохимическая реакция и др.). Чем меньше энергия электромагнитного излучения, тем выше тепловой эффект, который он производит.

По своим биофизическим свойствам ткани организма неоднородны, поэтому может возникнуть неравномерный нагрев на границе раздела с высоким и низким содержанием воды, что определяет высокий и низкий коэффициент поглощения энергии. Это может привести к образованию стоячих волн и локальному перегреву ткани, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик, желчный пузырь, кишечник, семенники).

Влияние ЭМП на организм зависит от таких физических параметров как длина волны, интенсивность излучения, режим облучения – непрерывный и прерывистый, а также от продолжительности воздействия на организм, комбинированного действия с другими производственными факторами (повышенная температура воздуха, наличие рентгеновского излучения, шума и др.), которые способны изменять сопротивляемость организма на действие ЭМП. Наиболее биологически активен диапазон СВЧ, менее активен УВЧ и затем диапазон ВЧ (длинные и средние волны), т.е. с укорочением длины волны биологическая активность почти всегда возрастает. Комбинированное действие ЭМП с другими факторами производственной среды – повышенная температура (свыше 28 °С), наличие мягкого рентгеновского излучения – вызывает некоторое усиление действия ЭМП, что было учтено при гигиеническом нормировании СВЧ-поля.

1.4.2 Нормирование переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона

Оценка воздействия ЭМИ РЧ на человека согласно СанПин 2.2.4.1191-03 [10] осуществляется по следующим параметрам:

Вредные факторы производственной среды

По энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью ЭМИ РЧ и временем его воздействия на человека. Оценка по энергетической экспозиции применяется для лиц, работа или обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ (кроме лиц, не достигших 18 лет, и женщин в состоянии беременности) при условии прохождения этими лицами в установленном порядке предварительных и периодических медицинских осмотров по данному фактору и получения положительного заключения по результатам медицинского осмотра.

По значениям интенсивности ЭМИ РЧ; такая оценка применяется для лиц, работа или обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ, для лиц, не проходящих предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров по данному фактору или при наличии отрицательного заключения по результатам медицинского осмотра; для работающих или учащихся лиц, не достигших 18 лет, для женщин в состоянии беременности; для лиц, находящихся в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, подвергающихся воздействию внешнего ЭМИ РЧ (кроме зданий и помещений передающих радиотехнических объектов); для лиц, находящихся на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

Нормирование ЭМП РЧ осуществляется разными способами для разных диапазонов частот.

В диапазоне 0,01 – 0,03 МГц нормирование ЭМП РЧ осуществляется отдельно по напряженности электрического E в В/м и магнитного H в А/м, полей в зависимости от времени воздействия. В течение смены ПДУ электрического поля составляет 500 В/м, магнитного поля – 50 А/м; при продолжительности воздействия не более 2 часов за смену ПДУ электрического поля составляет 1000 В/м, магнитного поля – 100 А/м.

В диапазоне 0,03 МГц – 300 ГГц нормирование ЭМП РЧ осуществляется также отдельно по энергетической экспозиции электрического $\mathcal{E}\mathcal{E}_E$ в $(В/м)^2 \cdot ч$ и магнитного $\mathcal{E}\mathcal{E}_H$ в $(В/м)^2 \cdot ч$, полей, либо по плотности потока энергии $\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}$, Вт/м² в зависимости от времени воздействия T за смену по следующим формулам:

– в диапазоне частот ≥ 30 кГц – 300 МГц:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 \cdot T, (В/м)^2 \cdot ч, \quad (1.7)$$

Вредные факторы производственной среды

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_H = H^2 \cdot T, (A/m)^2 \cdot ч, \quad (1.8)$$

– в диапазоне частот ≥ 300 МГц – 300 ГГц:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ} = ППЭ \cdot T, (Вт/м^2) \cdot ч, \quad (1.9)$$

ПДУ энергетических экспозиций ($\mathcal{E}\mathcal{E}_{ПДУ}$) на рабочих местах за смену представлены в табл.1.3.

Таблица 1.3 – ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	ЭЭ _{ПДУ} в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03 - 3,0$	$\geq 3,0 - 30,0$	$\geq 30,0 - 50,0$	$\geq 50,0 - 300,0$	$\geq 300,0 - 300000,0$
ЭЭ _Е , (В/м) ² ·ч	20000	7000	800	800	-
ЭЭ _Н , (А/м) ² ·ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ _{ППЭ} , (мкВт/см ²)·ч	-	-	-	-	200

Максимальные допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии ЭМП не должны превышать значений, представленных в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03 - 3,0$	$\geq 3,0 - 30,0$	$\geq 30,0 - 50,0$	$\geq 50,0 - 300,0$	$\geq 300,0 - 300000,0$
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1000

1.4.3 Контроль интенсивности переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона

Контроль уровня ЭМИ. Контроль должен осуществляться на рабочих местах персонала, обслуживающего производственные

Вредные факторы производственной среды

установки, генерирующее, передающее и излучающее оборудование радио- и телевизионных центров, радиолокационных станций, физиотерапевтические аппараты и пр.

Не подлежат контролю используемые в условиях производства источники ЭМП, если они не работают на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения в пространство и их максимальная мощность, согласно паспортным данным, не превышает:

- 5,0 Вт – в диапазоне частот ≥ 30 кГц ... 3 МГц;
- 2,0 Вт – в диапазоне частот ≥ 3 МГц ... 30 МГц;
- 0,2 Вт – в диапазоне частот ≥ 30 МГц ... 300 ГГц.

Контроль уровня ЭМИ РЧ в производственных условиях проводится:

- при проектировании, приемке в эксплуатацию, изменении конструкции источников ЭМИ РЧ и технологического оборудования, их включающего;
- при организации новых рабочих мест;
- при аттестации рабочих мест;
- в порядке текущего надзора за действующими источниками ЭМИ РЧ (1 раз в 3 года).

Контроль уровней ЭМИ РЧ может осуществляться путем использования расчетных методов и/или проведения измерений на рабочих местах.

На стадии проектирования допускается определение уровней электромагнитного поля радиочастотного диапазона расчетным методом. Расчет должен выполняться в соответствии с утвержденными методическими указаниями и с учетом следующих технических параметров радиопередающих устройств:

- мощности передатчика;
- режима излучения;
- коэффициента усиления антенны;
- величины потерь энергии в антенно-фидерном тракте;
- значений нормированной диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях (кроме антенн НЧ, СЧ и ВЧ диапазонов);
- сектора обзора антенны;
- высоты антенны над поверхностью земли и т.д.

Для действующих объектов контроль ЭМИ РЧ осуществляется преимущественно посредством инструментальных измерений.

Измерения уровней ЭМИ РЧ должны проводиться для всех рабочих режимов установок при максимальной используемой мощности и после выведения работника из зоны контроля.

Вредные факторы производственной среды

Измерения проводят в зависимости от рабочей позы на высоте: 0,5; 1,0 и 1,7 м от опорной поверхности при выполнении работ стоя и 0,5; 0,8 и 1,4 м при выполнении работ сидя. Во время измерений фиксируются максимальные значения E и H или ППЭ для каждого рабочего места.

В случае, если имеет место локальное облучение рук работников, контроль интенсивности ЭМИ РЧ следует дополнительно проводить на уровне кистей и середины предплечья.

Контроль интенсивности ЭМИ РЧ создаваемых вращающимися или сканирующими антеннами осуществляется на рабочих местах и местах временного пребывания персонала при всех рабочих значениях угла наклона антенн.

Для оценки уровней ЭМИ РЧ используют приборы направленного приема (однокоординатные) и приборы ненаправленного приема, оснащенные изотропными (трехкоординатными) датчиками. Приборы, используемые для контроля, должны пройти государственную аттестацию и иметь свидетельство о поверке.

Для измерения интенсивности ЭМИ РЧ в диапазоне частот до 300 МГц используют приборы, предназначенные для определения среднеквадратического значения напряженности электрического и/или магнитного полей с допустимой относительной погрешностью не более $\pm 30\%$.

Для измерений уровней ЭМИ РЧ в диапазоне частот ≥ 300 МГц ... 300 ГГц используют приборы, предназначенные для оценки средних значений плотности потока энергии с допустимой относительной погрешностью не более $\pm 40\%$ в диапазоне ≥ 300 МГц ... 2 ГГц и не более $\pm 30\%$ в диапазоне свыше 2 ГГц.

Не допускается проводить измерения при наличии атмосферных осадков, а также при температуре и влажности воздуха, выходящих за предельные рабочие параметры средств измерений.

Результаты измерений следует оформлять в виде протокола и/или карты распределения уровней электрических, магнитных или электромагнитных полей, совмещенной с планом размещения оборудования или помещения, где производились измерения.

Измерения интенсивности ЭМИ РЧ в помещениях жилых и общественных зданий (внешнее излучение, включая вторичное) проводят в центре помещений, у окон, у батарей отопления и других коммуникаций, а в случае необходимости и в других точках.

1.4.4 Защита от воздействия

Защита населения. Для защиты населения от воздействия ЭМИ РЧ, создаваемых передающими радиотехническими объектами (радиолокационными, радиопередающими, телевизионными станциями, земными станциями спутниковой связи и другими объектами), устанавливаются санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки.

Санитарно-защитной зоной является площадь, примыкающая к технической территории передающего объекта, внешняя граница которой определяется на высоте 2 м от поверхности земли по ПДУ ЭМП.

Зоной ограничения является территория, где на высоте более 2 м от поверхности земли интенсивность ЭМИ превышает ПДУ. Внешняя граница этой зоны определяется по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на высоте верхнего этажа которых интенсивность ЭМИ не превышает ПДУ.

Обе указанные выше зоны определяют расчетным путем и уточняют путем измерений интенсивности ЭМИ. Обязанность проведения расчетов и измерений лежит на владельце радиотехнического объекта.

В санитарно-защитной зоне и зоне ограничений запрещается строительство жилых зданий всех видов, стационарных лечебно-профилактических и санаторно-курортных учреждений, детских дошкольных учреждений, средних учебных заведений всех видов, интернатов всех видов и других зданий, предназначенных для круглосуточного пребывания людей.

Для защиты общественных и производственных зданий в случае необходимости может быть предусмотрено выполнение ограждающих конструкций и кровли из материалов с высокими радиоэкранирующими свойствами (железобетон и др.) или покрытие ограждающих конструкций заземленной металлической сеткой.

Помимо прямого излучения, опасность может представлять вторичное электромагнитное излучение, переизлучаемое элементами конструкции здания, коммуникациями, внутренней проводкой и т.д. Для защиты от него в случае необходимости батареи отопления и другие элементы коммуникаций и сетей следует закрывать диэлектрическими (деревянными и т.п.) коробами, препятствующими непосредственному доступу к этим элементам. Необходимое расстояние между элементом коммуникаций и сетей и коробом определяется путем измерений интенсивности ЭМИ.

Каждый передающий радиотехнический объект должен иметь санитарный паспорт. Санитарный паспорт составляется администрацией радиотехнического объекта (его владельцем), подписывается руководителем (владельцем) объекта и согласовывается с руководителем специализированного подразделения надзора за источниками неионизирующих излучений соответствующего учреждения государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Защита персонала. Защита персонала от воздействия ЭМП радиочастотного диапазона осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических, лечебно-профилактических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМИ РЧ (защита расстоянием и временем) и т.п.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне. Она применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения до допустимых значений. В диапазоне частот от 30 кГц до 300 МГц допустимое время пребывания определяют по формулам:

$$T = \sqrt{\frac{\Xi \Xi_{\text{ЕПД}}}{E^2}}, \text{ ч}; \quad (1.10)$$

$$T = \sqrt{\frac{\Xi \Xi_{\text{НПД}}}{H^2}}, \text{ ч}. \quad (1.11)$$

В диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц по формуле

$$T = \frac{\Xi \Xi_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}}{\text{ППЭ}}. \quad (1.12)$$

Предельно допустимое время работы вносится в инструкции по технике безопасности и в технологические документы, а на источниках ЭМИ РЧ или в непосредственной близости от них размещаются соответствующие предупреждения. Сокращение продол-

жительности воздействия должно быть подтверждено технологическими, распорядительными документами и/или результатами хронометража.

Защита расстоянием предполагает увеличение расстояний между излучателем и персоналом. Расстояние, соответствующее предельно допустимой интенсивности облучения, определяется расчетом и проверяется инструментально. На дверях помещений, где имеет место повышенный уровень электромагнитного излучения, а также на приборах и др. размещают знак «Внимание! Электромагнитное поле» (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Знак «Внимание! Электромагнитное поле»

Инженерно-технические мероприятия предусматривают уменьшение мощности излучения в самом источнике, экранирование источников излучения, экранирование рабочих мест, обозначение и ограждение зон.

Уменьшение мощности излучения в самом источнике излучения достигается применением специальных устройств: поглотителей мощности, эквивалентов антенн, аттенюаторов, направленных ответвителей, бронзовых прокладок между фланцами, дроссельных фланцев и др.

Экранирование источников излучения используют для снижения интенсивности ЭМИ РЧ на рабочем месте или ограждения опасных зон излучений. Экраны изготавливают в виде замкнутых камер, шкафов или кожухов (рис. 1.6).

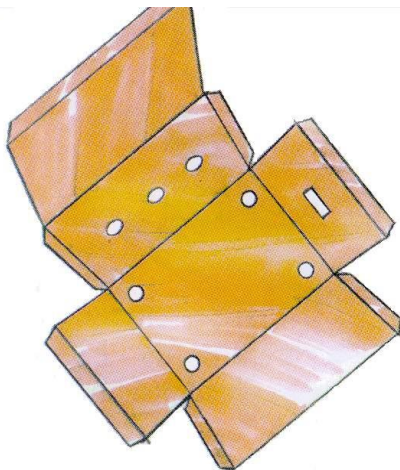


Рисунок 1.6. – Экран, выполненный в виде замкнутой камеры (развертка)

Обычно в качестве материала экрана применяют металлические листы, которые обеспечивают быстрое затухание поля в материале. Однако во многих случаях экономически выгодно вместо металлического экрана использовать проволочные сетки, фольговые и радиопоглощающие материалы, сотовые решетки. Эффективность экранирования электромагнитного поля при использовании проволочных сеток зависит от диаметра провода и шага сетки.

В перечень фольговых материалов толщиной 0,01...0,5 мм входят в основном диамагнитные материалы: алюминий, латунь, цинк.

Радиопоглощающие материалы изготовляют в виде эластичных и жестких пенопластов, тонких листов, рыхлой сыпучей массы или заливочных компаундов, специальных красок.

Для придания материалу поглощающих свойств в него вводят проводящие добавки: сажу, активированный уголь, карбонильное железо. Проводящие включения создают потери (наведенные вихревые токи превращаются в тепловую энергию).

Основой поглощающих материалов являются каучук, поролон, пенополистирол, краски и другие синтетические материалы.

Уменьшение коэффициентов отражения поглощающих материалов достигается в основном двумя путями. В первом случае материалу придается структура или форма, увеличивающая его активную переднюю поверхность, обращенную к излучению, например, материал делается волокнистым или со сложной, покрытой

Вредные факторы производственной среды

пирамидами или конусами поверхностью. При такой поверхности волна многократно отражается от неровностей, и общая энергия, прошедшая в материал, оказывается значительно больше, чем при однократном падении на гладкую ровную поверхность. Выполненные по этому способу материалы являются широкополосными, но они чувствительны к действию эрозии, воды, пыли и т.д., хотя и обладают малой плотностью. Их толщина находится в пропорции с длиной волны.

