

Влияние энергетических полей и продуктов радиоактивного распада

В главах 3-5 рассмотрены вопросы защиты окружающей среды от техногенного воздействия веществ (газообразных, жидких и твердых). Однако наряду с вещественным на окружающую среду оказывается энергетическое воздействие, также носящее материальный характер (разд. 2.6.1). Являясь общей мерой различных видов движения и взаимодействия, *энергия* существует в различных формах: механической, электромагнитной, ядерной и др. Эти формы присутствуют в окружающей среде в виде различных колебаний и волн.

6.1. Механические колебания и волны

6.1.1. Общие представления

Колебательные движения, или колебания, широко распространены в природе и технике. Наиболее характерным признаком колебательного движения является его повторяемость или почти повторяемость. Так, маятник, проделав путь от крайнего левого до крайнего правого положения и обратно, вновь совершит то же движение. Если оно повторяется точно, то его называют *периодическим*. Следовательно, *колебания* — это движение, которое точно или приблизительно повторяется через определенные промежутки времени.

Одними из наиболее распространенных видов колебаний являются *механические*. Они заключаются в периодическом изменении координат тела и скорости его перемещения. С понятием «колебание» тесно связано другое — «волна».

Отдельные частицы любого твердого, жидкого или газообразного тела взаимодействуют друг с другом. Поэтому если какая-нибудь часть тела начинает совершать колебательные движения, то, благодаря взаимодействию между частицами, это движение с некоторой скоростью распространится во все стороны. Колебания, *распространяющиеся в пространстве*, называют *волной*. Таким образом, механические колебания обуславливают появление механических волн. Необходимым условием их распространения является наличие твердой, жидкой или газообразной среды. В вакууме механические волны отсутствуют.

К числу механических колебаний, часто возникающих при реализации технологических процессов, относится вибрация. Механические волны включают инфразвук, акустические колебания и ультразвук. Вибрация и механические волны имеют общую природу, так как, в соответствии с изложенным, источником их являются колебания твердой, жидкой или газообразной сред.

6.1.2. Вибрация

Простейшим видом вибрации являются гармонические (синусоидальные) колебания.

Основные параметры синусоидальных колебаний: частота, $\Gamma\text{ц}$; амплитуда смещения, м или см; скорость V , м/с; ускорение a , м/с^2 или в долях ускорения силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$).

За пороговый уровень колебательной скорости принимается величина $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$, соответствующая среднеквадратичной колебательной скорости при стандартном пороге звукового давления, равном $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$. За пороговый уровень колебательного ускорения принимают величину $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, вибросмещения — $(8 \cdot 10^{-12} \text{ м})$.

Относительные уровни виброскорости L_V и виброускорения L_a выражают в децибелах (разд. 6.1.3.2) и определяют по формулам (6.1) и (6.2):

$$L_V = 20 \lg \left(\frac{V}{V_0} \right) = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}} , \quad (6.1)$$

где V — среднеквадратичная виброскорость, м/с; V_0 — пороговая виброскорость, равная $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{3 \cdot 10^{-4}} . \quad (6.2)$$

Классификация вибраций осуществляется по нескольким признакам.

По способу передачи человеку различают вибрации *локальные* (местные) и *общие*. Первые передаются через руки (при работе с ручными машинами, органами управления), вторые — через опорные поверхности стоящего, сидящего или лежащего человека.

По характеру спектра вибрации подразделяют на узко- и широкополосные. В *узкополосных* вибрациях контролируемые параметры в $1/3$ -октавной полосе частот (разд. 6.1.3.2) более чем на 15 дБ превышают значения в соседних $1/3$ -октавных полосах. *Широкополосные* вибрации не отвечают этим требованиям.

По частотному составу различают вибрации: *низкочастотные* с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах 8 и 16 Гц (локальные), 1 и 4 Гц (общие); *среднечастотные* — 31,5 и 63 Гц (локальные), 8 и 16 Гц (общие); *высокочастотные* — 125, 250, 500 и 1000 Гц (локальные), 31,5 и 63 Гц (общие).

Местные вибрации создают преимущественно ручные машины ударного, ударно-вращательного и вращательного действия: клепальные, рубильные, отбойные молотки, бурильные перфораторы, трамбовки, гайковерты, поверхностные и глубинные ручные вибраторы, шлифовальные машины, бензо- и электропилы, дрели и т.п.

Общую вибрацию инициируют, например, самоходные и прицепные машины (транспортная вибрация), экскаваторы, промышленные и строительные краны, горные комбайны, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт (транспортно-технологическая вибрация), станки металлорежущие и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, буровые станки, электрические машины и др. (технологическая вибрация).

Особенно опасны колебания в режиме резонанса, когда резко возрастает их амплитуда. При резонансе совпадают частота так называемых вынужденных колебаний тела, обусловленная действием на него периодически изменяющихся внешних сил, и частота его свободных колебаний, возникающих в нем под влиянием внутренних сил после выведения тела из равновесия. Классическим примером возможной ситуации резонанса является прохождение по мосту строевым шагом воинской части. В данном случае вероятно совпадение частоты свободных колебаний самого моста и вынужденных его колебаний под влиянием мерного шага воинской колонны. Как следствие можно получить недопустимо большую вибрацию моста и его разрушение. Именно поэтому при переходе через мост воинским частям запрещается идти «в ногу».

Характер воздействия вибраций на организм определяется их уровнями, спектром частот, физиологическими параметрами тела человека.

Местные вибрации малой интенсивности могут оказать даже благоприятное влияние: восстановить обмен веществ и питание тканей организма, улучшить функциональное состояние центральной нервной системы, ускорить заживление ран. Однако при увеличении интенсивности колебаний и длительности их воздействия появляются изменения, в ряде случаев приводящие к развитию профессиональной патологии — вибрационной болезни.

К ведущим проявлениям вибрационной патологии относятся нейрососудистые расстройства рук, сопровождаемые интенсивными болями после работы и по ночам, снижением всех видов кожной чувствительности,

слабостью в кистях. Зачастую наблюдается феномен «мертвых», или белых, пальцев. Параллельно развиваются мышечные или костные изменения, невроты, процессы биологического старения (Вербовой...).

Предельно допустимые величины некоторых видов вибраций (табл. 6.1), предусматриваемые основными законодательными документами, показывают, что уровень транспортно-технологического воздействия (длительность 8 ч) значительно выше, чем в жилых помещениях. Предельно допустимые уровни других видов вибраций, не отраженных в табл. 6.1, например технологических на постоянных рабочих местах, в складах, столовых, бытовых, дежурных комнатах, на рабочих местах умственного труда (заводоуправление, конструкторское бюро, вычислительные центры и т.д.), ниже транспортно-технологических, но выше, чем в жилых помещениях.

Таблица 6.1

Допустимые значения вибрации

Тип вибрации	Параметр, дБ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
		2	4	8	16	31,5	63
Транспортно-технологическая	Виброскорость	117	108	102	101	101	101
	Виброускорение	62	59	59	65	71	71
В жилых помещениях	Виброскорость	79	73	67	67	67	67
	Виброускорение	25	25	25	31	37	43

Для снижения воздействия вибраций необходимы мероприятия по их элиминированию в источниках возникновения или, при невозможности этого, на путях распространения колебаний.

Основной причиной вибрации многочисленного оборудования с вращающимися частями, например насосов, компрессоров, двигателей, является дисбаланс этих частей, вызванный неоднородностью материала конструкции (литейные раковины, шлаковые включения), искривлением валов и роторов, неплотностью крепежных соединений, излишними люфтами и зазорами между отдельными элементами оборудования. Устранение указанных причин и исключение резонансных режимов работы оборудования позволяют резко снизить величину вибраций в источнике возникновения.

Способы снижения вибраций на путях их распространения включают виброгашение, виброизоляция и вибродемпфирование.

При *виброгашении* фундамент и установленное на него оборудование соединяют в единую систему с помощью анкерных болтов или цементной заливки. Этот метод требует больших затрат времени. В

ряде случаев фундамент представляет собой сложное инженерное сооружение, по стоимости значительно более дорогое, чем оборудование.