Другой метод создания поглощающих материалов – использование принципа четвертьволнового согласования. Поглощающий материал толщиной в $1/4$ длины волны наклеивают на металлический лист или сетку. Если такой материал поставить на пути излучения, то электромагнитная волна частично отразится от него, частично же пройдет в него, в определенной степени поглотится в материале, отразится от металлической подложки, снова частично поглотится, достигнет передней поверхности, частично отразится обратно в материал и частично выйдет в воздух. В результате волна, вышедшая из материала, изменит свою фазу на 180° по сравнению с волной, отраженной от передней поверхности поглощающего материала, что сопровождается интерференцией волн. Соответствующим сочетанием коэффициента отражения от передней поверхности с коэффициентом поглощения материала добиваются минимального отражения волн от такого материала. Недостаток этих материалов состоит в том, что они эффективны только на конкретных частотах. Материалы, изготовленные по второму методу, называются четвертьволновыми или интерференционными. Обычно радиопоглощающие материалы отражают примерно 1% падающей на них энергии, в некоторых случаях отражение может быть снижено до 0,01...0,001%. Поглощающая способность зависит от свойств материала: для радиопоглощающих материалов на основе каучука, поролона и т.п. она составляет 0,155...0,465 Вт/см², на полиуретановой основе достигает 1,3 Вт/см², а пенокерамических материалов – 7,75 Вт/см².

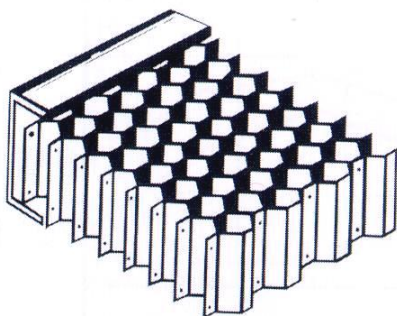
В табл. 1.5 приведены характеристики некоторых радиопоглощающих материалов. В последнее время все большее распространение получают керамико-металлические композиции.

Таблица 1.5 – Основные характеристики радиопоглощающих материалов

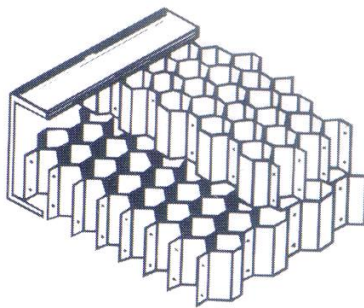
Марка поглотителя и материал, лежащий в его основе	Диапазон рабочих волн, см	Отражающая мощность, %	Масса 1 м ² материала, кг
--	---------------------------	------------------------	--------------------------------------

СВЧ-068, феррит	15...200	3	18...20
«Луч», древесное волокно	15...150	1...3	—
В2Ф2, резина	0,8...4	2	4...5
В2Ф2; ВКФ1	0,8...4	4	4...5
«Болото», поролон	0,8...100		—

Экраны в виде сотовых решеток применяют для экранирования вентиляционных отверстий в экранирующих кожухах аппаратуры (рис. 1.7, а) вплоть до сантиметрового диапазона излучения. Эффективность сотовых решеток зависит от отношения глубины к ширине ячейки. Если требуется особенно высокая эффективность экранирования, рекомендуется применять сотовые решетки с пересекающимися ячейками. Такие решетки получают наложением друг на друга тонких решеток в одном экране (рис. 1.7, б). Достоинствами сотовых решеток являются небольшой вес, высокие экранирующие свойства, низкое сопротивление воздушному потоку и др.



а)



б)

Рисунок 1.7 – Экраны в виде сотовых решеток:

(а) – с обычными, (б) с пересекающимися ячейками

Для экранирования неплотностей корпуса, дверец и крышек в кожухах источников излучения используют мягкие экранирующие материалы, верхний слой которых состоит из металлизированной ткани, а внутренним наполнителем является мягкий пористый материал, например, поролон (рис. 1.8).

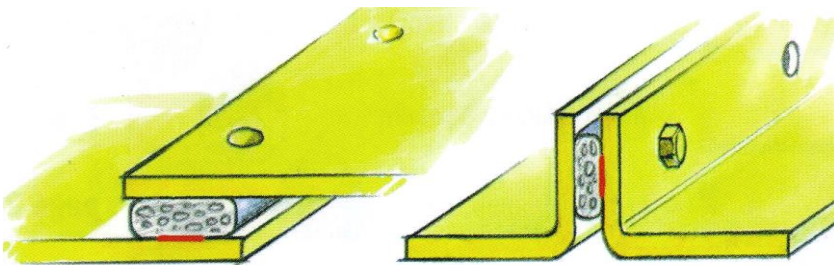


Рисунок 1.8 – Экранирование неплотностей корпуса аппаратуры

Экранирование рабочего места применяется в случае, когда невозможно осуществить экранирование аппаратуры. Оно достигается с помощью сооружения кабин либо ширм с покрытием из поглощающих материалов. В качестве экранирующего материала для окон, приборных панелей применяется стекло, покрытое полупроводниковым двуоксидом олова.

Средствами индивидуальной защиты (СИЗ) следует пользоваться в тех случаях, когда применение других способов предотвращения воздействия ЭМИ РЧ невозможно. В качестве СИЗ применяют халат, комбинезон, капюшон, защитные очки. Материал, из которого изготавливают СИЗ, представляет собой специальную ткань, которую получают, либо вводя в состав ткани тонкие металлические нити, образующие сетку, либо методом химической металлизации (из растворов) суровых тканей различной структуры и плотности.

Для защиты органов зрения применяют сетчатые очки, имеющие конструкцию полумасок из медной или латунной сетки и очки ОР305 (очки радиозащитные) со специальным стеклом с токопроводящим слоем двуоксида олова.

1.5 Лазерное излучение

Это излучение формируется в оптических квантовых генераторах (лазерах) и представляет собой оптическое когерентное излучение, характеризующееся высокой направленностью и большой плотностью энергии.

Лазерное излучение. Лазер, или оптический квантовый генератор, — это генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного (стимулированного) излучения.

Главный элемент лазера, где формируется излучение, — активная среда, для образования которой используют: воздействие света нелазерных источников, электрический разряд в газах, химические реакции, бомбардировку электрическим пучком и другие методы "накачки". Активная среда (элемент), расположена между зеркалами, образующими оптический резонатор.

В зависимости от характера активной среды лазеры подразделяются на твердотельные (на кристаллах или стеклах), газовые, лазеры на красителях, химические, полупроводниковые и др. Существуют лазеры непрерывного и импульсного действия. Классификация лазеров представлена в Приложении 1 [9]. По степени опасности лазерного излучения для обслуживающего персонала лазеры подразделяются на четыре класса:

- класс I (безопасные) — выходное излучение не опасно для глаз;
- класс II (малоопасные) — опасно для глаз прямое или зеркально отраженное излучение;
- класс III (среднеопасные) — опасно для глаз прямое, зеркально, а также диффузно отраженное излучение на расстоянии 10 см от отражающей поверхности и (или) для кожи прямое или зеркально отраженное излучение;
- класс IV (высокоопасные) — опасно для кожи диффузно отраженное излучение на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

Классификация определяет специфику воздействия излучения на орган зрения и кожу. В качестве ведущих критериев при оценке степени опасности генерируемого лазерного излучения приняты величина мощности (энергии), длина волны, длительность импульса и экспозиции облучения.

Лазеры широко применяются в различных областях промышленности, науки, техники, связи, сельском хозяйстве, медицине, биологии и др. Лазеры получили широкое применение в научных

исследованиях (физика, химия, биология и др.), в практической медицине (хирургия, офтальмология и др.), а также в технике (связи, локации, измерительная техника, география), при исследовании внутренней структуры вещества, разделении протонов, термоядерном синтезе, термообработке, сварке, резке, при изготовлении отверстий малого диаметра – микроотверстий и др. Области применения лазера определяются энергией используемого лазерного излучения (рис. 1.9) [9].

Работа с лазерами в зависимости от конструкции, мощности и условий эксплуатации может сопровождаться воздействием на персонал неблагоприятных производственных факторов, которые разделяют на основные и сопутствующие. К основным факторам относятся прямое, зеркально и диффузно отраженное и рассеянное излучения. Степень выраженности их определяется особенностями технологического процесса.

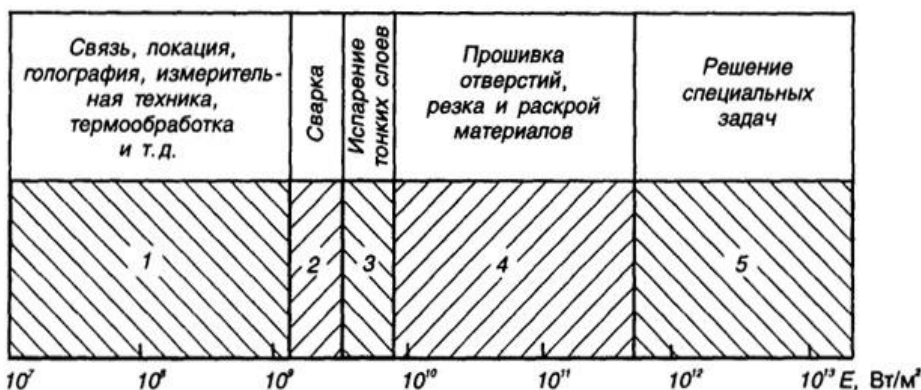


Рисунок 1.9 – Области применения лазеров в зависимости от требуемой мощности лазерного излучения

1.5.1 Действие лазерного излучения на организм человека

К сопутствующим относится комплекс физических и химических факторов, возникающих при работе лазеров, которые имеют гигиеническое значение и могут усиливать неблагоприятное действие излучения на организм, а в ряде случаев имеют самостоятельное значение. Поэтому при оценке условий труда персонала учитывают весь комплекс факторов производственной среды.

Вредные факторы производственной среды

Действие лазеров на организм зависит от параметров излучения (мощности и энергии излучения на единицу облучаемой поверхности, длины волны, длительности импульса, частоты следования импульсов, времени облучения, площади облучаемой поверхности), локализации воздействия и анатомо-физиологических особенностей облучаемых объектов.

Действие лазерных излучений наряду с морфофункциональными изменениями тканей непосредственно в месте облучения вызывает разнообразные функциональные изменения в организме: в центральной нервной, сердечнососудистой, эндокринной системах, которые могут приводить к нарушению здоровья. Биологический эффект воздействия лазерного излучения усиливается при неоднократных воздействиях и при комбинациях с другими неблагоприятными производственными факторами.

Величина генерируемого лазером электромагнитного излучения составляет: в области рентгеновского диапазона $3 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-7}$ мкм, ультрафиолетового 0,2...0,4 мкм, видимого света 0,4...0,75 мкм, ближнего инфракрасного 0,75...1,4 мкм, инфракрасного 1,4... 10^2 мкм, субмиллиметрового $10^2 \dots 10^3$ мкм.

Биологическое действие лазерного излучения зависит от энергии излучения E , энергии импульса $E_{\text{и}}$, плотности мощности (энергии) W_p (W_e), времени облучения t , длины волны λ , длительности импульса τ , частоты повторения импульсов f потока излучения Φ , поверхностной плотности излучения E_s , интенсивности излучения I . Основные энергетические характеристики лазерного излучения приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Энергетические характеристики излучения

Характеризуемый объект	Показатель	Обозначение	Единица измерения
Пучок лазерного излучения	Энергия лазерного излучения	E	Дж
	Энергия импульса лазерного излучения	$E_{\text{и}}$	Дж
	Мощность лазерного излучения	P	Вт
	Плотность (мощности) энергии лазерного излучения	W_e, W_p	Дж/см ² (Вт/см ²)
Поле излучения	Поток излучения	Φ, F, P	Вт
	Поверхностная плотность потока излучения	E_s	Вт/м ²
	Интенсивность излучения	I, S	Вт/м ²
Источник излучения	Излучательная способность	R_s	Вт/м ²
	Энергетическая сила излучения	I_s	Вт/ср
	Энергетическая яркость	L_e	Вт/м ² · ср
Приемник излучения	Облученность (энергетическая освещенность)	E_e	Вт/м ²
	Энергетическое количество освещения	H_e	Дж/м ²

Под воздействием лазерного излучения нарушается жизнедеятельность как отдельных органов, так и организма в целом. В настоящее время установлено специфическое действие лазерных излучений на биологические объекты, отличающееся от действия других вредных и (или) опасных производственных физических. При воздействии лазерного излучения на сплошную биологическую структуру (например, на организм человека) различают три стадии: физическую, физико-химическую и химическую.

Вредные факторы производственной среды

На первой стадии (физической) происходят элементарные взаимодействия излучения с веществом, характер которых зависит от анатомических, оптико-физических и функциональных особенностей ткани, а также от энергетических и пространственных характеристик излучения и, прежде всего, от длины волны и интенсивности излучения. На этой стадии происходит нагревание вещества, преобразование энергии электромагнитного излучения в механические колебания, ионизация атомов и молекул, возбуждение и переход электронов с валентных уровней в зону проводимости, рекомбинация возбужденных атомов и др. При воздействии непрерывного лазерного излучения преобладает в основном тепловой механизм действия, в результате которого происходит свертывание белка, а при больших мощностях – испарение биоткани. При импульсном режиме (с длительностью импульсов меньше 10^{-2} с) механизм взаимодействия становится более сплошным и приводит к преобразованию излучения в энергию механических колебаний среды, в частности ударной волны. При мощности излучения свыше 10^7 Вт и высокой степени фокусировки лазерного луча возможно возникновение ионизирующих излучений.

На второй стадии (физико-химической) из ионов и возбужденных молекул образуются свободные радикалы, обладающие высокой способностью к химическим реакциям.

На третьей стадии (химической) свободные радикалы реагируют с молекулами веществ, входящих в состав живой ткани, и при этом возникают те молекулярные повреждения, которые в дальнейшем определяют общую картину воздействия лазерного излучения на облучаемую ткань и организм в целом. Основные факторы, определяющие биологическое действие лазерного излучения, представлены на рисунке 1.10.

Лазерное излучение представляет опасность главным образом для тканей, которые непосредственно поглощают излучение, поэтому с позиций потенциальной опасности воздействия и возможности защиты от лазерного излучения рассматривают в основном глаза и кожу.

Известна высокая чувствительность роговицы и хрусталика глаза при воздействии электромагнитных излучений. Способность оптической системы глаза на несколько порядков увеличивать плотность энергии видимого и ближнего инфракрасного диапазона на глазном дне по отношению к роговице, наиболее чувствительны к воздействию лазерного излучения.

Вредные факторы производственной среды

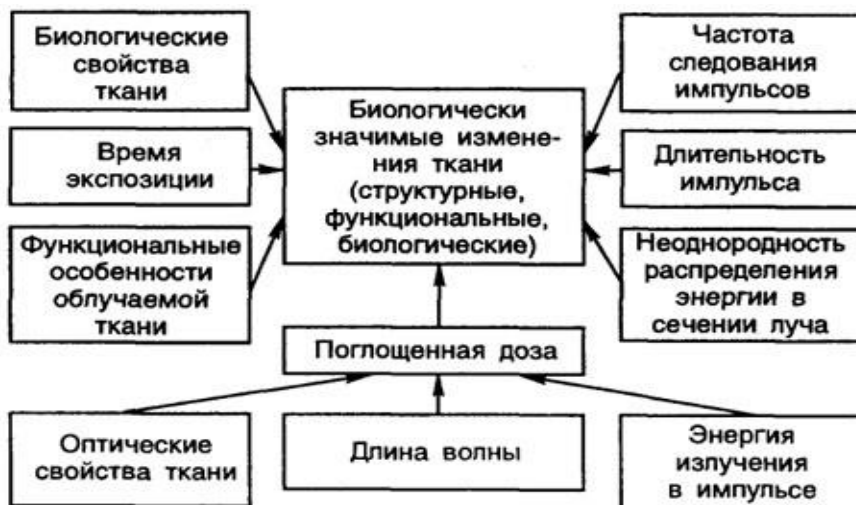


Рисунок 1.10 – Факторы, определяющие биологические изменения при лазерном облучении

Длительное действие лазерного излучения видимого диапазона на сетчатку глаза (ненамного меньше порога ожога) может вызвать необратимые изменения в ней, а в диапазоне ближнего инфракрасного излучения может привести к помутнению хрусталика глаза. Клетки сетчатки, как и клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются.

Действие лазерного излучения на кожу в зависимости от первоначальной поглощенной энергии приводит к различным поражениям: от легкой эритемы (покраснения) до поверхностного обугливания и, в конечном итоге, образования глубоких дефектов кожи.

1.5.2 Нормирование интенсивности лазерного излучения

Предельно допустимые уровни лазерного излучения регламентированы Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров СН 5804-91, которые позволяют разрабатывать мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при работе с лазерами. Санитарные нормы и правила позволяют определять величины ПДУ для каждого режима работы, участка оптического диапазона по специальным формулам и таблицам. Нормируется и энергетическая экспозиция облучаемых тканей [15].

Предельно-допустимыми уровнями (ПДУ) облучения приняты энергетические экспозиции. Для ПДУ непрерывного лазерного излучения выбирают энергетическую экспозицию наименьшей величины, не вызывающей первичных и вторичных биологических эффектов (с учетом длины волны и длительности воздействия). Для импульсно-периодического излучения ПДУ облучения рассчитывают с учетом частоты повторения и воздействия серии импульсов.

1.5.3 Контроль уровня лазерного излучения

Предупреждение поражений лазерным излучением включает систему мер инженерно-технического, планировочного, организационного, санитарно-гигиенического характера. При использовании лазеров II—III классов для исключения облучения персонала необходимо либо ограждение лазерной зоны, либо экранирование пучка излучения. Лазеры IV класса опасности размещают в отдельных изолированных помещениях и обеспечивают дистанционным управлением. В таблице 1.7 приведены опасные и вредные производственные факторы, подлежащие контролю в зависимости от класса лазерных установок.

Вредные факторы производственной среды

Таблица 1.7 – Контролируемые опасные и вредные производственные факторы

Опасные и вредные производственные факторы	Класс лазеров				
	0	I	II	III	IV
Повышенное электрическое напряжение	- (+)	+	+	+	+
Микроклимат	+	+	+	+	+
Прямое лазерное излучение	-	+	+	+	+
Зеркальное отраженное лазерное излучение	-	+	+	+	+
Диффузно отраженное лазерное излучение	-	-	- (+)	+	+
Излучение оптического диапазона спектра	-	-	+	+	+
Шум, вибрация	-	-	- (+)	+	+
Аэрозоли	-	-	-	+	+
Газы	-	-	-	+	+
Электромагнитное излучение (ВЧ, СВЧ)	-	-	-	- (+)	- (+)
Ионизирующее излучение	-	-	-	-	+

Помимо лазерного излучения, возникают также и другие виды опасностей, связанных с эксплуатацией лазеров. Это – вредные химические вещества, шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др. По степени опасности лазерного излучения лазеры подразделяются на следующие классы: 0 – безопасные (выходное излучение не представляет опасности для биологической ткани при остром и хроническом воздействии); I – малоопасные (воздействия прямого и зеркально отраженного излучения только на глаза); II – средней опасности (воздействия на глаза прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения, а также прямого и зеркально отраженного излучения на кожу); III – опасные (воздействия на глаза, кожу прямого, зеркально и диффузно

Вредные факторы производственной среды

отраженного излучения; работа лазеров сопровождается возникновением других опасностей и вредных производственных факторов); IV – высокой опасности (опасности, характерные для лазеров I – III классов, а также ионизирующее излучение с уровнем, превышающим установленные допустимые пределы).

Классификацию лазеров по степени опасности осуществляют на основе временных, энергетических и геометрических (точечный или протяженный источник) характеристик источника излучения и предельно допустимых уровней лазерного излучения.

Дозиметрический контроль ЛИ заключается в оценке тех характеристик ЛИ, которые определяют его способность вызывать биологические эффекты.

Различают две формы дозиметрического контроля:

- предупредительный (оперативный);
- индивидуальный.

Предупредительный дозиметрический контроль заключается в определении максимальных уровней энергетических параметров ЛИ в точках на границе рабочей зоны. Его проводят при работе лазера в режиме максимальной отдачи мощности, определенной в паспорте изделия и конкретными условиями эксплуатации, не реже одного раза в год в порядке текущего санитарного надзора, а также:

- при приемке в эксплуатацию новых лазерных изделий II – IV классов;
- при внесении изменений в конструкцию действующих лазерных изделий;
- при изменении конструкции средств коллективной защиты;
- при проведении экспериментальных и наладочных работ;
- при аттестации рабочих мест;
- при организации новых рабочих мест.

Индивидуальный дозиметрический контроль заключается в измерении уровней энергетических параметров излучения, воздействующего на глаза (кожу) конкретного работника в течение рабочего дня. Проводится при работе на открытых лазерных установках (экспериментальные стенды), а также в тех случаях, когда не исключено случайное воздействие лазерного излучения на глаза и кожу.

Контроль энергетических параметров ЛИ проводится специально назначенным лицом из числа инженерно-технических работников, прошедших специальное обучение.

Методы проведения различных форм дозиметрического контроля ЛИ определены в ГОСТ Р ИСО 11554-2008. Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы испытаний лазеров и измерений мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка [16].

Аппаратура, применяемая для измерений, должна быть аттестована органами Госстандарта России и проходить государственную поверку в установленном порядке. Дозиметры ЛИ должны соответствовать требованиям нормативных документов.

1.5.4 Средства защиты от лазерного излучения

Действующие лазерные установки рекомендуется размещать в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. Лазеры IV класса в обязательном порядке размещаются только в отдельных помещениях. Внутренняя поверхность помещения, а также предметы, находящиеся в этом помещении (за исключением используемых в работе элементов оптических систем), не должны иметь поверхностей с коэффициентом отражения больше 0,4; стены, потолок, пол помещения и предметы, находящиеся в помещении, должны иметь матовую поверхность, обеспечивающую минимальное отражение.

Средства защиты от ЛИ подразделяются на коллективные и индивидуальные.

Выбор средства защиты в каждом конкретном случае осуществляется с учетом требований безопасности для данного технологического процесса.

Коллективные средства лазерной безопасности

Средства коллективной защиты (СКЗ) должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.9.040-83*(2001) ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения. и ГОСТ 12.2.049-80*(2001). ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования [17]. Они включают в себя защитные экраны (или кожухи), препятствующие попаданию ЛИ на рабочие места; системы блокировок и сигнализации, предотвращающие доступ персонала во время работы лазерных установок (ЛУ) в пределы лазерноопасной зоны.

В целях обеспечения безопасности пульт управления ЛУ (или всей лазерной техники) размещается в отдельном помещении с телевизионной или другой системой настройки, контроля и наблюдения за ходом процесса, применяются роботизированные комплексы, а также защита расстоянием (пребывание вне лазерноопасной зоны).

Вредные факторы производственной среды

При использовании лазерных установок открытого типа (в том числе в полевых, цеховых и других условиях) для предотвращения облучения персонала должны использоваться: ограждение (маркировка) лазерноопасной зоны, экранирование открытого луча лазера, вынесение пульта управления открытого луча лазера, вынесение пульта управления из лазерноопасной зоны.

Экраны должны поглощать ЛИ и при этом быть прозрачными на всем видимом диапазоне длины волн или его части (частично прозрачные экраны). Они изготавливаются из специальных стекол или органического стекла с соответствующей спектральной характеристикой. Оптическая плотность такого экрана на длине волны излучения должна быть достаточной для ослабления интенсивности облучения на рабочем месте оператора до величины, не превышающей ПДУ.

Если энергия ЛИ настолько велика, что может разрушить частично прозрачный экран, то необходимо принять меры, исключающие возможность прямого попадания луча на такой экран.

Для снижения уровня отраженного ЛИ линзы, призмы и другие твердые с зеркальной поверхностью предметы на пути луча должны снабжаться блендами, а облучаемый объект – защитными экранами-диафрагмами с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр луча (рис. 1.11). В этом случае через отверстие проходит только прямое излучение, отраженные лучи от объекта попадают на экран, который их частично поглощает и рассеивает. Для этой цели можно использовать даже фанеру, покрытую черной матовой краской. За приемниками излучений устанавливают невоспламеняющиеся экраны с поверхностью, хорошо поглощающей энергию излучений соответствующей длины волны.

Надежной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование луча на всем его пути действия (от ЛУ до мишени) световодом, если позволяют технические возможности. Непрозрачные экраны или ограждения, препятствующие выходу ЛИ наружу, должны изготавливаться из металлических листов (сталь, дюралюминий и т.п.). Допускается изготовление непрозрачных экранов из пластмасс.

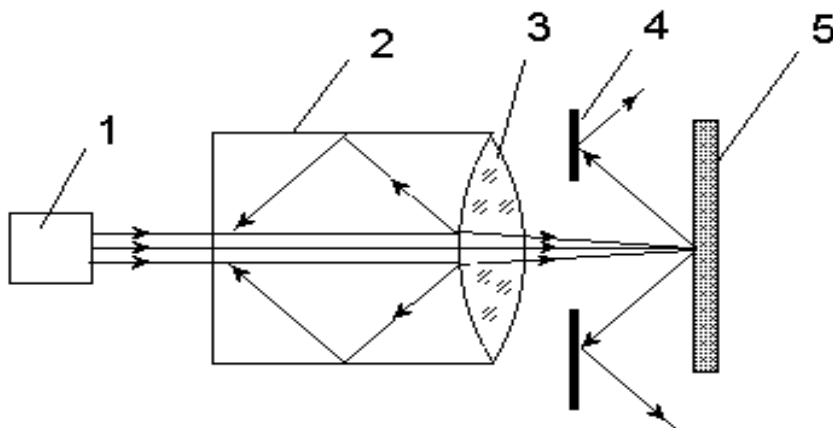


Рисунок 1.11 – Схема экранирования отраженного лазерного излучения блендами и диафрагмами: 1 – лазер; 2 – блenda; 3 – линза; 4 – диафрагма; 5 – мишень

При размещении в одном помещении нескольких ЛУ необходимо оградить места их установки ширмами, шторками, занавесками или другими экранами, не пропускающими излучения, то так, чтобы рабочее место удовлетворяло санитарно-гигиеническим требованиям и имело достаточное естественное и искусственное освещение. Для этой цели рекомендуется, например, черная байка. Шторы, ширмы и занавески, изготовленные из этого материала, совершенно не пропускают даже прямое импульсное ЛИ ($\lambda = 1,06$ мкм и $0,69$ мкм) достаточно большой плотности, при этом порог минимального повреждения ткани наблюдается при плотности энергии 1 Дж/см² (опаление ворса). Разрушение же ткани наступает при очень большой плотности энергии – десятки Дж/см². Ткань обладает высокой стойкостью к термическому действию ЛИ и не возгорается при полном ее разрушении.

Лазерные установки, являющиеся источником ионизирующего излучения, должны устанавливаться так, чтобы путь пучка проходил по непосещаемой людьми зоне, а точки фокусирования пучка при работе установки должны быть защищены диафрагмами. В конце пути пучка устанавливается ловушка для поглощения и защиты от брызг, испарений, аэрозолей, выделяемых исследуемым веществом. При образовании в исследуемом веществе ионизирующего излучения должна быть предусмотрена локальная защита из материалов, наиболее эффективно поглощающих это излучение.

Вредные факторы производственной среды

Путь пучка света импульсной ЛУ должен быть маркирован покраской рейтеров, оправ, диафрагм и бленд, должны быть также приняты меры против попадания в глаза отраженных или преломленных лучей. В некоторых случаях необходимо канализовать или ограждать весь путь луча.

Установка должна иметь надежные системы блокировки и сигнализации. В случае неисправности хотя бы одной из этих систем эксплуатация установки запрещается. Входы в помещение задающих генераторов, усилителей, в мишенные и конденсаторные должны иметь блокировку, а также звуковую и световую сигнализацию, сблокированную с системой пуска установки. На дверях помещения размещается знак «Опасно! Лазерное излучение» (рис. 1.12). В помещении, где проводятся работы с импульсной установкой, должна быть установлена сигнализация: световая – в период, когда на конденсаторной батарее поднимается напряжение, и звуковая – непосредственно (за 2–3 с) перед срабатыванием осветителя.

Во время работы установки на пульте управления, размещенном в соседнем помещении (пультовой) и над входом в рабочую камеру должны гореть предупреждающие световые сигналы.

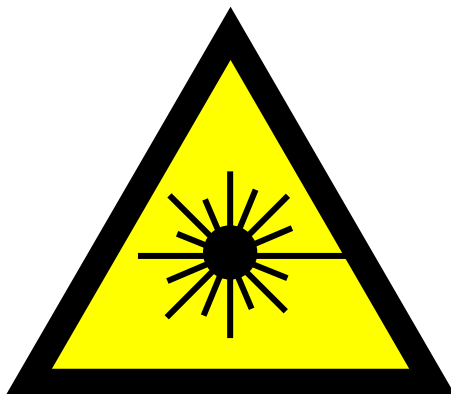


Рисунок 1.12 – Знак «Опасно! Лазерное излучение»

Необходимо проверять исправность системы блокировки и сигнализации каждый раз перед включением установки. При неисправности или умышленном отключении хотя бы одной из предусмотренных проектом блокировок пуска установки информация должна поступать на пульт управления и фиксироваться в журнале эксплуатации.

Средства индивидуальной защиты

В тех случаях, когда коллективные средства защиты не позволяют обеспечить выполнение требований безопасности при эксплуатации лазерных установок II–IV классов опасности применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ). К ним относятся: технологические халаты, перчатки, очки, щитки и маски. Технологические халаты изготавливаются из хлопчатобумажного или бязевого материала светло-зеленого или голубого цвета.

В защитных щитках, масках и очках применяются специальные светофильтры, задерживающие ЛИ, но пропускающие излучение в соседних диапазонах спектра. Это достигается за счет выбора светофильтров с определенной кривой спектрального пропускания. Светофильтры защитных очков должны обеспечивать снижение интенсивности облучения глаз ЛИ до предельно допустимого уровня (ПДУ). В паспортах на светофильтры и оправы очков указывают их спектральную характеристику, оптическую плотность и максимально допустимый уровень излучения. Защитные очки не имеют универсального назначения, а предназначены для защиты от излучения определенной волны.

Существуют два типа защитных очков: открытые и закрытые. Открытые защитные очки предназначены для защиты глаз спереди и с боков от рассеянного и диффузно отраженного излучения. Закрытые защитные очки с непрямой вентиляцией предназначены для защиты глаз и с боков, сверху и снизу от рассеянного, диффузно отраженного прямого излучения для непрерывного ЛИ. В ассортименте защитных очков должны быть очки с коробчатой оправой, не препятствующей одновременному пользованию обычными корректирующими очками.

При работе мощных лазеров (IV класса) недостаточна защита только глаз, так как возможно поражение кожи лица. Поэтому в таких случаях эффективно применение защитных щитков и масок.

Руки рекомендуется защищать с помощью различного типа перчаток, в том числе из замши и кожи, а также специальными защитными дерматологическими средствами (кремы, лаки, пасты, мази), создающими предохранительную пленку на коже.