Поэтому, когда это возможно, стараются установить оборудование без фундамента, непосредственно на *виброизолирующих опорах*. Такие опоры можно применять и при наличии фундамента. Их располагают между источником вибраций (машина) и фундаментом (основанием, опорной плитой) либо между фундаментом и грунтом. Виброизоляторами служат резиновые или пластмассовые прокладки, одиночные или составные цилиндрические пружины, листовые рессоры, комбинированные (пружинно-резиновые, пружинно-пластмассовые, пружинно-рессорные) и пневматические (воздушные подушки) виброизоляторы. Виброизоляция проще и дешевле виброгашения и может использоваться совместно с ним.

В основе *демпфирования* лежит поглощение энергии колебания системы за счет увеличения в последней активных потерь. Вибродемпфирование реализуется применением материалов с большим внутренним трением: малоуглеродистых и малосернистых чугунов, сплавов цветных металлов. Перспективны вибродемпфирующие покрытия. Их применяют для снижения колебаний трубопроводов и газопроводов компрессорных станций, воздухопроводов систем вентиляции административных зданий. К числу распространенных вибродемпфирующих покрытий относятся мастичные и листовые (пенопласт, войлок, поролон, минераловатные плиты, губчатая резина и др.).

К работе с вибрирующими машинами и оборудованием допускаются лица не моложе 18 лет, получившие необходимую квалификацию и сдавшие технический минимум по правилам безопасного выполнения работ.

6.1.3. Механические волны

Механические волны, распространяемые в окружающей среде, имеют разную частоту. Различают волны с частотами менее 17 Гц (*инфразвук*), 17-20000 Гц (*звук*) и более 20000 Гц (*ультразвук*). Инфра- и ультразвуки не улавливаются человеческим ухом (не слышимы), колебания в диапазоне 17-20000 Гц воспринимаются как звучание. В технике механические волны в режиме звучания часто называют акустическими, выделяя в них звук и шум (разд. 6.1.3.2).

6.1.3.1. Инфразвук

В природных условиях инфразвуковые волны возникают во время ураганов и землетрясений на море. Скорость их распространения в воде гораздо выше, чем перемещение урагана или гигантских волн цунами, образующихся при землетрясении. Это позволяет, фиксируя инфразвуковые волны, заранее получать сигналы приближающейся опасности.

Одной из особенностей инфразвуков является их слабое, по сравнению с волнами звуковыми, поглощение в воздухе. Поэтому инфразвук распространяется на большие расстояния — в несколько тысяч километров при мощных взрывах.

Данный вид механических волн пока мало применяется в технике, но достаточно часто возникает в качестве побочного эффекта при наличии низкочастотных акустических колебаний. Инфразвуковое воздействие часто приводит к появлению у подвергшихся ему лиц многочисленных субъективных ощущений: страха, тревоги, слабости, дискомфорта, угнетенного состояния. Возникают также вполне объективные неприятные ощущения в брюшной и грудной полостях, чувство вибрации тела, головокружение, тошнота. Учитывая большую длину волны инфразвуковых колебаний, их отрицательное воздействие на организм человека проявляется на значительных расстояниях от источника.

Существенно опасны вибрации в диапазоне 11-35 Гц (особенно 16 Гц) на рабочих местах. Наряду с отмеченным выше они могут привести к непроизвольному мочеиспусканию, болям во внутренних органах, рвоте, потере сознания, нарушению и даже прекращению сердцбиения. У 80% операторов такие отклонения наблюдают уже при акустическом давлении 110 дБ. Зарегистрированы также изменения метаболической активности клеток в жизненно важных системах организма с комплексом симптомов, характерных для стресса.

Энергетическое воздействие инфразвука воспринимается всем организмом и его рецепторными полями: слуховым, вестибулярным, механорецепторами кожи, опорно-двигательного аппарата, внутренних органов и др.

Разрушительное действие энергии низкочастотных колебаний особенно ощутимо на границе сред с разной плотностью. Самое уязвимое место организма в данном случае — граница перехода из воздушной среды альвеол легких в ткань межальвеолярных перегородок. При этом степень выраженности морфологических изменений легких пропорциональна интенсивности инфразвукового воздействия. Этими изменениями объясняются функциональные нарушения внешнего дыхания, например профессиональная легочная патология у специалистов, обслуживающих инфразвуковые установки.

В соответствии с санитарными нормами уровни инфразвука на рабочих местах не должны превышать 105 дБ в каждой октавной полосе от 2 до 31,5 Гц, а на территории жилой застройки — 90 дБ.

Средства защиты от инфразвука в значительной степени отличаются от применяемых в борьбе с другими видами механических волн. Это связано со значительно большей длиной инфразвуковых волн по сравнению с размерами препятствий на пути распространения. В частности, малоэффективна защита от вредного воздействия инфразвука расстоянием, так как поглощение последнего с частотой менее 10 Гц в нижних слоях атмосферы не превышает $8 \cdot 10^{-6}$ дБ/км.

Снижение интенсивности инфразвука может быть достигнуто изменением конструкции или режима работы устройств: акустической изоляцией источника; поглощением энергии при помощи глушителей, в том числе работающих на тех же принципах, что и глушители шума, например камерные, резонансного типа (разд. 6.1.3.2); использованием механических преобразователей частоты с переводом низкочастотных колебаний в менее опасные ультразвуковые.

6.1.3.2. Акустические волны

Как было отмечено, к акустическим относят механические волны с частотой 17-20000 Гц. Достигая человека, они приводят к вынужденным колебаниям барабанной перепонки ушей и воспринимаются как звук. Звуковую волну создает любое тело (твердое, жидкое или газообразное), колеблющееся с указанной частотой. Скорость C распространения звука зависит от агрегатного состояния, плотности и температуры среды. В частности, в газе она пропорциональна абсолютной температуре T , обратно пропорциональна молекулярной массе M и, следовательно, плотности газа:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (6.3)$$

где R — универсальная газовая постоянная; γ — отношение удельных теплоемкостей газов при постоянном давлении и постоянном объеме.

Скорости звука в разных средах составляют, м/с: при 0°C в воздухе — 331; водороде — 1286; диоксиде углерода — 258; жидком водороде (при -256°C) — 1187; жидком и твердом олове — соответственно 2270 (при 380°C) и 3320; в твердом железе — 5930. В общем случае наибольшая степень распространения звука наблюдается в твердых телах, затем — в жидких и газообразных.

Важно отметить, что при переходе из одной среды в другую частота акустических волн остается постоянной, но изменяется их длина в соответствии с вариациями скорости.

При известной частоте колебаний ν и скорости звука C длина λ звуковой волны равна C/ν . Отсюда следует, что при 0°C самые длинные волны, воспринимаемые ухом в воздухе, равны 19,5 м, а самые короткие — 16,5 мм.

Частота колебаний звука определяет его тональность. Условно считают, что большей частоте соответствует более высокая тональность звука. В частности, представление о высоком тоне дает звук летящего комара, о низком — гудение шмеля.

Весьма важной характеристикой звуковых волн является их интенсивность (громкость). Восприятие громкости субъективно, поскольку один и тот же звук кому-то может показаться громким, а другому — тихим; интенсивность же (сила) звука — критерий объективный. Ее определяют по энергии, которую переносят звуковые волны за единицу времени через единицу площади поперечного сечения, перпендикулярного направлению распространения волн. Единицей измерения интенсивности звука в системе СИ является 1 Вт/м^2 .

На практике для оценки интенсивности звуков обычно принимается логарифмическая шкала. Одна единица на ней, соответствующая увеличению звуковой энергии в 10 раз (логарифм 10 равен 1), получила название бел (Б). Однако практически более удобно использовать не бел, а в десять раз меньшую величину — децибел (дБ), которая примерно соответствует минимальному приросту силы звука, различаемому ухом.

В реальных условиях производства и быта чаще встречаются не звуковые волны определенной частоты, а шум, в котором одновременно присутствуют акустические волны всевозможных частот.

Интенсивность шума определяется в пределах октав. Октава — диапазон частот, в котором верхние их значения f_v вдвое больше нижних (f_n), например 40-80, 80-160 Гц. Для идентификации октав принимают так называемые среднегеометрические частоты ($f_{\text{сг}}$). В частности, для октавы 40-80 Гц среднегеометрическая частота составляет 62,5 Гц, для октавы 80-160 Гц она равна 125 Гц и т.д. При этом:

$$f_{\text{сг}} = \sqrt{f_v \cdot f_n} = \sqrt{2f_n^2} = 1,4f_n \quad (6.4)$$

Известно несколько классификаций шума:

по частотной характеристике — низкочастотные (до 350 Гц), среднечастотные (350-800 Гц) и высокочастотные (более 800 Гц);

по характеру спектра — широкополосные, с непрерывным спектром более октавы, и тональные, в которых уровень шума в одной из

полос повышен не менее чем на 10 дБ в сравнении с соседними 1/3-октавными полосами;

по временным характеристикам — постоянные, уровень интенсивности которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБ, и *непостоянные*, не соответствующие этому требованию.

В промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте имеется значительное число видов профессиональной деятельности, связанных с высоким уровнем шума. Это работа буровых станков, отбойных молотков, горных машин и комбайнов в горнорудной промышленности; дробление и измельчение в процессах обогащения полезных ископаемых; обрубка литья, механическая обработка и ковка в машиностроении; прядильно-ткацкое производство; клепка, сверление, сварка на предприятиях строительного профиля, работа транспорта и т.д.

Усредненный уровень шума, создаваемый некоторыми его источниками, выглядит следующим образом, дБ: гидроструйный транспорт в забоях — 140, пневматическое долото — 122, ткацкие станки — 112, отрезная пила — 106, сельскохозяйственный трактор — 103, токарный станок — 95, пылесос — 72, разговор — 60; транспортные средства: автобусы — 82-90, трамваи — 85-90, троллейбусы — 71-74; магистральные улицы — 90-95, кварталы вдоль магистралей общегородского значения — 67-77, поезд при скорости 70-80 км/ч на рельсах с деревянными шпалами — 125-130 дБ. Авиационный шум оказывает неблагоприятное воздействие в радиусе до 10-20 км.

Характер восприятия человеком уровня громкости шума изменяется в зависимости от его интенсивности. Как болезненно громкий воспринимается шум 130-120 дБ, дискомфортно-громкий — 110-100, очень громкий — 90-80, умеренно громкий — 70-60, тихий — 50-40, очень тихий — 30-20 дБ.

К наиболее опасным для здоровья относятся уровни свыше 80 дБ. Уровень 120-130 дБ вызывает болевые ощущения, при интенсивности ~140 дБ может наступить потеря слуха. Выяснено также, что шумы сплошного спектра менее раздражают, чем с узким интервалом частот. Наибольшее раздражение вызывает шум в диапазоне 3000-5000 Гц.

Воздействие шума на организм может проявляться в виде специфического поражения органа слуха (шумовая болезнь), нарушения функционального состояния других органов и систем, снижения производительности труда, повышения уровня травматизма.

Длительное воздействие интенсивного шума (свыше 80-85 дБ) приводит к частичной или полной потере слуха. По данным отечественных специалистов, профессиональной тугоухостью страдает ряд категорий работников, %: наземных служб аэродромов, компрессорных станций, испытателей двигателей, кузнецов — 77; ткацкого производ-

ства — 45-70; рудников и машиностроительных заводов, моряков, рыбаков — 42-43. В структуре хронических заболеваний органов дыхания и слуха в нашей стране на долю нейросенсорной тугоухости приходится более 31%. Аналогично положение за рубежом. В США насчитывается 35 млн человек с потерей слуха, из которых профессиональной тугоухостью страдают 8 млн. Возможные компенсации последним оцениваются суммой 20 млрд дол. Это превращает компенсацию профессиональной тугоухости в наиболее важную медико-социальную проблему США (Ларина).

Наряду с этим шум может негативно отразиться на сердечно-сосудистой системе с развитием гипертонической болезни, вызвать системный атеросклероз сосудов, острое нарушение коронарного и мозгового обращения, частые обострения язвенной болезни. Более 80% мигреней, 52% расстройств памяти также обусловлены шумом.

Весьма существенно отрицательное влияние шума на зрение. Наблюдается утомление зрительного анализатора, снижается устойчивость остроты зрения и чувствительность глаза к различным световым спектрам и дневному свету. Ухудшаются ответные реакции на цветовые сигналы, точность оценки расстояния при движении руки.

Шум негативно сказывается на результатах профессиональной деятельности. При его наличии на 30% падает качество ручного труда, на 60% — умственного; 11-16% несчастных случаев также обусловлены им. В 30% случаев шум является причиной преждевременного старения и сокращения продолжительности жизни на 8-12 лет. В целом неблагоприятное акустическое воздействие ощущает каждый второй человек на планете.

Шум как достоверная причина ряда инфекционных заболеваний населения выявлен при измерениях его внешнеквартирных (68-75 дБ) и внутриквартирных (54-58 дБ) значений на протяжении 14 лет (1982-1995 гг.). В частности, для взрослых найдены следующие коэффициенты корреляции между интенсивностью шума и заболеваниями: злокачественные образования — 0,89; кровь и кровеносные органы — 0,77; органы зрения — 0,75; органы дыхания — 0,62; средний отит, мастоидит уха и сосцевидного отростка — 0,92; гипертония — 0,79; ишемия сердца — 0,92; органы пищеварения — 0,72; мочеполовая система — 0,54; суммарная заболеваемость — 0,72 (Близнюк).

Первые в мире нормы по шуму были приняты в СССР (1956 г.). В начале 60-х годов появились нормы, рекомендованные Международной организацией по стандартизации (ISO). В настоящее время действует более 70 международных стандартов, в России — свыше 80 отечественных.

Постоянный шум нормируется по уровню звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Непостоянный шум регламентируется по эквивалентным и максимальным уровням звука. *Эквивалентный* (по энергии) *уровень* соответствует звуку постоянного широкополосного шума, имеющего то же среднеквадратичное звуковое давление, что и сравниваемый непостоянный шум. *Максимальный уровень* непостоянного шума определяется по наивысшим показателям шумомера в течение

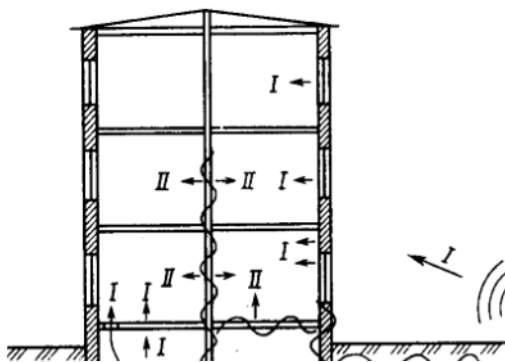


Рис. 6.1. Пути проникновения шума

I — воздушный шум; II — структурный шум; 1, 2 — источник шума и вибраций

1% общего времени измерения. Эквивалентные уровни измеряют по шкале А шумомера, на что указывает размерность величины (дБА).

Отметим некоторые допустимые уровни звука в помещениях жилых и общественных зданий, на территориях жилой застройки и при различных видах профессиональной деятельности (в интервале среднегеометрических частот 31,5-8000 Гц), дБ: творческая деятельность с повышенными

требованиями — 86-38; административно-управленческая деятельность — 93-94; диспетчерская работа — 96-95; дистанционное управление производственным циклом — 103-75; работа с оборудованием, характеризующимся повышенным уровнем шума и требующим специальных мер по его снижению — 110-85; другие виды работ, не соответствующие вышеперечисленным — 107-80; жилые комнаты квартир — 40; территории, непосредственно прилегающие к жилым домам — 55 (с 7 до 23 ч) и 45 (с 23 до 7 ч).

Способы защиты от шума в настоящее время достаточно разнообразны. Выбор конкретного из них определяется тем, к какому виду он относится, является ли он, например, воздушным или структурным. *Воздушный шум* распространяется в свободном воздушном пространстве на всем расстоянии от источника возникновения до реципиента. *Структурный шум* излучается в замкнутое пространство зданий и сооружений поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок и т.п. (рис. 6.1).

При распространении воздушного шума существенное снижение интенсивности его воздействия может быть достигнуто удалением от него, особенно при высоких частотах:

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Снижение шума, дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

При наличии источников структурного шума в большинстве случаев для его снижения требуется применение специальных мер.