Требования к персоналу

К работе с ЛР допускаются лица, достигшие 18 лет и не имеющие медицинских противопоказаний. Женщины на период беременности и кормления ребенка должны освобождаться от работы с применением лазеров.

Работы, связанные с обслуживанием ЛУ, включены в списки работ с вредными условиями труда, и работающие на лазерных установках II – IV классов подлежат предварительным (при поступлении на работу) и периодическим (1 раз в год) медицинским осмотрам. В осмотрах обязательно участие терапевта, невропатолога и офтальмолога. Помимо врачебного обследования, показано проведение клинического анализа периферической крови и ЭКГ.

Противопоказанием для приема на работу с лазерами являются следующие заболевания: гипертоническая болезнь, стойкая сосудистая гипотония, стенокардия, коронарокардиосклероз; все болезни крови и вторичное малокровие; органические заболевания центральной нервной системы, в том числе эпилепсия; выраженная вегетативная дисфункция; выраженное астеническое состояние, заболевания эндокринных желез со стойкими нарушениями функций; выраженные неврозы; катаракта; стойкие и выраженные нарушения овариально-менструальной функции; психические заболевания.

Целесообразно рассматривать как дополнительные противопоказания к приему на работу с лазерами профессиональные заболевания, вызванные воздействием физических факторов (особенно ионизирующей радиации и СВЧ), хронические профессиональные интоксикации со стойкими нарушениями функции центральной нервной и сердечнососудистой систем, органа зрения и органов кровообращения и хронические заболевания кожи.

Лица, временно привлекаемые к работе с ЛУ, должны быть ознакомлены с инструкцией по технике безопасности и производственной санитарии при работе с ЛР и прикреплены к ответственному лицу из постоянного персонала подразделений.

Одним из важнейших элементов системы сохранения здоровья обслуживающего персонала являются *лечебно-профилактические мероприятия*. К достаточно эффективным мерам медицинской профилактики профессиональной патологии следует отнести регулярные физические упражнения, причем в течение смены рекомендуется проводить не менее двух физкультурных пауз по 10 мин. При работе с ЛУ имеет большое значение соблюдение витаминного баланса, особенно в зимне-весенний период.

Персонал, допускаемый к работе с ЛУ, должен пройти *инструктаж и обучение безопасным приемам и методам работы* в соответствии

с ГОСТ 12.0.004-90*ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения и Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров [18].

Персонал должен быть обучен методам оказания первой помощи при поражении ЛИ, электрическим током и другими опасными факторами.

При изменении технических параметров ЛУ или характера выполняемых работ проводится первичный инструктаж по технике безопасности.

1.6 Инфракрасное излучение

Инфракрасное излучение (ИКИ). Это – тепловое излучение, представляющее собой невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0,76 до 420 мкм и обладающее волновыми и световыми свойствами.

По длине волны инфракрасные лучи делятся на коротковолновую ИКИ-А (менее 1,4 мкм), средневолновую ИКИ-В (1,4...3 мкм), длинноволновую ИКИ-С (3 Мкм...1 мм) область. В производственных условиях гигиеническое значение имеет более узкий диапазон (0,76...70 мкм).

Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Степень инфракрасного излучения характеризуется следующими основными законами, используемыми для оценки гигиенического нормирования.

Лучеиспускание обуславливается только состоянием излучающего тела и не зависит от окружающей среды (закон Кирхгофа). Лучеиспускательная способность любого тела пропорциональна его лучепоглощающей способности. Тело, поглощающее все падающие на него лучи (абсолютно черное тело), обладает максимальным излучением. На этом законе основано применение поглощающей защитной одежды, светофильтров, устройство приборов для измерения теплового излучения, а также окраска оборудования.

С повышением температуры излучающего тела интенсивность излучения E (Вт/м²) увеличивается пропорционально 4-й степени его абсолютной температуры (закон Стефана – Больцмана):

$$E = \sigma T^4 \quad (1.13)$$

Вредные факторы производственной среды

где σ – постоянная Стефана – Больцмана, равная $5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт м^{-2} К^{-4} ; T – абсолютная температура, К (Кельвин).

Таким образом, даже небольшое повышение температуры тела приводит к значительному росту отдачи теплоты излучением. Используя этот закон, можно определить величину теплообмена излучением в производственных условиях.

Количество тепловой энергии, передаваемое излучением, определяется по формуле:

$$E = C_1 C_2 \sigma (T_1^4 - T_2^4), \quad (1.14)$$

где E – теплоотдача, (Вт), C_1 и C_2 – константы излучения с поверхностей; σ – постоянная Стефана – Больцмана; T_1 и T_2 – температуры поверхностей (К), между которыми происходит теплообмен излучением.

При расчете теплоотдачи излучением учитывают температуру стен и других поглощающих тепловую радиацию поверхностей (среднерадиационная температура).

Произведение абсолютной температуры излучающего тела на длину волны излучения ($\lambda_{\text{макс}}$) с максимальной энергией – величина постоянная C (закон Вина – закон смещения):

$$\lambda_{\text{макс}} T = C, \quad (1.15)$$

где $C = 2880$; T – абсолютная температура, К; λ – длина волны, мкм. Таким образом, длина волны максимального излучения нагретого тела обратно пропорциональна его абсолютной температуре, т.е.:

$$\lambda_{\text{макс}} = C/T \quad (1.16)$$

При температуре твердого тела 400...500 °С излучение происходит главным образом в области длинных волн.

Интенсивность теплового излучения на рабочих местах может колебаться от 175 Вт/м² до 13 956 Вт/м². К горячим цехам относят цеха, в которых тепловыделение превышает 23 Дж/м².

В литейных цехах (нагрев и обработка деталей) интенсивность теплового излучения составляет 1392...3480 Вт/м².

В производственных помещениях с большим тепловыделением (горячие цеха) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемой теплоты и только 1/3 на конвекционную теплоту.

1.6.1 Действие инфракрасного излучения на организм человека

Биологическое действие инфракрасного излучения. Лучистое тепло имеет ряд особенностей. Инфракрасное излучение помимо усиления теплового воздействия на организм работающего обладает и специфическим влиянием, зависящим от интенсивности энергии излучения отдельных участков его спектра. Существенное влияние на теплообмен организма оказывают оптические свойства кожного покрова с его избирательной характеристикой коэффициентов отражения, поглощения и пропускания инфракрасной радиации.

Воздействие ИКИ на организм человека проявляется как общими, так и местными реакциями. Местная выражается сильнее при длинноволновом облучении, поэтому при одной и той же интенсивности облучения время переносимости в этом случае меньше, чем при коротковолновой радиации. За счет большой глубины проникновения в ткани тела коротковолновая область спектра ИКИ вызывает повышение температуры глуболежащих тканей. Например, длительное облучение глаза может привести к помутнению хрусталика (профессиональная катаракта).

Под влиянием ИКИ в организме человека возникают биохимические сдвиги и изменения функционального состояния центральной нервной системы: образуются специфические биологически активные вещества типа гистамина, холина, повышается уровень фосфора и натрия в крови, усиливается секреторная функция желудка, поджелудочной и слюнной желез, в центральной нервной системе развиваются тормозные процессы, уменьшается нервно-мышечная возбудимость, понижается общий обмен веществ.

При инфракрасном облучении кожи повышается ее температура, изменяется тепловое ощущение. При интенсивном облучении возникают ощущения жжения, боль. Время переносимости тепловой радиации уменьшается с увеличением длины волны и ее интенсивности (табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Время переносимости (с) инфракрасной радиации в зависимости от ее интенсивности и длины волны

Интенсивность радиации, Вт/м ²	Длина волны, мкм	
	3,6	1,07
1400	159	305

Вредные факторы производственной среды

2800	27,3	37,9
4200	12,9	21,2
5600	9,5	14,5

С увеличением периода облучения организм приспособляется, т.е. происходит адаптация, сохраняющаяся довольно длительное время.

Наиболее чувствительны к ИКИ кожный покров и органы зрения человека; при остром повреждении кожи возможны ожоги, резкое расширение артериокапилляров, усиление пигментации кожи; при хронических облучениях изменение пигментации может быть стойким, например, эритемоподобный (красный) цвет лица у рабочих – стеклодувов, сталеваров. К острым поражениям органов зрения относятся ожог конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При интенсивном ИКИ (100 Вт/см^2 для $\lambda = 780...1800 \text{ нм}$) и длительном облучении ($0,08...0,4 \text{ Вт/см}^2$) возможно образование катаракты. Коротковолновая часть ИКИ может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение.

Инфракрасные излучения влияют и на функциональное состояние человека, его центральную нервную систему, вызывают изменения в сердечно-сосудистой системе. Отмечаются резкое учащение сердцебиения, повышение максимального и понижение минимального артериального давления, учащение дыхания, повышение температуры тела и усиление потоотделения. ИКИ воздействует на состояние верхних дыхательных путей (развитие хронического ларингита, ринита, синуситов), не исключается мутагенный эффект ИКИ.

1.6.2 Нормирование интенсивности инфракрасного излучения

Нормирование инфракрасного излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой площади, защитных свойств спецодежды

Нормативными документами являются [21, 22]:

- ГОСТ 12.1.005–88*(2001) ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.9.

Таблица 1.9 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25...50	70
Не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки.

1.6.3 Средства защиты от теплового излучения

Выбор теплозащитных средств должен осуществляться с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. К теплозащитным средствам предъявляются следующие требования: они должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания, не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы.

Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность от оборудования не выше 308 К (35°C) при температуре внутри источника до 373 К (100°C) и не выше 318 К (45°C) при температуре внутри источника выше 373 К (100°C).

Защита работающих от неблагоприятного действия инфракрасного излучения осуществляется комплексом инженерно-технических, гигиенических, санитарно-технических, организационных, медико-профилактических и законодательных мероприятий.

Инженерно-технические мероприятия предусматривают: автоматизацию, механизацию и дистанционное управление производственными процессами, связанных со значительными тепловыделениями; замену старых и внедрение новых технологических процессов, например, применение штамповки вместо поковочных работ, замену кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными; увеличение герметичности оборудования.

Вся группа **гигиенических и санитарно-технических** мероприятий разделяется на средства коллективной и индивидуальной защиты.

К коллективным средствам защиты относятся:

- теплоизоляция горячих поверхностей;
- экранирование источников излучения или рабочих мест;
- радиационное охлаждение;
- общеобменная вентиляция или кондиционирование;
- воздушное душирование.

Тепловая изоляция поверхностей источников излучения (печей, сосудов, трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности. При этом доля лучистого тепла с понижением температуры источника понижается, благодаря чему интенсивность облучения персонала ИКИ снижается значительно в большей степени, чем общее тепловыделение. Тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования,

Вредные факторы производственной среды

обуславливает сокращение расхода топлива (электроэнергии, пара) и увеличение производительности агрегатов. При проведении высокотемпературных процессов без надлежащей тепловой изоляции достижение необходимой температуры затруднительно или даже невозможно. Однако, когда ограждающие конструкции агрегата находятся в температурных условиях, близких к верхнему допустимому пределу для данного материала (своды и торцевые стены мартеновских печей, фурменные сопла доменных печей и т.п.), тепловая изоляция, повышая рабочую температуру изолируемых элементов, может резко сократить срок их службы. В таких случаях решение о тепловой изоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры изолированных элементов. Если она окажется выше предельно допустимой, защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами (внутренняя теплоизоляция: футеровка, внутреннее экранирование и т.д.).

В настоящее время в практике применяют сотни различных теплоизоляционных материалов и конструкций.

Печи (а также боровы, регенераторы и т.п.) изолируют в большинстве случаев легковесным кирпичом. Дополнительным теплоизоляционным слоем может служить наружная уплотнительная обмазка толщиной до 2 см. Иногда применяют засыпку из сыпучих или волокнистых материалов между наружным стальным кожухом и кирпичной кладкой. Своды целесообразно изолировать засыпкой из сыпучих материалов (например, песка или колошниковой пыли). Такая засыпка, кроме теплоизоляции, создает герметичность, что особенно важно для газовых боровов, регенераторов и шлаковиков.

Существуют конструкции печей из монолитного или сборного жароупорного бетона. В таких случаях в наружных слоях или во всем сечении (если позволяет температура) применяют легковесный бетон. Его получают, используя в качестве инертного наполнителя легковесную щебенку или добавку в состав смеси пенообразующих веществ.

Низкотемпературные печи, сушилы, газоходы можно сооружать из двойных стальных панелей, внутреннее пространство в которых заполняют сыпучим или волокнистым изоляционным материалом или алюминиевой фольгой. Такая конструкция может быть разборной.

Изоляция трубопроводов и резервуаров конструктивно может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий или смешанной.

Мастичная изоляция осуществляется путем нанесения на горячую поверхность изолируемого объекта изоляционной мастики. Мастика представляет собой штукатурный раствор с теплоизоляционным наполнителем. Мастичную изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации; она дает прочный гладкий слой, но требует предварительного разогрева поверхности и высокой квалификации изолировщика.

Оберточная (обволакивающая) изоляция изготавливается из волокнистых материалов – ваты, войлока, матов или ткани. Она наиболее пригодна для изоляции трубопроводов. Поверхность оберточной изоляции надо закрывать кожухом из плотного материала (лучше всего из алюминия).

Засыпную изоляцию применяют реже, так как необходим жесткий кожух вокруг изолируемого объекта. Пространство внутри кожуха заполняют сыпучим или волокнистым материалом. Под действием вибрации, увлажнения, собственной массы изоляционный материал оседает и качество изоляции резко ухудшается. Засыпную изоляцию в основном используют при прокладке трубопроводов в каналах и коробах, там, где требуется большая толщина изоляционного слоя или при изготовлении теплоизоляционных панелей.

Теплоизоляцию штучными и формованными изделиями (кирпичами, плитами, сегментами, скорлупами) применяют для облегчения работ.

Широкое применение находит смешанная изоляция из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Если они по радиусу кривизны не соответствуют изолируемому трубопроводу, то в первом слое может быть использована мастичная или оберточная изоляция. Наружный слой изготавливают из мастичной 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.

Экранирование тепловых излучений. Теплозащитные экраны применяют для локализации лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место.

Экраны и завесы подразделяются по степени видимости работником через экран и завесу (или по способу превращения энергии облучения) на три типа (рис. 1.13):

- непрозрачные,

Вредные факторы производственной среды

- полупрозрачные,
- прозрачные.

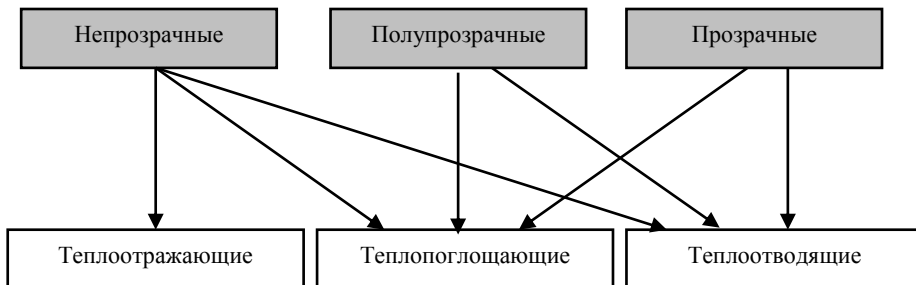


Рисунок 1.13 – Классификация теплозащитных экранов

Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностями. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, различают:

- теплоотражающие;
- теплопоглощающие;
- теплоотводящие экраны.

Это деление в известной мере условно, так как каждый экран обладает способностью отражать, поглощать и отводить тепло.