Одной из них является использование звукопоглощающих (ЗПМ) и вибродемпфирующих (ВДМ) материалов, а также изделий из них (базальтовое и стеклянное волокно, пенополиуретан, мастики и др.). Большой эффект дает покрытие вибрирующей поверхности материалом со значительным внутренним трением (резина, пробка, битум и т.п.).

Шумы ослабляются устройством на машинах специальных кожухов или размещением шумящего оборудования в помещениях с массивными стенами без щелей и отверстий.

Одним из эффективных способов поглощения шумов является применение глушителей. Выбор типа глушителей зависит от спектра шума, требуемой величины снижения последнего, конструкции заглушаемой установки, допустимого аэродинамического сопротивления. В зависимости от *принципа* действия, глушители делят на абсорбционные, реактивные (рефлексные) и комбинированные.

Абсорбционные глушители снижают шум за счет поглощения звуковой энергии в применяемых для них звукопоглощающих материалах, а *реактивные глушители* — в результате обратного отражения звука к его источнику. *Комбинированные глушители* обладают способностью как поглощать, так и отражать звук. Такое деление достаточно условно, так как в каждом глушителе звуковая энергия и поглощается, и отражается, только в разных соотношениях.

Глушители абсорбционного типа обеспечивают необходимое снижение шума в широком диапазоне частот при небольшом аэродинамическом сопротивлении, поэтому они нашли широкое применение в аэродинамических установках. Наиболее простыми из них являются трубчатые глушители в виде каналов круглого, квадратного или прямоугольного сечения, выполненных из перфорированного листового материала и облицованных слоем звукопоглотителя типа стеклянного или базальтового полотна, минераловатных плит. Для уменьшения габаритов глушителей и увеличения интенсивности затухания шума в них на единицу длины в широких каналах устанавливают пластинчатые глу-

шители, представляющие собой набор параллельно установленных звукопоглощающих пластин.

Глушители реактивного типа применяют в основном для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими, характерными для двигателей внутреннего сгорания, поршневых компрессоров и т.п. Их устанавливают в трубопроводах сравнительно небольших диаметров, когда длина волны заглушаемого звука значительно больше поперечных размеров трубопровода. Наиболее распространенные конструкции реактивных глушителей — камерные и резонансные. Первые представляют собой внезапное расширение участка трубопроводов, вторые — это ответвленные и концентрические объемы с жесткими стенками, сообщающиеся с трубопроводом через отверстия.

На практике часто используют комбинированные глушители, работающие одновременно и как абсорбционные, и как реактивные, например камерные глушители с облицованной звукопоглощающим материалом внутренней поверхностью.

Если агрегаты не могут быть звукоизолированы, то для защиты персонала и других лиц от прямого воздействия шума необходимо применять акустические экраны, облицованные звукопоглощающим материалом, звукоизолированные кабины наблюдения и дистанционного управления, средства индивидуальной защиты: противошумы в виде заглушек-вкладышей, наушники и шлемы. Акустические экраны в виде стенок, насыпей и комбинированные при высоте 2-2,5 м устанавливают, например, вдоль автомобильных и железных дорог, в аэропортах. При их возведении используют бетон, стекло, кирпич, дерево, старые покрышки и т.п.

В последние годы разработаны новые методы борьбы с шумом, основанные на улучшении качества восприятия звука и интерференции звуковых волн.

Улучшение качества звука основано на том, что шумы разного частотного состава, но одинаковые по уровню интенсивности звука, воспринимаются по-разному. Разница восприятия может достигать 10-14 дБ.

Интерференция звуковых волн при их наложении — принципиально новая технология активной шумозащиты. Она реализуется путем генерирования звуковой энергии дополнительным источником. Ее применяют для снижения внутреннего и внешнего шума автомобилей, самолетов, вентиляционных систем и пр. Достижимое снижение уровня звукового давления составляет 7-15 дБ на низких частотах (преимущественно до 500 Гц) или на основных частотах вращения турбомашин, вентиляторов и т.д. (Иванов).

Ослаблению шума способствуют планировочные мероприятия. В частности, шумные цехи следует размещать в глубине заводских территорий, ограждать зоной зеленых насаждений.

Неблагоприятное влияние шумов может быть уменьшено не только техническими и технологическими средствами, планировочными мероприятиями, но и сокращением времени их воздействия, рациональными режимами труда и отдыха с использованием комнат акустической разгрузки и т.п.

6.1.3.3. Ультразвук

Как уже отмечалось, ультразвук отличается от звука лишь более высокой частотой, превышающей верхний порог слышимости (20 кГц). Он также способен распространяться в любых (твердой, жидкой, газообразной) средах. Скорость распространения в них различна и зависит от свойств среды — плотности, упругости, вязкости и температуры. Ультразвук сильно поглощается газами и во много раз слабее — твердыми веществами и жидкостями, поэтому только в этих двух последних средах он может передаваться на значительные расстояния. В воздушной среде хорошо распространяется только низкочастотный (до 30 кГц) ультразвук, при большей частоте он в воздухе сразу гасится. Поглощение ультразвука при увеличении его частоты и повышении температуры возрастает также и в других средах.

Поскольку энергия волновых колебаний пропорциональна квадрату частоты, то ультразвук может переносить энергию намного большую, чем звук. Другая важная особенность ультразвука заключается в достаточной простоте осуществления его направленного излучения острыми, слабо расходящимися пучками.

Для получения ультразвука большой интенсивности используют свойство кристаллов некоторых веществ, например кварца, менять свои размеры в электрическом поле — в зависимости от его направления сжиматься или растягиваться (пьезоэлектрический эффект). При совпадении частоты переменного поля с собственной частотой кварцевой пластины возникают ее резонансные колебания с резким возрастанием амплитуды и мощности ультразвуковой волны. В воде такая пластина может генерировать волны мощностью до нескольких кВт/см² ее поверхности. Помимо пьезоэлектрического эффекта, для получения ультразвука используют явление магнитострикции, т.е. изменения формы и размера кристаллических тел при намагничивании.

В производственных условиях ультразвук нередко образуется при аэродинамических процессах и сопутствует шуму (работа реактивных двигателей, газовых турбин, мощных пневмодвигателей и др.).

Физико-гигиеническая характеристика ультразвука, как и звука, определяется частотой колебаний ($\Gamma_{\text{ц}}$) и их интенсивностью ($\text{Вт}/\text{см}^2$). При распространении ультразвука в воздушной среде его характеризуют также в единицах интенсивности (дБ).

Механические, термические, физико-химические эффекты, вызываемые ультразвуком, используют в медицине, промышленных технологиях, биологии и других случаях. Применение ультразвука столь обширно, что все возможные области его использования трудно перечислить.

В медицине практическое применение получили высокочастотные колебания. Они внедрены в офтальмологии, оториноларингологии, гинекологии, терапии при лечении ряда заболеваний, для диагностики. Частота колебаний для диагностики составляет $800 \text{ к}\Gamma_{\text{ц}} - 20 \text{ М}\Gamma_{\text{ц}}$ при интенсивности $0,01 - 20 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Интенсивность ультразвука для терапии обычно не превышает $0,2 - 0,4 \text{ Вт}/\text{см}^2$.

В промышленности ультразвук используют для анализа, контроля, интенсификации технологических процессов.

Ультразвуковой контроль (дефектоскопия) применяется для определения прочности сварных швов, заклепочных соединений котлов, трубопроводов, качества продукции прокатного, кузнечного и прессового цехов, деталей автомашин, турбин самолетов, железобетонных конструкций, железнодорожных рельсов. Для дефектоскопии необходима высокая частота ультразвука (порядка нескольких мегагерц).

При интенсификации разнообразных технологических процессов ультразвук часто применяют для воздействия на вещество, взвешенное в жидкости. В этом случае под влиянием интенсивных высокочастотных колебаний частицы жидкости приобретают такие большие ускорения, что в ней на короткое время образуются разрывы (пустоты), которые затем резко захлопываются. Гидравлические удары, возникающие при захлопывании пустот (явление *кавитации*), оказывают сильное дробящее действие, что используется, например, для приготовления коллоидных систем суспензионного и эмульсионного типов.