Непрозрачные экраны.

Теплоотражающие экраны. В качестве отражающих материалов используют альфоль (алюминиевую фольгу), алюминий листовой, белую жемь, алюминиевую краску. Экран состоит из несущего каркаса, отражающей поверхности и деталей крепления к экранируемому оборудованию. Альфоль из-за недостаточной механической прочности обычно наклеивают на асбест, клингерит, огнестойкую фанеру, металлическую сетку или укладывают в мятую или гофрированную форму между сетками. Величина межэкранного пространства принимается обычно (по конструктивным соображениям) равной 20...25 мм, хотя уменьшение ее до 5 мм улучшает теплозащитные свойства экрана вследствие устранения конвективного теплообмена между слоями экрана. Расстояние между излучающей поверхностью и экраном в случаях, когда повышение ее температуры нежелательно, увеличивается до 200...250 мм.

Отражающие экраны для трубопроводов изготавливаются в виде квадратных коробов или полуцилиндрических скорлуп, оклеенных изнутри альфолем.

Достоинствами отражающих экранов являются 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 окислении.

Теплопоглощающие экраны. В теплопоглощающем экране вследствие большого термического сопротивления тепловой поток вызывает значительную разность температур поверхностей. При этом температура внутренней (обращенной к источнику излучения) поверхности экрана повышается, и тепловой поток уменьшается из-за снижения разности температур. Температура наружной поверхности экрана остается низкой.

В качестве теплопоглощающих экранов используют металлические заслонки и щиты, футерованные огнеупорным или теплоизоляционным кирпичом, асбестовые щиты на металлической раме, сетке или листе и другие теплоизоляционные конструкции.

Теплопоглощающие экраны можно применять в условиях интенсивных тепловых излучений, высоких температур, механических ударов и запыленной среды.

Теплоотводящие экраны. Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые (с залитым змеевиком) конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой. Их можно футеровать с одной стороны. Временные экраны можно изготовлять в виде металлических щитов, орошаемых водой. Теплоотводящие экраны при достаточном охлаждении являются практически теплонепроницаемыми, но требуется их присоединение к сети водоснабжения, что не всегда возможно.

Полупрозрачные экраны

Теплоотводящие экраны. Их выполняют в виде металлических сеток, орошаемых водяной пленкой.

Теплопоглощающие экраны. К ним относятся металлические сетки с размером ячейки 3 ... 3,5 мм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло.

Сетки применяют при небольших интенсивностях облучения. Благодаря легкости и удобству пользования широко применяют сетчатые маски при горячих ремонтах печей и сетчатые щитки на завалочных машинах. Они также частично защищают лицо от брызг и мелких осколков.

Цепные завесы применяют в тех случаях, когда экран не должен препятствовать наблюдению и вводу через него инструмента, материалов. Эффективность завесы увеличивается при уменьшении толщины цепей. Для повышения эффективности

Вредные факторы производственной среды

можно применять орошение завесы водяной пленкой и устраивать двойные экраны.

Армированное стекло можно применять для экранирования тех поверхностей кабин и постов управления, которые должны пропускать видимый свет, но четкого различения объектов через них не требуется.

Прозрачные экраны

Материал прозрачного экрана должен обладать минимальным коэффициентом пропускания для ИКИ и достаточным – для видимого излучения. В настоящее время для экранов используют стекло силикатное, кварцевое и органическое, бесцветное и окрашенное, вода в слое и дисперсном состоянии, тонкие металлические пленки, осажденные на стекле. Для металлов с высокой электропроводностью (золото, медь) достаточная отражательная способность достигается уже при толщине порядка 2 нм; при этой толщине пленка еще достаточно прозрачна и для видимого излучения. Тонкие металлические пленки осаждаются на стекле в вакууме из паровой фазы.

Коэффициент пропускания воды в различных участках спектра в значительной степени зависит от толщины слоя. Тонкие водяные пленки пригодны для экранирования источников с температурой до 800°C. При толщине слоя 15–20 мм вода эффективно защищает от теплового излучения источников с температурой до 1800°C.

При взаимодействии воды с ИКИ максимум ослабления теплового потока достигается при равенстве радиуса капелек воды и длины волны излучения.

Теплоотводящие экраны. Водяные завесы применяют для экранирования рабочих окон печей и т.п., если через экран необходимо вводить инструмент, заготовки и др. Устройства для создания водяной завесы изображены на рис. 1.14. Боковые кромки завесы образуются вертикальными рейками. Для устойчивости завесы вода должна быть чистой, поверхность слива строго горизонтальной и гладкой.

Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу, более устойчивы по сравнению со свободными водяными завесами и имеют более высокий коэффициент эффективности. Высокой эффективностью обладают также **аквариальные экраны**, представляющие собой коробку из двух стекол, заполненную проточной чистой водой с толщиной слоя 15...20 мм.

Вододисперсная завеса представляет собой плоскую воздушную струю со взвешенными в ней капельками воды.

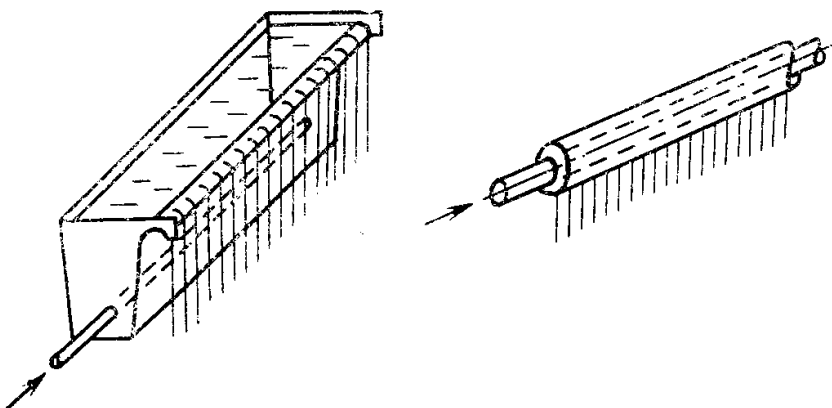


Рисунок 1.14 – Устройства для создания водяной пленочной завесы

Теплопоглощающие экраны. Их изготавливают из различных стекол (силикатных, органических, кварцевых), бесцветных или окрашенных. Для повышения эффективности применяется двойное остекление с вентилируемой воздушной прослойкой. При естественной вентиляции для удобства очистки экрана от пыли одно стекло должно быть легко съемным. Целесообразнее, конечно, подавать в пространство между стеклами очищенный воздух.

Органическое стекло (плексиглас) благодаря механической прочности и легкости применяют для защиты лица от теплового излучения в наголовных щитках (которые защищают и от брызг, и от осколков).

Все теплозащитные стекла обладают спектральной селективностью, и поэтому их эффективность в большой степени зависит от спектрального состава излучения.

Возможно применение интерференционных фильтров, представляющих собой сложную систему нанесенных на прозрачную подложку (например, на стекло) диэлектрических слоев с различными показателями преломления. Чередую слои с различными характеристиками можно получить заданную спектральную характеристику системы с полосой пропускания в видимой части спектра и высокой отражательной способностью в инфракрасной области. Диэлектрические слои из ZnO , TiO_2 , MgF_2 наносят на подложку методом вакуумного осаждения.

Экран может быть установлен не только снаружи источника излучения, но и внутри его – между излучающей средой и наружным ограждением, например, стенкой печи.

Защитное действие внутреннего экрана проявляется в снижении температуры наружной поверхности кладки печи, т.е. аналогично тепловой изоляции.

Разновидностью внутripечного экрана является «светящаяся стена» Холдена. Экран изготавливается из специальной керамики с равномерной открытой пористостью. Через нее продувается газозоудушная смесь, сгорающая на поверхности стены в виде множества точечных игольчатых факелов. Газозоудушная смесь охлаждает керамику; при толщине стены 200 мм температура на расстоянии 50 мм от рабочей поверхности стены, нагретой до 980°C, падает до 42...44°C. Конструктивно внутренний экран является неотъемлемой частью печи и разрабатывается при проектировании последней.

В некоторых случаях на рабочих местах, предусматривают такие условия, при которых улучшается отдача тепла телом человека. Это осуществляется путем создания воздушных оазисов и воздушного душирования, с помощью которых непосредственно на рабочее место направляется воздушный поток определенной температуры и скорости в зависимости от категории работы, сезона года и интенсивности ИКИ.

Радиационное охлаждение. Выполняется в виде охлаждаемых экранов, установленных непосредственно в рабочей зоне. Это могут быть охлаждаемые стены, пол и потолок на изолированных рабочих местах, в кабинах и комнатах отдыха. При использовании радиационного охлаждения достигается перепад температуры по высоте не более 2°C.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяют в целях исключения или снижения воздействия лучистой энергии на организм человека (СИЗ предохраняют от острого локального поражения и лишь частично от общего перегревания). Существуют следующие классы СИЗ: изолирующие костюмы (для особых ремонтных работ), специальная одежда и обувь (для повседневного ношения), средства защиты головы, лица, глаз и рук (в местах с повышенной опасностью или при наличии вредных для здоровья условий труда). Для создания спецодежды используют невоспламеняемые, стойкие против лучистой энергии, мягкие и воздухопроницаемые материалы (сукно, брезент, специально обработанное синтетическое волокно, ткани с металлическим покрытием). Спецодежда изготавливается согласно ГОСТ 12.4.176-89*(2003) ССБТ.

Вредные факторы производственной среды

Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека [23] , ГОСТ 12.4.045-87*(2015) ССБТ. Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. Технические условия [24] .

Специальная одежда по своим защитным свойствам подразделяется на четыре группы:

- от повышенных температур (Т);
- от теплового излучения (И);
- от искр, брызг расплавленного металла, окалины (Р);
- от открытого пламени (О).

Все средства индивидуальной защиты (пневмокостюмы, куртки, брюки, костюмы, фартуки, ботинки, полуботинки, рукавицы, каски, защитные щитки, защитные очки) классифицируются по этим группам.

Для защиты глаз от воздействия инфракрасного излучения промышленностью выпускаются стекла-светофильтры, применяемые в очках, щитках и других устройствах. Для различных видов работ рекомендуются соответствующие защитные светофильтры из специального желто-зеленого или синего стекла. Предусматривается специальная кожаная или валяная обувь для защиты от повышенных температур.

В качестве *организационных мероприятий* используются защита временем, защита расстоянием, обеспечение рационального питьевого режима труда и гидропроцедур.

Защита расстоянием. Допустимое расстояние от рабочего места до источника ИКИ определяют расчетом и проверяют измерением интенсивности ИКИ непосредственно на рабочем месте.

Защита временем применяется при высокой интенсивности инфракрасного облучения во избежание чрезмерного (опасного) общего перегревания и локального повреждения (ожога). С этой целью устраиваются перерывы, частота и длительность которых определяется интенсивностью инфракрасного облучения (табл. 1.10).

Для перерывов применяются специальные кабины радиационного охлаждения или комнаты отдыха, в которых обеспечивается заданный микроклимат.

Таблица 1.10 – Продолжительность перерывов в зависимости от интенсивности ИКИ

Интенсивность инфракрасного	Продолжительность периода	Продолжительность паузы, мин	Соотношение
-----------------------------	---------------------------	------------------------------	-------------

облучения, Вт/м ²	непрерывного облучения, мин		продолжительности облучения и пауз
350	20	8	2,50
700	15	10	1,50
1050	12	12	1,00
1400	9	13	0,70
1750	7	14	0,50
2100	5	15	0,33
2450	3,5	12	0,30

Особую группу мер, направленных на предупреждение перегрева человека, представляют **рациональный питьевой режим труда и гидропроцедуры**. Для восстановления водного баланса в организме рабочих их снабжают газированной подсоленной водой.

1.7 Ультрафиолетовое излучение

Ультрафиолетовое излучение (УФ) представляет собой невидимое глазом электромагнитное излучение, занимающее в электромагнитном спектре промежуточное положение между светом и рентгеновским излучением (200—400 нм).

Ультрафиолетовое излучение (УФИ). Это оптическое излучение с длинами волн, меньшими 400 нм. Для биологических целей различают следующие спектральные области: УФИ-С – от 200 до 280 нм; УФИ-В – от 280 до 315 нм; УФИ-А – от 315 до 400 нм. Исходя из специфической биологической эффективности, область УФИ-С также называют бактерицидной областью спектра; УФИ-В – эритемной и УФИ-А – общеоздоровительной (последнее определение в меньшей степени, чем первые два отражают специфику биологического действия УФИ). В научно-технической литературе используются и другие синонимы названий указанных областей спектра, например, коротковолновое, длинноволновое УФИ и др.

Величины и единицы измерения УФИ. **Эритемный поток ($\Phi_{\text{эр}}$)** – мощность эритемного излучения – эффективная величина, характеризующая УФИ по его полезному (в малых дозах) действию на человека и животных. Единица измерения – эр – эритемный поток, соответствующий потоку излучения с длиной волны 297 нм и мощностью 1 Вт. **Эритемная освещенность** (эритемная облученность) в точке поверхности ($E_{\text{эр}}$) – отношение эритемного потока, падающего на элемент поверхности, содержащий данную точку, к площади этого элемента. Единица измерения эр на квадратный метр (эр/м²) – эритемная освещенность поверхности

Вредные факторы производственной среды

площадью 1 м^2 при эритемном потоке падающего на него излучения 1 эр. *Эритемная доза* (эритемная экспозиция $H_{\text{эр}}$) – отношение эритемной энергии излучения, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента. Единица измерения – $\text{эр} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ – эритемная доза, получаемая поверхностью с площади 1 м^2 , на которое падает излучение с эритемной энергией 1 эр $\cdot \text{ч}$.

Для удобства пользования предлагаем данные таблицы 1.11 пересчета физических и биологически взвешенных единиц измерения дозы УФИ в области В. Единицы измерения бактерицидного потока, приведенного к длине волны 254 нм, – бк, бк/м² и Бк $\cdot \text{ч} / \text{м}^2$.

Таблица 1.11 – Взаимосвязь физических и биологически взвешенных единиц измерения дозы УФИ в области

Единицы измерения	мкВт \cdot мин / см ²	мэр \cdot ч / м ²	мкэр \cdot мин / см ²	мэр \cdot мин / м ²
мкВт \cdot мин / см ²	1	0,0314	0,2	2
мэр \cdot ч / м ²	30	1	6	60
мкэр \cdot мин / см ²	5	0,157	1	10
мэр \cdot мин / м ²	0,5	0,0157	0,1	1

Основные типы ультрафиолетовых измерительных приборов приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Основные типы ультрафиолетовых измерительных приборов

Прибор	Назначение прибора
УФ-радиометр	Измерение УФ-освещенности в энергетических единицах
УФ-дозиметр	Измерение УФ-дозы в энергетических единицах
УФ-фотометр	Измерение эффективных величин, характеризующих УФ-излучение
Эр-метр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения эритемной освещенности
Эр-дозиметр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения эритемной дозы
Бакт-метр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения бактерицидной освещенности
Бакт-дозиметр	УФ-фотометр, предназначенный для измерения бактерицидной дозы

Источники УФИ можно разделить на две большие группы: естественные и искусственные. Главным естественным источником УФИ является солнце. На интенсивность УФИ на поверхности Земли оказывает влияние длина пути лучей, географическая широта, высота над уровнем моря и время года. Имеет также значение рассеивание и поглощение УФИ пылью, туманом, различными химическими веществами, находящимися в атмосфере, и дождем. Практически наиболее короткая волна, достигающая поверхности Земли, находится на уровне 295 нм. Общий поток УФИ в области А + В составляет 3...4 % от общей энергии солнечных лучей.

Искусственные источники УФИ можно классифицировать следующим образом: газоразрядные источники – ртутные лампы низкого давления, ртутные лампы высокого давления, металлические галогеновые высокого давления, водородные и дейтериевые лампы, дуговая сварка; флюоресцентные лампы; источники накаливания – углеродная дуга, оксиацетиленовое пламя.

В промышленности одним из источников УФИ являются электрические дуги. Они могут применяться без арматуры (сварочные работы) или с арматурой в виде различных экранов с

отверстиями (фотоцинкография, светокопировальные работы). Интенсивность и спектр УФИ от электрической дуги зависит от диаметра электрода, силы тока, состава электрода, а также от вида обмазки (при сварочных работах).

1.7.1 Действие ультрафиолетового излучения на организм человека

УФ-лучи обладают способностью выдавать фотоэлектрический эффект, проявлять фотохимическую активность (развитие фотохимических реакций), вызывать люминесценцию и отличаются значительной биологической активностью.

Известно, что при длительном недостатке солнечного света возникают нарушения физиологического равновесия организма, развивается своеобразный симптомокомплекс, именуемый "световое голодание".

Наиболее часто следствием недостатка солнечного света являются авитаминоз D, ослабление защитных иммунобиологических реакций организма, обострение хронических заболеваний, функциональные расстройства нервной системы. УФ-облучение малыми дозами оказывает благоприятное стимулирующее действие на организм.

Активизируется деятельность сердца, улучшается обмен веществ, понижается чувствительность к некоторым вредным веществам из-за усиления окислительных процессов в организме (марганец, ртуть, свинец) и более быстрого выведения их из организма, улучшается кроветворение, снижается заболеваемость простудными заболеваниями, снижается утомляемость, повышается работоспособность.

УФ-излучение от производственных источников (электросварка, ртутно-кварцевые лампы) может стать причиной острых и хронических заболеваний и поражений. Наиболее уязвимым для УФ-излучений являются органы зрения (фотоофтальмия, хронический конъюнктивит, катаракта хрусталика). Может наблюдаться острое воспаление кожных покровов, иногда с отеком и образованием пузырей, повышение температуры тела, озноб, головные боли, возможен рак кожи.

Биологическое действие УФИ связано как с одноразовым, так и с систематическим облучением поверхности кожи и глаз. Острые поражения глаз при УФИ-облучении обычно проявляются в виде кератитов роговицы и катаракты хрусталика. Фотокератит имеет латентный период, длительность которого зависит от дозы облучения (от 30 мин до 24 ч), чаще всего латентный период составляет

Вредные факторы производственной среды

6...12 ч. Проявляется фотокератит в виде ощущений постороннего тела или песка в глазах, светобоязни, слезотечения. Нередко можно обнаружить эритему кожи лица и век. Обычно явления фотокератита заканчиваются через 48 ч без каких-либо осложнений. Повторные воздействия УФИ на глазные среды могут приводить к развитию катаракты – заболеванию, сопровождающемуся частичной или полной потерей проводимости света зрачком.

Механизм развития рака кожи связывают со способностью УФИ повреждать ДНК и ее репарирующую систему. Канцерогенное действие УФИ может заключаться в одном из трех основных элементов повреждения: увеличения частоты хромосомных аберраций и степени мутации, увеличения степени трансформации нормальных клеток в раковые клетки.

Вероятность развития опухолей при УФИ-облучении зависит как от суммарной дозы УФИ, которая, как правило, должна быть в тысячи раз больше эритемной, так и спектра излучения, длительности экспозиции, интервалов между облучениями, индивидуальной чувствительности организма и др.

Весь диапазон УФИ разделяют на следующие области:

- область А – $\lambda = 400...315$ нм;
- область В – $\lambda = 315...280$ нм;
- область С – $\lambda = 280...200$ нм.

УФИ области А отличается слабым биологическим действием, вызывающим преимущественно флуоресценцию.

Основное биологическое действие оказывает **УФИ области В**. Это излучение вызывает основные изменения в коже (загарное и антирахитическое действие), крови, нервной системе, кровообращении и других органах.

УФИ области С отличается большим разрушительным действием на клетку, так как обладает бактерицидным действием, вызывают коагуляцию белков и т.д.

Наиболее уязвимы для УФИ глаза, причем страдает преимущественно роговица и слизистая оболочка. Острые поражения глаз, так называемые электроофтальмии, представляют собой острый конъюнктивит, или кератоконъюнктивит. Заболевание проявляется ощущением постороннего тела или песка в глазах, светобоязнью, слезотечением. Нередко наблюдается эритема (покраснение) кожи лица и век. К хроническим заболеваниям относят хронический конъюнктивит, блефарит, катаракту, помутнение хрусталика. Роговица глаза наиболее чувствительная к излучению волны

длиной 270...280 нм; наибольшее воздействие на хрусталик оказывает излучение в диапазоне 295...320 нм. Возможность поражающего действия УФИ на сетчатку невелика, однако не исключена.

Кожные поражения протекают в форме острых дерматитов с эритемой, иногда отеком и образованием пузырей. Могут возникнуть общетоксические явления с повышением температуры, ознобом, головными болями. На коже после интенсивного УФИ развиваются гиперпигментация и шелушение. Длительное воздействие УФИ приводит к «старению» кожи, атрофии эпидермиса, возможно развитие злокачественных новообразований. При повторном воздействии УФИ имеет место кумуляция биологических эффектов.

1.7.2 нормирование интенсивности ультрафиолетового излучения

Согласно действующему гигиеническому нормированию УФИ установлено, что максимальная облученность не должна превышать $7,5 \text{ мэр} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$, а максимальная суточная доза – $60 \text{ мэр} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ для диапазона УФИ с длиной волны больше 280 нм.

Основными нормативными документами являются [25, 26, 27]:

- СН 4557-88*(2015) .Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях;
- Руководство Р 3.5.1904-04.Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях;
- Методические указания. МУ 2.3.975-2000. Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами.

В качестве нормативной величины УФИ в производственных помещениях согласно СН 4557-88*(2015) устанавливаются допустимые плотности потока излучения в зависимости от длины волн при условии защиты органов зрения и кожи [25].

Допустимая интенсивность УФ-облучения работающих при незащищенных участках поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$ (лицо, шея, кисти рук и др.) общей продолжительностью воздействия излучения свыше 50% рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более не должна превышать:

- для области А – $10 \text{ Вт} / \text{м}^2$;
- для области В – $0,01 \text{ Вт} / \text{м}^2$;

- излучение в области С при указанной продолжительности не допускается.

При использовании специальной одежды и средств защиты лица и рук, не пропускающих излучение (спилка кожи, ткани с пленочным покрытием и т.п.), допустимая интенсивность облучения в областях В и С (200... 315 нм) не должны превышать 1 Вт/м².

1.7.3 Средства защиты от УФИ

Для защиты кожи от УФ-излучения используют защитную одежду, противосолнечные экраны (навесы и т. п.), специальные покровные кремы.

Важное гигиеническое значение имеет способность УФ-излучения производственных источников изменять газовый состав атмосферного воздуха вследствие его ионизации. При этом в воздухе образуются озон и оксиды азота. Эти газы, как известно, обладают высокой токсичностью и могут представлять большую опасность, особенно при выполнении сварочных работ, сопровождающихся УФ-излучением, в ограниченных, плохо проветриваемых помещениях или в замкнутых пространствах.

С целью профилактики отравлений окислами азота и озоном соответствующие помещения должны быть оборудованы местной или общеобменной вентиляцией, а при сварочных работах в замкнутых объемах необходимо подавать свежий воздух непосредственно под щиток или шлем. Интенсивность УФ-излучения на промышленных предприятиях установлена Санитарными нормами ультрафиолетового излучения в производственных помещениях СН 4557-88*(2015) [25].

Защитная одежда из поплина или других тканей должна иметь длинные рукава и капюшон. Глаза защищают специальными очками со стеклами, содержащими оксид свинца, но даже обычные стекла не пропускают УФ-лучи с длиной волны короче 315 нм.

Основными защитными мероприятиями являются: экранирование источников излучения, экранирование рабочих мест, СИЗ, специальная окраска помещений и рациональное размещение рабочих мест.

Наиболее рациональными является **экранирование** (укрытие) источников излучения. В качестве экрана применяют различные материалы и светофильтры, не пропускающие или снижающие интенсивность УФИ. *Экранирование рабочих мест*: рабочие места ограждают ширмами, щитками или устанавливают кабины высотой 1,8...2 м, а стенки их не должны доходить до пола на 25..30 см для улучшения условий проветривания кабин.

В качестве **средств индивидуальной защиты** (СИЗ) применяют спецодежду (куртки, брюки), рукавицы, фартуки, щитки со светофильтрами или защитные очки. Одежда изготавливается из тканей, не пропускающих УФИ (лен, хлопчатобумажная, поплин). Защитные очки и щитки укомплектовываются светофильтрами в зависимости от выполняемой работы. Полную защиту от УФИ всех областей обеспечивает флинтглас (стекло, содержащее оксид свинца).

Для защиты кожи от УФИ применяют мази с содержанием веществ, служащих светофильтрами (салол, салицилово-метиловый эфир и др.).

Стены и ширмы в цехах окрашивают в светлые тона (серый, желтый, голубой), применяя цинковые и титановые белила для поглощения УФИ.

2. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. Источники и виды ионизирующих излучений

Источники излучений могут быть естественными и техногенными (искусственными) [3].

К естественным источникам относятся:

- космическое излучение, попадающее на Землю из дальнего космоса, от солнечного излучения и радиационных поясов Земли и состоящее из заряженных частиц и фотонов высоких энергий. Значительная часть космического излучения поглощается земной атмосферой;

- природные радионуклиды, содержащиеся в горных породах, строительных материалах и пр. Например, фосфоритные породы и строительные материалы на их основе содержат сравнительно высокую концентрацию U^{238} , Th^{232} и продуктов их распада.

Некоторые техногенные источники ионизирующих излучений:

- ядерные установки для производства энергии и их отходы;

- установки для переработки радиоактивных материалов;

- устройства для сжигания топлива и их выбросы;

- рентгеновские аппараты и другие медицинские приборы;

- средства измерений с использованием радионуклидов.

Ионизирующим излучением называется такое излучение, взаимодействие которого со средой вызывает образование в ней заряженных частиц (ионов) или ионизацию. В ядерной физике известно большое количество ионизирующих излучений. В производственной среде наиболее часто применяются или могут возникать: гамма и рентгеновское излучения, представляющие собой электромагнитные волны, α , β и нейтронное излучения, представляющие собой потоки частиц (такие излучения называют корпускулярными).

Источниками ионизирующих излучений являются процессы радиоактивного распада ядер атомов химических элементов (радионуклидов), а также физические процессы, связанные с ускорением или торможением заряженных частиц в веществе.

Вредные факторы производственной среды

Указанные выше виды излучения имеют различную проникающую способность (рис. 2.1), зависящую от носителя и энергии излучения [37].

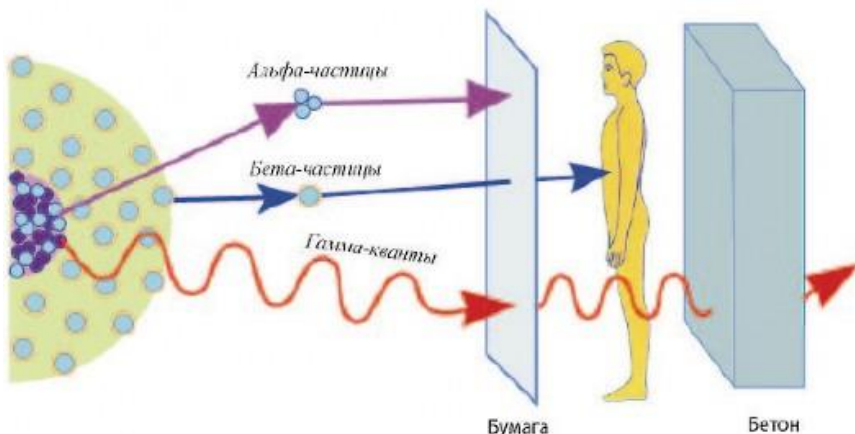


Рисунок 2.1 – Виды радиоактивных излучений и их проникающая способность

Энергию излучения измеряют в электрон-вольтах (эВ). За 1 эВ принята энергия, которую приобретает электрон при перемещении в ускоряющем электрическом поле с разностью потенциалов в 1 В. На практике чаще применяются десятичные кратные единицы: килоэлектрон-вольт (1 кэВ = 103эВ) и мегаэлектронвольт (1 МэВ = 10⁶эВ). Связь электрон-вольта с системной единицей энергии Дж задается выражением: 1 эВ = 1,6·10⁻¹⁹Дж [38].

Основными параметрами, характеризующими взаимодействие ионизирующих излучений с окружающей средой, являются проникающая способность и ионизирующая способность [3].

Проникающая способность определяется величиной свободного пробега в веществе до полной остановки или рассеяния.

Ионизирующая способность характеризуется числом пар ионов, образующихся на единицу длины пробега частицы в веществе. Характеризует способность излучений создавать вторичное (наведенное) излучение.

Альфа-излучение (α -излучение) – ионизирующее излучение, представляющее собой поток относительно тяжелых частиц (ядер гелия, состоящих из двух протонов и двух нейтронов), испускаемых при ядерных превращениях. Энергия α -частиц составляет порядка нескольких мегаэлектрон-вольт и различна для разных радионуклидов. При этом некоторые радионуклиды испускают α -частицы нескольких энергий. Этот вид излучения, имея малую длину пробега частиц, характеризуется слабой проникающей способностью, задерживаясь даже листком бумаги [37].

Альфа-частицы представляют собой ядра гелия с энергией 3-9 МэВ. Обладают большой массой, поэтому имеют малый свободный пробег (в воздухе до 10 см, в теле человека до 150 мкм). Излучение практически не способно проникнуть через наружный слой кожи, образованный отмершими клетками. Поэтому α -излучение не опасно до тех пор, пока радиоактивные вещества, испускающие альфа-частицы, не попадут внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или через открытые раны и ожоговые поверхности. Степень опасности радиоактивного вещества зависит от энергии испускаемых им частиц. Поскольку энергия ионизации одного атома составляет единицы–десятки электрон-вольт, каждая α -частица способна ионизировать до 100000 молекул внутри организма. Однако альфа-частицы имеют наиболее высокую ионизирующую способность – до 100 000 пар ионов на 1 см пробега.

Бета-излучение – поток β -частиц (электронов и позитронов), обладающих большей проникающей способностью в сравнении с α -излучением. Испускаемые частицы имеют непрерывный энергетический спектр, распределяясь по энергии от нуля до определенного максимального значения, характерного для данного радионуклида. Максимальная энергия β -спектра различных радионуклидов лежит в интервале от нескольких кэВ до нескольких МэВ [37].

Бета-частицы – это поток электронов или позитронов с энергией до 3 МэВ. Проникающая способность в воздухе – до 20 м, в теле человека 2–3 см. Вследствие значительно меньшей массы и большей скорости распространения, ионизирующая способность низкая – 50–500 пар ионов.

Пробег β -частиц в воздухе может достигать нескольких метров, а в биологической ткани нескольких сантиметров. Так, пробег электронов с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 17,8 м, а в биологической ткани 2,6 см. Однако они легко задерживаются

тонким листом металла. Как и источники α -излучения, β -активные радионуклиды более опасны при попадании внутрь организма.