Широкое применение в промышленности получили ультразвуковая очистка, промывка и обезжиривание металлических деталей, оптических стекол, изделий из керамики, основанные на кавитационных явлениях в моющем растворе. Ультразвуковая обработка внедрена также для предотвращения накипеобразования в котлах, очистки деталей от продуктов коррозии и т.д.

Ультразвук используют для сверления и резания металлов, стекла, керамики, обработки драгоценных камней и других твердых и хрупких материалов. С его помощью осуществляются процессы пайки, лужения, сварки.

Ультразвук лежит в основе гидролокационных установок определения расстояния в водной среде до различных объектов (встречных надводных и подводных судов, косяков рыб, айсбергов и т.п.). Отметим, что способностью к эхолокации обладают также некоторые животные (летучие мыши, дельфины, киты).

Ультразвук оказывает сильное биологическое воздействие, в частности в его поле погибают микробы. Поэтому он используется для стерилизации молочных и других продуктов, очистки сточных вод.

Влияние ультразвука на человека достаточно известно. Оно распространяется на весь организм, но непосредственно — на молекулярном и клеточном уровнях. Основной эффект — тепловой.

Низкочастотный ультразвук, кроме общего влияния на организм, передаваемого через воздушную среду, оказывает локальное воздействие на человека при соприкосновении его с обрабатываемыми деталями и средами, в которых возбуждены колебания. Чаще всего под него попадают кисти рук при удерживании инструментом обрабатываемых деталей (лужение, пайка), при загрузке их в ванны и т.д. Локальное действие мощных установок (6-7 Вт/см²) весьма опасно, так как может привести к поражению периферического нервного и суставного аппаратов в местах контакта (вегетативные полиневриты и множественные воспаления периферических нервов, парезы пальцев, кистей и предплечья).

При интенсивности ультразвука выше установленных норм могут развиваться функциональные изменения центральной и периферической нервной, сердечно-сосудистой систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Рабочие страдают от головных болей, головокружения, повышенной утомляемости, раздражительности, дневной сонливости. При систематическом воздействии ультразвукового поля отмечается повышение температуры тела и кожи, снижение уровня сахара в крови.

Высокочастотный ультразвук гасится воздушной средой, но при соприкосновении с поверхностью тела вызывает в основном те же нарушения, что и рассмотренный низкочастотный. В дополнение к этому выявлено, что высокочастотные колебания с продолжительностью импульса ~3 мс вызывают нарушение мембран в суспендированной среде человеческих эритроцитов.

Допустимые уровни ультразвукового давления на рабочих местах, нормированные в 1/3-октавных полосах частот, должны соответствовать следующим значениям:

Среднегеометрические частоты, кГц	12,5	16,0	20	25	31,5 и выше
Уровень давления, дБ	80	90	100	105	110

Все установки, при работе которых уровни ультразвука превышают допустимые, необходимо оборудовать звукоизолирующими устройствами (кожухи, экраны) из листовой стали или дюралюминия, покрытого звукопоглощающим материалом (рубероид, техническая резина, пластмассы, гетинакс, противошумные мастики и др.). Если этих мер оказывается недостаточно, то установки, генерирующие колебания с общей интенсивностью 135 дБ, нужно размещать в кабинах со звукоизоляцией. Существенно снижает уровень ультразвука размещение установок в звукоизолированных помещениях или кабинах с дистанционным управлением.

Работникам следует применять специальный инструмент с виброизолирующей рукояткой и защищать руки резиновыми перчатками с хлопчатобумажной подкладкой. При кратковременном обслуживании действующего оборудования с повышенным уровнем ультразвука нужно использовать средства индивидуальной защиты — противошумы (ГОСТ 15762-70). Необходимо также полностью исключить контакт с жидкими и твердыми средствами, используемыми в ультразвуковых установках.

6.2. Электромагнитные волны

6.2.1. Общие представления

В отличие от механических, для распространения которых необходима газообразная, жидкая или твердая среда, электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме, т.е. в пространстве, не содержащем атомов. В остальном они ведут себя подобно механическим волнам, в частности имеют конечную скорость и переносят энергию. Наибольшая скорость электромагнитных волн характерна для вакуума (300 тыс. км/с). В других средах она меньше.

Весьма важно отметить, что переменное электрическое поле не может существовать без переменного магнитного, и наоборот, нельзя создать переменное магнитное поле без одновременного возникновения в пространстве переменного электрического поля. И тот и другой вид электромагнитных волн имеет место лишь при движении заряженных частиц с переменной скоростью.

Длина электромагнитных волн может быть самой различной — от 10^7 км до 10^{-11} см. В настоящее время в зависимости от их длин и частот принято выделять ионизирующее излучение (гамма- и рентгеновское), излучение оптического диапазона (ультрафиолетовое, видимый свет, инфракрасное), радио- и низкочастотный диапазон.

Излучения с различной длиной волны сильно отличаются друг от друга по интенсивности и степени поглощения их веществом. В частности, наиболее интенсивное, ионизирующее, излучение, особенно γ -лучи, не поглощается веществами, непрозрачными для волн оптического диапазона.

Охарактеризуем отдельные виды излучений.

6.2.2. Ионизирующее излучение

6.2.2.1. Гамма-излучение

Этот вид электромагнитного поля имеет длину волны 10^{-13} - 10^{-10} м, что соответствует частоте $3 \cdot 10^{21}$ - $3 \cdot 10^{18}$ Гц. Гамма-излучение, наряду с α - и β -лучами, испускается радиоактивными веществами при их распаде, при аннигиляции пар частиц, а также возникает при торможении в веществе заряженных частиц с большой энергией. Проникая в вещество, γ -излучение вызывает переход молекул в возбужденное состояние и их диссоциацию на атомы и радикалы, выбивает электроны из атомов, переводя часть вещества в ионизированное состояние. Высокая проникающая и ионизирующая способность γ -квантов объясняется их наибольшей среди всех электромагнитных волн энергией, которая изменяется от 12,4 до 0,012 МэВ.

Воздействие γ -излучения снижается пропорционально квадрату расстояния от его источника и измеряется в рентгенах. *Рентген* является единицей, введенной специально для того, чтобы определять дозу облучения живых организмов рентгеновскими и гамма-лучами. *Доза облучения* пропорциональна его продолжительности и интенсивности. Она характеризует электромагнитное поле в определенном месте, не обязательно совпадающем с источником ионизации, т.е. не является величиной, однозначно определяющей мощность этого источника.

Один рентген соответствует:

83,8 эрг, поглощаемых 1 г воздуха;

около 93-95 эрг, поглощаемых 1 г живых тканей;

образованию $2,082 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях;

возникновению $1,61 \cdot 10^{12}$ пар ионов в 1 г воздуха;

$6,77 \cdot 10^4$ МэВ, поглощенных 1 см^3 воздуха при нормальных условиях (0°C , 760 мм рт. ст.).

При равных поглощенных дозах различные виды излучений, например гамма- и рентгеновское, обуславливают разный биологический эффект в живом веществе. Для этого случая введен «биологический

эквивалент дозы», выражаемый в биологическом эквиваленте рентгена (бэр). В международной системе единиц эквивалентной дозой является *зиверт* (Зв), равный 100 бэр.

Отметим, что НРБ-99 содержит новое дозиметрическое понятие — «эффективная доза облучения». Она представляет собой сумму произведений эквивалентных доз в органах или ткани на взвешивающие безразмерные коэффициенты, установленные для этих органов или тканей.

Гамма-излучение находит широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в частности для дефектоскопии металлов, изучения структуры и износа материалов, разделения веществ, синтеза химических соединений, снятия статического электричества.

На основе «ядерного гамма-резонанса без отдачи ядра» (эффекта Мессбауэра) изучают диффузионные характеристики, механизм диффузии, кинетику химических и фазовых превращений, продолжительность жизни изотопов, магнитные поля атомов и многое другое.

Поскольку гамма-излучение оказывает сильнейшее воздействие на все живые организмы и убивает микробы, то его используют для стерилизации инструментов, предохранения овощей, фруктов и мяса от порчи. Его эффективно применяют для подавления раковых опухолей. Однако хорошо известно и вредоносное действие γ -излучения.