Нейтронное излучение – поток нейтронов. Благодаря отсутствию электрического заряда первичное излучение нейтрона имеет большую проникающую способность (свободно проходит через 5 см свинца). Ослабление нейтронного излучения эффективно достигается на материалах, которые содержат ядра легких элементов – вода, парафин, полиэтилен и др. Свободно взаимодействует с ядрами атомов, вызывая сильное вторичное излучение.

Нейтронное излучение возникает при делении тяжелых ядер и в других ядерных реакциях. Источниками нейтронного излучения на АЭС являются ядерные реакторы, плотность потока нейтронов в которых составляет 10^{10} – 10^{14} нейтронов/(см \cdot с); изотопные источники, содержащие естественные или искусственные радионуклиды, смешанные с веществом, испускающим нейтроны под влиянием бомбардировки его α -частицами или γ -квантами. Такие источники применяют для градуировки контрольно-измерительной аппаратуры. Они дают потоки порядка 10^7 – 10^8 нейтронов/с [37].

В зависимости от энергии нейтроны подразделяют на следующие типы: медленные, или тепловые (со средней энергией $\sim 0,025$ эВ); резонансные (с энергией до 0,5 кэВ); промежуточные (с энергией от 0,5 кэВ до 0,5 МэВ); быстрые (с энергией от 0,5 до 20 МэВ); сверхбыстрые (с энергией свыше 20 МэВ).

При взаимодействии нейтронов с веществом наблюдаются два типа процессов: рассеяние нейтронов и ядерные реакции, в том числе вынужденное деление тяжелых ядер. Именно с последним видом взаимодействий связано возникновение цепной реакции, происходящей при атомном взрыве (неуправляемая цепная реакция) и в ядерных реакторах (управляемая цепная реакция) и сопровождающейся выделением огромных количеств энергии.

Проникающая способность нейтронного излучения сравнима с γ -излучением. Тепловые нейтроны эффективно поглощаются материалами, содержащими бор, графит, свинец, литий, гадолиний и некоторые другие вещества; быстрые нейтроны эффективно замедляются парафином, водой, бетоном и др.

Фотонное излучение включает в себя *рентгеновское и гамма-излучение* (γ -излучение). После радиоактивного распада атомное ядро конечного продукта часто оказывается в возбужденном

состоянии. Переход ядра из этого состояния на более низкий энергетический уровень (в нормальное состояние) происходит с испусканием гамма-квантов. Таким образом, γ -излучение имеет внутриядерное происхождение и представляет собой довольно жесткое электромагнитное излучение с длиной волны 10^{-8} – 10^{-11} нм. [37]

Гамма-излучение представляет собой поток фотонов, возникает при ядерных реакциях или вторичном излучении, т.е. при изменении состояния ядра. Проникающая способность самая высокая – в воздухе до нескольких километров, в биологических тканях не задерживается. Несмотря на низкую собственную ионизирующую способность, создает значительные вторичное излучение в материалах и рассеянное излучение по пути прохождения в воздухе.

Распространяясь со скоростью света, γ -лучи имеют высокую проникающую способность, значительно большую, чем α и β – частицы. Их может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита. Чем выше энергия γ -излучения и соответственно меньше длина его волны, тем выше проникающая способность. Обычно энергия гамма-квантов лежит в диапазоне от нескольких кэВ до нескольких МэВ.

Рентгеновское излучение (R-лучи) – электромагнитное излучение, возникающее при торможении электронов. Генерируется в любых электровакуумных приборах, где для ускорения электронного пучка используются высокие напряжения, а также в рентгеновских трубках, ускорителях электронов и пр. Проникающая способность примерно в 2 – 5 тысяч раз меньше, чем у гамма-излучения. Обладает самой низкой ионизирующей способностью, поэтому широко используется в медицине и других областях экономического хозяйства.

В отличие от γ -излучения рентгеновское имеет атомное происхождение, Оно образуется в возбужденных атомах при переходе электронов с удаленных орбит на более близкую к ядру орбиту или возникает при торможении заряженных частиц в веществе. Соответственно первое имеет дискретный энергетический спектр и называется характеристическим, второе – непрерывный спектр и называется тормозным. Диапазон энергий рентгеновского излучения – от сотен электрон-вольт до десятков килоэлектрон-вольт. Несмотря на различное происхождение этих излучений, природа их одинакова, и поэтому рентгеновское и γ -излучение называют фотонным излучением [37].

2.2 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Заряженные частицы и γ -фотоны, распространяясь в веществе, взаимодействуют с электронами и ядрами, в результате чего изменяется состояние как вещества, так и частиц [38].

Основным механизмом потерь энергии заряженной частицы (α и β) при прохождении через вещество является ионизационное торможение. При этом ее кинетическая энергия расходуется на возбуждение и ионизацию атомов среды.

Взаимодействие частицы с веществом количественно оценивается линейной плотностью ионизации, линейной тормозной способностью вещества и средним линейным пробегом частицы.

Под *линейной плотностью ионизации* i понимают отношение числа dn пар ионов, образованных заряженной ионизирующей частицей на элементарном пути dl , к этому пути: $i = dn/dl$. Размерность – пар ионов/м.

Линейной тормозной способностью вещества S называют отношение энергии dE , теряемой заряженной ионизирующей частицей при прохождении элементарного пути dl в веществе, к длине этого пути: $S = dE/dl$. Размерность – Дж/м [38].

Средним линейным пробегом заряженной ионизирующей частицы R является среднее значение расстояния, проходимого частицей в данном веществе до потери ионизирующей способности.

По мере продвижения частицы в среде уменьшаются ее энергия и скорость, линейная плотность ионизации при этом возрастает и только при завершении пробега частицы резко убывает. Возрастание i обусловлено тем, что при меньшей скорости α -частица больше времени проводит вблизи атома и, таким образом, возрастает вероятность ионизации атома.

Так как для ионизации одной молекулы требуется энергия около 34 эВ, то значения линейной тормозной способности вещества (воздуха) лежат в интервале 70-270 МэВ/м.

Средний линейный пробег α -частицы зависит от ее энергии. В воздухе он равен нескольким сантиметрам, в жидкостях и в живом организме – 10-100 мкм. После того как скорость α -частицы замедляется до скорости молекулярно-теплового движения, она, захватив два электрона в веществе, превращается в атом гелия.

Ионизация и возбуждение являются первичными процессами. Вторичными процессами могут быть увеличение скорости молекулярно-теплового движения,

Вредные факторы производственной среды

характеристическое рентгеновское излучение, радиолюминесценция, химические процессы.

Взаимодействие α -частиц с ядрами – значительно более редкий процесс, чем ионизация. При этом возможны ядерные реакции, а также рассеяние α -частиц.

β -Излучение, так же как и α -излучение, вызывает ионизацию вещества

Кроме ионизации и возбуждения β -частицы могут вызывать и другие процессы. Так, например, при торможении электронов возникает тормозное рентгеновское излучение. β -Частицы рассеиваются на электронах вещества, и их пути сильно искривляются в нем. Если электрон движется в среде со скоростью, превышающей скорость распространения света в этой среде, то возникает *характерное черепковское излучение (излучение Черепкова-Вавилова)*.

При попадании β^+ -частицы в вещество с большой вероятностью происходит такое взаимодействие ее с электроном, в результате которого вместо пары электрон-позитрон образуются два γ -фотона.

Энергия каждого γ -фотона, возникающего при аннигиляции, должна быть не меньше энергии покоя электрона или позитрона, т.е. не менее 0,51 МэВ.

Несмотря на разнообразие процессов, приводящих к ослаблению β -излучения, можно приближенно считать, что интенсивность его изменяется по экспоненциальному закону, подобному . В качестве одной из характеристик поглощения β -излучения веществом используют слой половинного поглощения, при прохождении через который интенсивность излучения уменьшается вдвое [38].

Можно считать, что в ткани организма β -частицы проникают на глубину 10-15 мм. Защитой от β -излучения служат тонкие алюминиевые, плексигласовые и другие экраны.

Так, например, слой алюминия толщиной 0,4 мм или воды толщиной 1,1 мм уменьшает вдвое β -излучение от фосфора ^{32}P .

При попадании γ -излучения в вещество наряду с процессами, характерными для рентгеновского излучения (когерентное рассеяние, эффект Комптона, фотоэффект), возникают и такие, которые неспецифичны для взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. К этим процессам следует отнести образование пары электрон-позитрон, происходящее при энергии γ -фотона, не меньшей суммарной энергии покоя электрона и позитрона (1,02 МэВ), и фотоядерные реакции, которые

возникают при взаимодействии γ -фотонов больших энергий с атомными ядрами. Для возникновения фотоядерной реакции необходимо, чтобы энергия γ -фотона была не меньше энергии связи, приходящейся на нуклон. В результате различных процессов под действием γ -излучения образуются заряженные частицы; следовательно, γ -излучения также является ионизирующим [38].

2.3 Основные характеристики ионизирующих излучений

Активность A – число ядерных превращений N в единицу времени t , определяется по формуле:

$$A = dN/dt, \quad (2.1)$$

В системе СИ единица измерения активности (A) – Беккерель [Бк], что соответствует 1 распаду в секунду. Внесистемная единица – Кюри [Ки]. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$, что соответствует активности 1 г чистого радия.

Поглощенная доза D – энергия E , переданная излучением единице объема вещества на единицу его массы, определяется по формуле:

$$D = dE/dm, \quad (2.2)$$

В СИ единица измерения поглощенной дозы (D) Грэй [Гр] $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Внесистемная единица – рад ($0,01 \text{ Дж/кг}$).

Экспозиционная доза X – характеристика эффекта ионизации среды электромагнитными излучениями (используется только для рентгеновского и гамма-излучений). Это полный заряд ионов одного знака, образованных в воздухе при полном торможении всех электронов, образованных излучением в единице массы воздуха, определяется по формуле:

$$X = dQ/dm, \quad (2.3)$$

В СИ единица измерения экспозиционной дозы (X) – [Кл/кг]. Внесистемная единица – Рентген (Р). Это экспозиционная доза фотонного излучения, которая в 1 см^3 воздуха создает ионы с $\approx 3,33564 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$ (1 единица СГСЭ) заряда каждого знака. Отсюда $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Вредные факторы производственной среды

Эквивалентная доза H – величина, введенная для оценки хронического облучения, поскольку одинаковая поглощенная доза различных видов излучений вызывает различные последствия для человека, определяется как произведение поглощенной дозы X на коэффициент качества излучения Q :

$$H = D \cdot Q, \text{ з}, \quad (2.4)$$

В СИ единица измерения *эквивалентной дозы (H)* – Зиверт [Зв] – это поглощенная доза любого вида излучения, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза гамма-излучения в 1 Гр.

Внесистемная единица – биологический эквивалент рентгена [бэр], 1 бэр = 0,01 Зв. Коэффициенты качества ионизирующих излучений представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Коэффициенты качества ионизирующих излучений

Вид излучения	Значения
Гамма- и рентгеновское	1
Бета-частицы	1
Нейтроны с энергией до 100 кэВ	5
Нейтроны с энергией до 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией 2 – 20 МэВ	10
Альфа-частицы	20

На практике часто используются производные дозовые характеристики:

Мощность поглощенной дозы P_D – количество поглощенной дозы в единицу времени, [Гр/с]:

$$P_D = D/t, \quad (2.5)$$

Мощность экспозиционной дозы P_X – количество поглощенной дозы в единицу времени, [А/кг]:

$$P_X = X/t, \quad (2.6)$$

Мощность эквивалентной дозы P_H – количество поглощенной дозы в единицу времени, [Зв/с]:

$$P_H = H/t, \quad (2.7)$$

Большинство дозиметрических приборов измеряет мощность экспозиционной дозы. По ее значению можно судить об изменении интенсивности излучения.

2.4 Биологическое действие ионизирующих излучений

Основная опасность ионизирующих излучений заключается в том, что они не воспринимаются органами чувств человека и не могут быть обнаружены без специальных приборов, поэтому человек своевременно не может принять соответствующие меры безопасности.

По способу воздействия на организм различают внешнее и внутренне облучение.

Внешним называется облучение от источника, расположенного вне организма. Наиболее опасными при внешнем воздействии являются излучения с высокой проникающей способностью гамма и нейтронное излучения.

Внутреннее облучение происходит при попадании радионуклидов внутрь организма с воздухом, водой или пищей, а также при воздействии наведенной радиоактивности. Наиболее опасны радионуклиды, создающие альфа-излучение.

Периодическое попадание радиоактивных веществ в организм может вызывать кумулятивный эффект (накапливание в отдельных органах). Изотоп йода I^{131} накапливается в щитовидной железе; изотопы Sr , U , Zr откладываются в костях; La , Ce , To – в печени.

Общее действие ионизирующих излучений на живой организм заключается в ионизации молекул живой материи, повышении реакционной способности атомов, образовании свободных радикалов, что влечет за собой изменение химической структуры вещества. Наиболее выраженной реакцией является радиоллиз – радиационное разложение воды на атомарный водород

H и гидроксильную группу OH^- , которые вступают в реакцию с молекулами ДНК, белка, ферментов и пр., в результате чего нарушается нормальное течение биохимических реакций и

Вредные факторы производственной среды

искажается обмен веществ. В дальнейшем начинаются изменения в физиологических процессах, составе крови и пр. В результате возникают различные формы лучевой болезни, заболевания кожных покровов и внутренних органов, значительно увеличивается вероятность развития онкологических заболеваний.

Кроме того, ионизирующие излучения могут вызывать генетические мутации и таким образом распространяться на последующие поколения. Суммарный биологический эффект зависит от дозы облучения, вида, времени воздействия, размеров облученной поверхности, индивидуальной чувствительности.

Для всех проявлений ионизирующих излучений характерен скрытый (латентный) период, продолжительность может варьироваться от нескольких минут до десятков лет.

Наиболее характерным последствием воздействия ионизирующих излучений является *лучевая болезнь*. Выделяют 2 формы этого заболевания: острую и хроническую.

Острая лучевая болезнь – это общее заболевание организма, которое формируется при однократном (до 1 – 3 дней) внешнем облучении большой мощности высокими дозами за малый период времени.

Через некоторое время после облучения формируется первичная реакция, затем наступает латентный (скрытый) период, который продолжается до нескольких суток, после чего наступает резкое ухудшение (разгар болезни), завершающееся периодом разрешения заболевания (частичное или полное выздоровление, либо летальный исход).

Биологические нарушения и степени лучевой болезни при однократном облучении показаны в табл. 2.2.

Вредные факторы производственной среды

Таблица 2.2 – Биологические нарушения при однократном облучении

Доза облучения, (Гр)	Степень лучевой болезни	Начало проявления первичной реакции	Характер первичной реакции	Последствия облучения
До 0,25	Видимых нарушений нет. Возможны изменения в крови.			
0,25 – 1,0	Изменения в крови, трудоспособность нарушена			
1 – 2	Лёгкая (I)	Через 1-3 ч	Несильная тошнота с рвотой. Через несколько дней ухудшение картины крови	Проходит в день облучения Как правило, 100% -ное выздоровление даже при отсутствии лечения за 3-6 мес.
2 – 4	Средняя (II)	Через 1-2 ч. Длится 1 сутки	Рвота, слабость, недомогание	Выздоровление 50-80% пострадавших при условии спец.лечения
4 – 6	Тяжёлая (III)	Через 10-20 мин	Множественная рвота, сильное недомогание, температура -до 38	Выздоровление 20-40% пострадавших при условии спец. лечения
Более 6	Крайне тяжёлая (IV)	Через 1-5 мин	Эритема кожи и слизистых, неукротимая рвота, температура выше 38	Практически 100% летальный исход

Хроническая лучевая болезнь формируется в результате длительного воздействия ионизирующих излучений в относительно малых, но превышающих допустимые уровни дозах. Болезнь характеризуется медленным развитием отдельных симптомов и синдромов, своеобразием симптоматики и склонностью к прогрессированию.