Под его влиянием в клетках организмов возможны такие патологические процессы, как разрывы молекул ДНК и РНК, хромосомные нарушения, изменение нормального процесса деления клеток и их гибель. В частности, сравнительно слабые излучения, энергия которых даже при полном поглощении повысила бы температуру тела всего на $0,001^{\circ}\text{C}$, оказываются достаточными, чтобы нарушить жизнедеятельность клеток организма. Опасность усугубляется тем, что не возникает каких-либо болевых ощущений. Сильное и, как правило, неблагоприятное влияние γ -излучение оказывает на наследственность.

Конечным этапом воздействия больших доз γ -излучения на ткани, клетки и жидкие среды организма является развитие острой или хронической лучевой болезни. Она проявляется в изменении функций и нарушении регуляции деятельности нервной, эндокринной и других систем организма, клеточно-тканевых поражениях.

Особенно неблагоприятно γ -излучение действует на стволовые клетки, кроветворные ткани костного мозга и ткани кишечника. Угнетается иммунитет, что приводит к развитию инфекционных осложнений, интоксикации и другим неприятным последствиям.

Известно, что при кратковременном облучении человека доза в 20-50 рентген вызывает изменения в крови, 100-250 рентген приводят к лучевой болезни, доза в 600 рентген смертельна. При этом в сре-

дах, через которые проходит излучение, могут создаваться его вторичные и рассеянные поля.

Приведенные данные относятся к случаю, когда отсутствует лечение. Однако уже имеется ряд лучевых препаратов (радиопротекторов) и накоплен опыт комплексного лечения острой лучевой болезни, позволяющий исключить смертельный исход при дозах около 10 Гр (1000 бэр).

При обращении с γ -источником необходимы меры защиты людей, которые могут попадать в зону его действия.

Самый простой способ защиты — это удаление персонала от источника излучения на достаточно большое расстояние, поскольку, как уже отмечалось, интенсивность ионизации обратно пропорциональна квадрату последнего. Наилучшим поглотителем является свинец, но в этом случае для защиты требуется его слой толщиной более 20 см.

Надежной защиты можно добиться автоматизацией процессов, дистанционным управлением, правильными размещением установок и планировкой помещений, соблюдением специальных требований к оборудованию, вентиляции, отоплению, водоснабжению, канализации, организации и режиму работы, личной гигиене и др. Необходимо предусматривать санитарные зоны разрыва не менее 25-50 м от жилых и иных зданий.

При работе без защиты с ампулированным препаратом нужно использовать специальные приспособления: щипцы и ручные манипуляторы.

Важным защитным мероприятием является дозиметрический контроль интенсивности излучения. Дозиметрические приборы в помещениях оборудуют световой и звуковой сигнализацией, предупреждающей о повышении уровня радиации. Используют и индивидуальные дозиметры.

Большое значение имеют средства индивидуальной защиты: спецодежда, обувь, перчатки, респираторы и др.

К работе с источниками γ -излучений не допускаются лица моложе 18 лет, беременные, а также кормящие матери.

6.2.2.2. Рентгеновские лучи

Этот вид излучения возникает при торможении быстро летящих электронов. Поскольку их движение представляет собой электрический ток с соответствующим магнитным полем, то при резком торможении электронов в момент удара о препятствие магнитное поле быстро изменяется и в пространство излучается электромагнитная волна. Длина ее тем меньше, чем выше была скорость электрона до удара о препятствие, т.е. чем больше модуль величины ускорения. Так как летящие электроны имеют широкий диапазон скоростей, то при их торможении возникает рентгеновское излучение, образующее сплошной спектр раз-

личных длин волн, от $0,6 \cdot 10^{-11}$ до $2 \cdot 10^{-9}$ м, т.е. больших, чем у γ -излучения. Эти длины волн соответствуют частоте излучения $5 \cdot 10^{19}$ – $1,5 \cdot 10^{17}$ Гц и энергии фотонов 206–0,6 кэВ.

При некоторых условиях возможно получение рентгеновского излучения со строго определенной длиной волны (рентгеновский квантовый генератор). Это происходит, если электроны в ускоряющем поле приобретают скорость, достаточную для того, чтобы проникнуть в глубь атома и выбить один из электронов на его внутренней орбите. Тогда на место выбитого переходит электрон с более удаленной орбиты, излучая квант строго определенной энергии и соответствующей ему частоты. Такое рентгеновское излучение называют характеристическим. Оно имеет линейчатый спектр и накладывается на сплошной спектр тормозного излучения. При увеличении порядкового номера элемента в периодической системе Д.И.Менделеева рентгеновский спектр излучения смещается в сторону коротких длин волн и большей энергии кванта, ибо она, в соответствии с формулой (1.2), прямо пропорциональна частоте колебаний электромагнитного излучения. Легкие элементы, например алюминий, вообще не дают характеристического излучения.

Рентгеновское излучение получают с помощью специальных двух-электродных ламп (рентгеновских трубок), на которые подается очень высокое напряжение (порядка 50–200 кВ). При нагревании вольфрамовой спирали, служащей катодом, возникает термоэлектронная эмиссия. Эмитированные электроны ускоряются сильным электрическим полем в направлении анода и с большой скоростью ударяются в него. Как следствие, поверхность анода начинает испускать рентгеновское излучение. Однако эффективная работа рентгеновских аппаратов возможна только при глубоком вакууме (остаточное давление газа в рентгеновской трубке составляет 10^{-5} – 10^{-7} мм рт. ст.).

Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью по отношению ко многим веществам, непрозрачным для видимого света. Чем жестче поток, т.е. чем короче длина волны рентгеновского излучения, тем выше его проникающая способность. Однако она ниже, чем γ -лучей, которые имеют еще меньшую длину волн. Единицей дозы рентгеновского излучения служит рентген.

Рентгеновские лучи нашли ряд важных практических применений. Широко распространен рентгеноструктурный анализ — один из основных методов физико-химического исследования структуры кристаллических тел и определения их вещественного состава. Этот же метод позволяет расшифровать строение сложнейших органических соединений, включая белковые. Рентгеновское излучение используют в медицинской диагностике: различных заболеваний, характера перелома костей, обна-

ружения в теле инородных предметов. Его же в строго дозированных количествах используют для лечения злокачественных новообразований.

Однако продолжительное или слишком интенсивное воздействие на организм рентгеновских лучей, особенно жестких, вызывает тяжелые заболевания, аналогичные возникающим при γ -облучении. По этой причине меры защиты от рентгеновского излучения аналогичны используемым против γ -излучения.

6.2.3. Оптический диапазон

Оптический диапазон открывает область низкоинтенсивных волн сплошного и монохроматического спектров.

6.2.3.1. Сплошной спектр

Этот спектр включает в себя видимую (световую) часть электромагнитного поля и прилегающую к последней невидимую часть оптического диапазона, присутствующую в световом пучке, т.е. ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Ультрафиолетовая область имеет большую частоту, чем фиолетовые лучи видимого диапазона, а инфракрасная область обладает меньшей частотой волн, чем красный свет. Величины длин волн λ , их частот ν и энергии E фотонов отдельных составляющих оптического диапазона приведены в табл. 6.2. Характеристика каждого из типов излучений оптического диапазона приводится ниже.

Таблица 6.2

Характеристика излучений оптического диапазона

Тип излучения	λ , м	ν , Гц	E , эВ
Ультрафиолетовое	$5 \cdot 10^{-9}$ - $4 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{16}$ - $7,5 \cdot 10^{14}$	248-3
Видимый свет	$4 \cdot 10^{-7}$ - $7,6 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{14}$ - $4 \cdot 10^{14}$	3,0-1,6
Инфракрасное	$7,6 \cdot 10^{-7}$ - $3,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{14}$ - $8,6 \cdot 10^{11}$	$1,6$ - $3,6 \cdot 10^{-3}$

Примечание. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Ультрафиолетовое излучение, как уже отмечалось (разд. 4.3.4.7), в заметных количествах испускают тела, температура которых достигает нескольких тысяч градусов, поэтому в излучении ламп накаливания его почти нет. Однако значительная доля его присутствует в излучении электрической дуги, особенно при наличии в ней паров ртути (ртутные лампы). Имеется оно и в солнечном излучении, но земная атмосфера сильно поглощает его, поэтому количество ульт-

рафиолетовых лучей у поверхности Земли сравнительно невелико, увеличиваясь в горных районах.

Ультрафиолетовое излучение используют в фотографии, для обнаружения скрытых надписей или стертых текстов (многие вещества при поглощении ультрафиолета начинают испускать видимый свет), в лампах дневного света, для обнаружения дефектов в металлических изделиях. В физике и химии с помощью ультрафиолетовых лучей изучают внешние электронные оболочки атомов различных химических элементов. В настоящее время они находят все большее применение при обеззараживании питьевой воды и очистке сточных вод (разд. 4.3.4.7 и 4.4.).

Действие ультрафиолетового излучения на окружающую среду и человека достаточно многообразно. Оно дает дезинфицирующий эффект, убивая многие бактерии, и в небольших дозах полезно для человека. Кроме прямого действия на ткани кожи (образование защитного пигмента — загара, витамина D_2), ультрафиолетовые лучи влияют на центральную нервную систему, стимулируя ряд жизненно важных функций организма, поэтому их применяют при лечении некоторых заболеваний. Интенсивность ультрафиолетовых лучей у поверхности Земли существенно зависит от концентрации озона в высоких слоях атмосферы, в значительной степени их поглощающих.

Допустимым (безопасным) с биологической точки зрения уровнем энергии фотонов является 12 эВ. Фотоны с большей энергией способны вызывать ионизацию воды и атомов кислорода, водорода, азота, углерода, составляющих основу живых организмов, и, следовательно, опасны для высокоорганизованных биологических систем. Предельно допустимые уровни облученности составляют 5 миллиграмм-эквивалентов радия (мэр) на 1 м^2 для рабочих мест и 400 — в фотарии. Предельно допустимые значения дозы равны $40 \text{ мэр} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ на рабочем месте и 20 — в фотарии.

Видимая часть оптического диапазона составляет его незначительную долю. Условно принято считать, что она включает семь основных цветов, хотя резкой разницы между ними нет. В порядке снижения частоты колебаний цвета располагаются следующим образом: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Каждому из них соответствует своя частота, например фиолетовому — $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$, зеленому — $5,4 \cdot 10^{14}$ и красному — $4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

Излучения разных длин волн обуславливают различия не только по цвету, но и по интенсивности их светового восприятия. Наиболее ощущаемым при одном и том же потоке лучистой энергии является зеленый цвет с длиной волны $0,556 \text{ мкм}$. Очевидно также, что волны, меньшие $0,400 \text{ мкм}$ (ультрафиолетовые) и большие $0,760 \text{ мкм}$ (инфракрасные), не вызывают световых ощущений.

Как и все электромагнитные волны, свет с наибольшей скоростью (300 тыс. км/с) распространяется в вакууме. В воздухе его скорость снижается на 1 тыс. км/с. Гораздо ниже она в воде (225 тыс. км/с). Поскольку при переходе из одной среды в другую частота колебаний электромагнитных волн сохраняется, то это означает, что цветность излучения не изменяется.

Значение света для природы в целом и для человечества в частности невозможно переоценить.

Общеизвестно его тепловое действие. Энергия солнечного излучения значительно превышает используемую всей промышленностью земного шара, достигая $1370 \text{ Дж/с}\cdot\text{м}^2$ поперечного сечения Земли. Наличие или отсутствие тепла определяют скорость биологических процессов в растениях, микроорганизмах, представителях животного мира. Люди используют поглощенное растениями тепло при их приеме в пищу, сжигании или после превращения в ископаемые или синтетические виды топлива.

Решающее значение для существования жизни на Земле имеет *фотосинтез* в растениях, протекающий при участии света. В этом процессе в результате фотохимической реакции солнечная энергия преобразуется в химическую. В его основе лежит уникальная способность растений в присутствии хлорофилла превращать энергию солнечного луча, углекислый газ и воду в органические вещества (сахариды), выделяя при этом кислород (реакция 1.1). Кроме зеленых растений и водорослей, к фотосинтезу способны часть простейших и бактерии (цианобактерии, зеленые, пурпурные, галобактерии).

Выделяемый растениями кислород не только является одним из источников жизнедеятельности организмов, но и защищает все живое на Земле: кислород в верхних слоях атмосферы поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ м и, кроме того, образует защитный слой озона, задерживающий ультрафиолетовое излучение других длин волн.

Человечество обладает не только природными (Солнце, звезды), но и созданными им искусственными источниками света. Последние по способу возбуждения частиц, испускающих свет, можно разделить на три группы.

В первую входят *температурные источники*, в которых свечение возникает за счет повышенного возбужденного состояния атомов и молекул при увеличении температуры вещества (лампа накаливания, горящая спичка, костер и т.п.). Излучение таких источников осуществляется за счет их внутренней энергии.

Ко второй группе относятся *люминесцентные источники*. В них возбуждение атомов и молекул вызывается потоком летящих частиц,

например электронов, внешним электромагнитным полем или химической реакцией, т.е. какими-либо внешними источниками механической, электрической или химической энергии.

В третьей группе свечение обуславливается *эффектом Черенкова*, возникающим при движении частиц, в частности электронов, в плотном прозрачном веществе, например воде, со скоростью, превышающей скорость распространения света в нем. Возбуждаемые атомы прозрачного вещества начинают излучать. При этом скорость распространения излучения, в соответствии с упомянутым эффектом, остается меньшей, чем пролетающей частицы.

Практические приложения видимой части оптического диапазона поистине безграничны и основаны как на ее волновых, так и на квантовых свойствах.

Хорошо известно использование света для получения изображений с помощью сферических зеркал и стекол, различные оптические приборы (проекторные фонари, фотографические аппараты, лупы, микроскопы, бинокли, телескопы). Интерференция света, основанная на его волновых свойствах, применяется в современной науке и технике для точных измерений длины, определения качества обработанной поверхности.

На квантовых свойствах света зиждется использование *фотоэлементов* и явления люминесценции.

Область наибольшего распространения фотоэлементов — звуковое кино (воспроизведение звука) и телевидение (передача изображения). В технике связи фотоэлементы используют в фототелеграфе для передачи неподвижных изображений. В военном деле они необходимы в системах самонаведения снарядов, для сигнализации и локации. В науке их применяют для измерения силы света, яркости и освещенности. Для автоматического управления различными процессами внедряются *фотореле*. Они считают детали на конвейере, контролируют их размеры, запускают и останавливают конвейерные линии, включают и выключают системы освещения.

Явление люминесценции нашло практическое приложение в электронно-лучевых трубках, экраны которых покрывают с внутренней стороны люминофором, т.е. веществом, способным преобразовывать поглощаемую энергию падающего на него пучка электронов в световое излучение. Поскольку последнее не связано с нагревом вещества, люминесценцию иногда называют *холодным свечением*.

Одним из направлений технического прогресса является разработка гелиоэлектростатических источников энергии, для функционирования которых необходим солнечный свет.

И наконец, повсеместно распространено использование световой энергии в разнообразных бытовых и промышленных источниках освещения.

Несмотря на неоценимую роль световой энергии в жизни человека, в некоторых случаях ее неумеренное воздействие может принести ощутимый вред.

С регулярностью чередования дня и ночи, светлых и темных периодов суток связаны многие физиологические ритмы человека. Обычно днем он бодрствует, ночью спит. Нарушение этих связей, например в ночных рабочих сменах, приводит к неполноценному отдыху в дневное время, ухудшению здоровья, увеличению раздражительности и т.п. Аналогичные негативные последствия наблюдают в условиях полярных дней и ночей продолжительностью в несколько месяцев.

Нахождение под палящими лучами Солнца или искусственных источников света приводит к обезвоживанию организма, тепловым ударам и ожогам, увеличению тяжести и числа сердечно-сосудистых заболеваний, летальным исходам, ухудшению зрения и его возможной полной потере. Уровень освещенности на роговице, при которой возникает опасность ожога сетчатки глаза, составляет $2,6 \cdot 10^6$ лк, что соответствует плотности поглощенной энергии $2-6 \text{ Дж/см}^2$ и плотности мощности проникновения в глаз луча 28 Вт/см^2 .

Возможные меры защиты от неблагоприятного действия световой энергии: защитные спецодежда и очки, пребывание в тени или воде, усиление питьевого режима, создание искусственного затенения и, при необходимости сна в дневное время, минимальный уровень звукового фона.