В развитии хронической лучевой болезни выделяют три периода:

- 1) период формирования, или собственно хроническую лучевую болезнь;
- 2) период восстановления;
- 3) период последствий и исходов лучевой болезни.

Период формирования составляет 1 — 3 года. За это время формируется клинический синдром лучевой болезни с характерными для него проявлениями. Здесь как и в острой лучевой болезни, выделяют четыре степени тяжести: с I по IV. Все степени являются лишь разными фазами единого патологического процесса.

Период восстановления определяется обычно через 1 — 3 года после прекращения облучения или при резком снижении его интенсивности. В этот период можно четко установить степень выраженности первично-деструктивных изменений и составить определенное мнение о возможности репаративных процессов.

Период последствий характеризуется полным восстановлением здоровья, восстановлением с дефектом, стабилизацией бывших ранее изменений или ухудшением (прогрессированием процесса).

Отдаленные последствия облучения — нарушения состояния здоровья человека, проявляющиеся через длительное время (несколько месяцев или лет) после однократного или хронического облучения.

Принято различать два типа отдаленных последствий — соматические, развивающиеся у самих облученных, и генетические — наследственные заболевания, развивающиеся в потомстве облученных родителей. К соматическим отдаленным последствиям, которых относят, прежде всего, сокращение продолжительности жизни, злокачественные новообразования, болезни иммунной системы, изменения в половой системе и катаракту. Спектр генетических последствий очень широк

Следует иметь в виду, что деление на соматические и генетические последствия весьма условно, т.к. характер повреждения зависит от того, какие именно клетки подверглись облучению и в каких клетках это повреждение возникло — в соматических или зародышевых. В обоих случаях повреждается генетический аппарат, а, следовательно, и возникшие повреждения могут наследоваться. В первом случае они наследуются в пределах тканей данного организма, объединяясь в понятие соматического мутагенеза, а во втором — также в виде различных мутаций, но в потомстве облученных особей.

2.5 Нормирование воздействия ионизирующих излучений

Первые нормы радиационной безопасности были приняты в 1934 году Международной комиссией радиационной защиты (МКРЗ), которая установила так называемую «толерантную дозу» – 0,2 Р/сутки. Впоследствии она была уменьшена до 0,05 Р/сутки или 18 Р/год, а название «толерантная доза» изменено на «предельно допустимая доза», т.е. максимальная доза, которую можно считать безопасной. Современное нормирование основывается на теории, принятой МКРЗ в 1958 году, согласно которой любые незначительные дозы облучения могут вызвать нежелательные генетические последствия, причем вероятность таких последствий прямо пропорциональна величине дозы.

В настоящее время радиационную безопасность в РФ определяют Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [40], СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 [41] и другие нормативные документы [42, 43, 44].

Для нормирования используются следующие понятия и положения.

Эффективная доза – это величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Представляет сумму произведений эквивалентной дозы H_i в i -тых органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты W_i , [Зв]:

$$E = \sum_{i=1}^n W_i H_i, \quad (2.8)$$

Значения взвешивающих коэффициентов для тканей и органов при расчете эффективной дозы приведены в табл.2.3).

Вредные факторы производственной среды

Таблица 2.3 – Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы

Органы	Значения
Гонады	0,20
Костный мозг (красный), толстый кишечник, легкие, желудок	0,12
Мочевой пузырь, грудная железа, печень, пищевод, щитовидная железа	0,05
Кожа, клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05

Доза эффективная (эквивалентная) годовая – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Единица годовой эффективной дозы – зиверт (Зв).

Предел дозы – значение эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения населения и персонала за счет нормальной эксплуатации радиационного объекта, которое не должно превышать. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

Устанавливаются следующие **категории облучаемых лиц**:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

К **группе А** относится персонал, работающий непосредственно с источниками ионизирующих излучений, к **группе Б** – персонал, который по роду профессиональной деятельности может подвергаться облучению.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются два класса нормативов:

- основные пределы доз, приведенные в табл. 2.4;
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие.

Таблица 2.4 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
В хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
Коже	500 мЗв	500 мЗв
Кистях и стопах	500 мЗв	500 мЗв

Примечания: Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам. Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала [43].

На период беременности и грудного вскармливания ребенка женщины должны переводиться на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Для обеспечения условий, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого, с учетом достигнутого в организации уровня радиационной безопасности, администрацией организации дополнительно устанавливаются контрольные уровни (дозы, уровни активности, плотности потоков и др.).

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Началом периодов считается 1 января 2000 года.

Годовая эффективная доза облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 2.4 [43].

2.6 Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений

Основной целью защиты человека от действия радиоактивного излучения является снижение дозы облучения до величин, не превышающих предельные дозы и годовые предельные дозы [44].

Для защиты от **внешнего облучения** применяются следующие методы:

1. *Защита количеством* подразумевает проведение работы с минимальными количествами радиоактивных веществ, т.е. пропорционально сокращает мощность излучения. Однако требования технологического процесса часто не позволяют сократить количество радионуклида в источнике, что ограничивает на практике применение этого метода защиты.

2. *Защита временем* основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип применяется при непосредственной работе персонала с относительно слабыми источниками излучений, а также при ремонтных или аварийных работах. Основным условием обеспечения безопасности персонала при этом методе является строгий учет накопленной дозы. Работник, получивший за нормируемый промежуток времени дозу, превышающую предельную, отстраняется от работ с источниками излучений до окончания нормируемого периода.

3. *Защита расстоянием* – достаточно простой и надежный способ защиты. Это связано со способностью излучения рассеивать энергию по пути следования в воздушной или иной среде при взаимодействии с молекулами этой среды. Доза излучения L от точечного источника мощностью L_0 в среде с коэффициентом ослабления излучения данного вида μ на расстоянии R определяется по формуле [Зв]:

$$L = L_0 e^{-\mu R} \cdot \frac{I}{R^2}, \quad (2.9)$$

Увеличение расстояния от источника до человека обеспечивается применением дистанционного инструмента – манипуляторов, щипцов и специальных захватов.

4. *Защита экранированием* устраивается при значительной мощности источника излучений и является наиболее эффективным способом защиты. Она основана на приведенном выше законе ослабления излучения в веществе.

Материал экранов подбирают в зависимости от вида излучения, толщина определяется мощностью излучения. Лучшим материалом для защиты от рентгеновского и гамма-излучений считается свинец, позволяющий добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана. Более дешевые экраны делаются из просвинцованного стекла, железа, бетона, железобетона и воды.

Конструктивно защитные экраны могут экранировать непосредственно источник излучения (экран-контейнер); экранировать технологическое оборудование частично или полностью, при этом экраны могут устанавливаться на предусмотренные места непосредственно перед началом работы оборудования; монтироваться как части строительных конструкций (стен, перекрытий, ограждающих конструкций проемов и пр.; выполняться передвижными для защиты рабочего места на различных участках рабочей зоны. Экранами служат специальные СИЗ – просвинцованные фартуки, перчатки, боты, свинцовые смотровые стекла и щитки и т.д.

Внутреннее облучение считается более опасным. **Защита от внутреннего облучения** основана на исключении попадания радионуклидов в организм человека.

Для этого применяются следующие методы:

1. Все перечисленные выше методы, используемые для *защиты от внешнего облучения*.

2. *Герметизация* радиоактивных веществ в специальных сосудах или запаянных ампулах. Выполнение работ с этими веществами разрешается в герметичных защитных шкафах или боксах. Этим же целям служат устройство мощной вентиляции, обеспечивающей за 1 ч 5...10-крат-ный обмен воздуха, и наличие индивидуальных средств защиты – респиратора, противогаза, резиновых перчаток и т. п.

3. *Рациональная планировка помещений* для работы с радиоактивными веществами. В зависимости от степени опасности работ, для них должны предусматриваться отдельные здания, либо изолированные помещения.

4. *Дозиметрический контроль* производственных процессов, помещений, спецодежды и персонала.

5. Регулярная *дезактивация* помещений, оборудования, спецодежды, поверхностей тела.

6. *Средства индивидуальной защиты* персонала – спецодежда, спецобувь, средства защиты органов дыхания, изолирующие костюмы, дополнительные защитные приспособления.

7. *Выполнение правил личной гигиены.*

В качестве дополнительных мероприятий иногда используются радиопротекторы (радиозащитные препараты) – это химические соединения, применяемые для ослабления вредного действия ионизирующей радиации на организм и повышающие стойкость организма против облучения. Радиопротекторы используются только с целью профилактики, введение или прием их после облучения оказывается неэффективным [44].

Важное значение имеет правильная организация работ с источниками радиоактивного излучения [42]. На всех этапах получения, хранения, транспортировки, использования и утилизации радиоактивных материалов должен быть обеспечен строгий учет и контроль.

2.7 Радиационный контроль при работе с техногенными источниками ионизирующего излучения

Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 (с изменениями на 16 сентября 2013 года) [42].

Радиационный контроль при работе с техногенными источниками ионизирующего излучения является составной частью производственного контроля и должен осуществляться за всеми основными показателями, определяющими уровни облучения персонала и населения. На каждом радиационном объекте система радиационного контроля должна предусматривать конкретный перечень видов контроля, типов используемой радиометрической и дозиметрической аппаратуры и точек измерения с указанием периодичности каждого вида контроля.

Вредные факторы производственной среды

Радиационный контроль должен включать индивидуальный дозиметрический контроль персонала и контроль радиационной обстановки.

Индивидуальный дозиметрический контроль проводится с целью определения годовых доз персонала и является обязательным для персонала группы А.

Индивидуальный дозиметрический контроль за облучением персонала группы А в зависимости от характера проводимых работ включает:

- контроль за характером, динамикой и уровнями поступления радионуклидов 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 индивидуального дозиметрического контроля должны быть получены значения эффективных доз персонала и определены, при необходимости, значения эквивалентных доз облучения в коже, хрусталике глаза, кистях и стопах [42].

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 радиационного объекта 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, дисперсности и типа при ингаляции;
- измерение или оценку активности выбросов и сбросов радиоактивных веществ;
- определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Вредные факторы производственной среды

Система контроля радиационной обстановки 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.

Автоматизированные системы должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку, хранение и выдачу информации.

В помещениях, где ведутся работы с делящимися материалами в количествах, при которых возможно возникновение цепной ядерной реакции деления, а также на ядерных реакторах, критических сборках и при работах I класса, где радиационная обстановка при проведении работ может существенно изменяться, необходимо устанавливать приборы радиационного контроля со звуковыми и световыми 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 5 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 носитель 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 ионизирующего излучения, должна передаваться на новое место работы; оригинал должен храниться на прежнем месте работы.

Лицам, командировемым для работ с источниками ионизирующего 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 ионизирующего излучения, должны устанавливаться контрольные уровни.

Вредные факторы производственной среды

Перечень и числовые значения контрольных уровней определяются в соответствии с условиями работы и согласовываются с органом, осуществляющим федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

При установлении контрольных уровней следует исходить из принципа оптимизации с учетом:

- неравномерности радиационного воздействия во времени;
- целесообразности сохранения уже достигнутого уровня радиационного воздействия на данном объекте ниже допустимого;
- эффективности мероприятий по улучшению радиационной обстановки.

При изменении характера работ перечень и числовые значения контрольных уровней подлежат уточнению.

При установлении контрольных уровней объемной и удельной активности радионуклидов в атмосферном воздухе и в воде водоемов следует учитывать возможное поступление их по пищевым цепочкам и внешнее излучение радионуклидов, накопившихся на местности.

Результаты радиационного контроля сопоставляются со значениями пределов доз и контрольными уровнями. Превышения контрольных уровней должны анализироваться администрацией объекта. О случаях превышения годовых пределов эффективных доз для персонала, установленных НРБ-99/2009, годовых пределов эквивалентных доз облучения персонала или квот облучения населения, администрация должна информировать органы исполнительной власти, уполномоченными осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трушкова Е.А., Стасева Е.В., Волкова Н.Ю. Вредные факторы производственной среды. Часть 1. учебное пособие. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 143с.
2. Федеральный закон РФ от 30.12.2001 №197-ФЗ «Трудовой Кодекс Российской Федерации» (с измен.)
3. Пушенко С.Л., Деундяк Д.В., Омельченко Е.В, Нихаева А.В., Пушенко А.С., Трушкова Е.А., Стасева Е.В., Федина Е.В., Филь Е.С. Безопасность жизнедеятельности, часть 2 Производственная санитария и гигиена труда: учебное пособие. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 164с.
4. Федеральный закон РФ от 28 декабря 2013 г. №421-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. Федеральный закон РФ от 28 декабря 2013г. №426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
6. Приказ Минтруда России от 24 января 2014г. №33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».
7. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. Москв: Физматлит, 2005.
8. В.И. Трухин и др. Магнетизм почв. Ярославль, 1995.
9. Белов С.В. и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов. 7-е изд., – М.: Высшая школа, 2007.
10. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях
11. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2490-09 Изменения № 1 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03
12. ГОСТ 12.1.002-84*(2013) ССБТ Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах
13. ГОСТ 12.4.154-85*(2003) Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

Вредные факторы производственной среды

14. ГОСТ 12.1.006-84*(2010) ССБТ Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

15. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров
СанПиН от 31 июля 1991 года №5804-91.

16. ГОСТ Р ИСО 11554-2008. Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы испытаний лазеров и измерений мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка

17. ГОСТ 12.1.040-83*(2008) ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.

18. ГОСТ 12.0.004-90* ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения и Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров

19. ГОСТ 12.1.045-84*(2001) ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

20. ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях.

21. ГОСТ 12.1.005-88* (2001) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

22. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21).

23. ГОСТ 12.4.176-89*(2003) ССБТ. Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека

24. ГОСТ 12.4.045-87*(2015) ССБТ. Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. Технические условия

25. СН 4557-88*(2015). Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях

26. Руководство РЗ.5.1904-04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях;

27. Методические указания. МУ 2.3.975-2000. Применение ультра-фиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами.

28. Фролов А.В., Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Пушенко С.Л., Чибинев Н.Н., Шевченко А.С. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 704 с.

29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы с изменениями №1 (СанПиН 2.2.2/2.4.2198-07), №2 (СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10), №3 (СанПиН 2.2.2/2.4.2732-10).

30. СанПиН 2.2.4.1329-03 Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей.

31. Приказ Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 N 302н

32. Айзман Р.И. и др. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности. Новосибирск: 2011.

33. Чулков Н.А. Безопасность жизнедеятельности, Томск: ТПУ; 2010.

34. Вашко И.М. Охрана труда: ответы на экзаменационные вопросы, Минск: 2014.

35. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2776-10 "Гигиенические требования к оценке условий труда при расследовании случаев профессиональных заболеваний"

36. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» (в редакции СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07 "Изменения № 1 к СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03"

37. Плачкова, С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5.

1. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / С. Г. Плачкова // [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://energetika.in.ua/ru/books/book-5>

38. А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко – Медицинская и биологическая физика: учебник для вузов (4-е изд-е, перераб. и дополн.)/ М.: Дрофа -2003.

39. Часников И.Я. Эхо ядерных взрывов. Алматы, 1996. 98 с.

40. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»

41. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Вредные факторы производственной среды

42. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.

43. Сердюк, В.С. Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов/ В.С. Сердюк, Л.Г. Стищенко, Е.Г. Бардина. – Омск: Изд-во ОмГТУ. 2010 – 79 с.

44. Радиационная гигиена: учеб. для вузов / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. — 384 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАЗЕРОВ ПО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