Инфракрасное излучение обладает ярко выраженным тепловым действием, поэтому часто называется *тепловым*. Им обладает любое нагретое тело, даже если оно не светится. На инфракрасный спектр приходится, в частности, максимум энергии излучения электрической дуги и лампочки накаливания.

Инфракрасные лучи слабо поглощаются воздухом и значительно интенсивнее — плотными телами. Эта особенность играет существенную роль в природных процессах теплообмена, способствуя выравниванию температур различных тел на Земле.

Тепловое равновесие наступает, когда температуры участвующих в теплообмене тел становятся одинаковыми, т.е. каждое из них начинает отдавать столько энергии, сколько получает от других. Поэтому зимой, например, когда поверхность Земли излучает в мировое пространство энергии больше, чем получает от Солнца, ее температура начинает понижаться. Летом наблюдается обратное явление. Таким же образом объясняется тот факт, что в безоблачную ночь температура понижается сильнее, чем в облачную. В последнем случае часть излучения Земли отражается облаками на ее поверхность. Меньшей облачностью обуславливается также относительно резкое ночное понижение

температуры в горных местностях по сравнению с равнинными. Наличие в атмосфере примесных газов антропогенного происхождения с большими, чем у ее основных компонентов (азот, кислород) размерами молекул (CO_2 , CH_4 , SO_2 и др.), снижает инфракрасное излучение в мировое пространство. Это может способствовать развитию «парникового» эффекта (разд. 1.6.1).

Сброс теплоты в водные бассейны приводит к повышению их температуры и, как следствие, уменьшению концентраций растворенных в воде кислорода, азота, углекислого газа. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на развитии фауны и флоры (воспроизводство рыб, растений и др.).

В народном хозяйстве инфракрасное излучение используют для сушки, например овощей, фруктов, окрашенных поверхностей автомобилей, в оптических приборах ночного видения (бинокли, прицелы), при фотографировании в темноте и скрытых дымкой (облаками) удаленных предметов. В астрономии инфракрасное фотографирование применяют для определения температуры некоторых звезд и поверхности планет, даже если последняя скрыта плотными облаками, в частности на Венере. Инфракрасные лучи широко используют также при изучении строения молекул вещества.

Санитарные разработки по защите от инфракрасного излучения исходят из того, что большая часть биологического материала для него непрозрачна. Однако наиболее короткие инфракрасные волны могут проникать в кожу на глубину до 5 мм и в прозрачные среды глаза. Если кожа при этом в силу хорошего кровообращения мало подвергается тепловому повреждению, то зрению требуется защита. Ожог радужки глаза может наступить при плотности поглощенной энергии $4,2 \text{ Дж/см}^2$. Необратимые изменения хрусталика возникают при плотности энергии на роговице свыше 10 Дж/см^2 . При этом ощущается боль в роговице и радужной оболочке, так как их температура достигает 47°C .

Санитарные правила для предприятий черной металлургии (№ 2527-82) и ГОСТ 12.4.123-83 допускают уровень плотности потока энергии инфракрасного излучения, равный 2800 Вт/м^2 в присутствии людей без спецодежды и 140 Вт/м^2 — для всего рабочего места.

6.2.3.2. Лазерное излучение

Под лазерным понимают монохроматический, т.е. одной определенной частоты, когерентный (согласованный во времени) и узконаправленный поток электромагнитных волн оптического диапазона, излучае-

мый квантовым генератором. От других источников света его отличает ряд существенных особенностей. Так, узконаправленный лазерный пучок имеет весьма малый угол раскрытия (около 10^{-5} рад). При испускании с Земли на Луну он дает пятно диаметром всего 3 км. Кроме того, лазеры — наиболее мощные источники энергии в оптическом диапазоне. За кратчайший период (до 10^{-11} с) мощность их излучения достигает $5 \cdot 10^{14}$ Вт/см². У Солнца она равна только $7 \cdot 10^7$ Вт/см², причем суммарно по всему оптическому спектру. В узком же интервале, соответствующем излучению светового диапазона, мощность излучения Солнца составляет лишь 0,2 Вт/см². И наконец, напряженность электрического поля в лазерной волне достигает 10^{10} - 10^{12} В/см, что превышает ее внутриатомные значения. В общем случае лазерное излучение может быть создано в диапазоне волн от 0,2 до 1000 мкм, т.е. охватывает ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную области.

Инициирование лазерного пучка основано на следующем. Как известно, возбужденные атомы могут испускать фотоны (кванты) с переходом на более низкий энергетический уровень. Если переход осуществляется самопроизвольно и атомами с различной энергией (скоростью), то излучение будет иметь сплошной спектр длин волн и частот, как это имеет место, например, при температурном излучении нагретого тела.

Однако возбужденный атом может отдать свою энергию в режиме резонанса в виде индуцированных внешним источником электромагнитных волн. Индуцированное излучение возникает, если вблизи возбужденного атома пролетает квант с частотой колебаний, совпадающей с той, которую может испустить этот возбужденный атом. В таком случае взаимодействие пролетающего кванта с атомом приводит к испусканию последним нового кванта, не отличающегося от пролетающего. При этом волны индуцированного излучения совпадают по фазе.

Все конструкции лазерного аппарата состоят из рабочего тела (активная среда), лампы накачки (источника) и зеркального резонатора.

Рабочее тело может быть твердым (кристаллы искусственного рубина с добавками хрома, некоторые соли вольфрамовой и молибденовой кислот, стекла с примесью редкоземельных и других элементов), жидким (пиридин, бензол, толуол, бромнафтал, нитробензол и т.п.) и газообразным (смесь гелия и неона, гелия и паров кадмия, аргон, криптон, углекислый газ и т.д.). Атомы рабочего тела переводятся в возбужденное состояние световой энергией или потоком электронов, радиоактивных частиц, химической реакцией.

В качестве примера рассмотрим принцип работы рубинового лазера (рис. 6.2), созданного одним из первых (1960 г.). Из кристалла искусственного рубина с примесью около 0,05% хрома изготавливают стержень с плоскопараллельными гладко отполированными торцами.

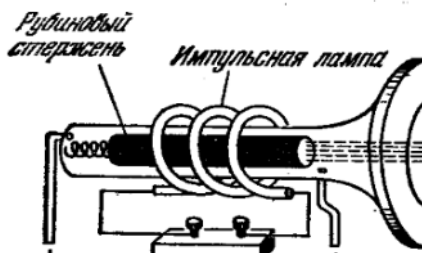


Рис. 6.2. Схема устройства рубинового лазера

Один из них покрыт серебром, зеркален и непрозрачен, другой прикрит полупрозрачным зеркалом. Световое излучение лазера создается атомами хлора, для возбуждения которых служит лампа накачки — мощная импульсная газоразрядная трубка, спиралью закрученная вокруг стержня и дающая сине-зеленый свет. Мощная вспышка лампы, получившей кратковременный импульс тока от

батареи конденсаторов, переводит большинство атомов хрома в возбужденное состояние, и они начинают испускать волны во всевозможных направлениях. Те из них, которые идут под углом к оси кристалла, выходят из него и в дальнейшем никакой роли не играют. Однако волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражаясь торцовыми зеркалами, опять попадает в него, возбуждая новые атомы. Процесс нарастает лавинообразно, световой импульс становится настолько мощным, что часть света проходит через полупрозрачное стекло наружу, образуя чрезвычайно интенсивное монохроматическое когерентное излучение (лазерный луч). Таким образом, возбужденные атомы хрома служат атомными резонаторами, реагируя только на фотоны определенной частоты, а рубиновый стержень в целом представляет собой объемный резонатор, создающий индуцированное излучение. Для усиления последнего расстояние между зеркальными торцами стержня содержит целое число полуволн светового излучения лазера.

За промежуток порядка долей миллисекунды все возбужденные атомы хрома переходят в нормальное состояние, излучение лазера прекращается. Работая в *импульсном режиме*, рубиновый лазер испускает короткие, но очень мощные вспышки красного цвета. При этом выделяется много тепла и необходимо охлаждение аппарата.

Следует отметить, что первые квантовые генераторы были созданы советскими физиками А.М.Прохоровым и Н.Г.Басовым и одновременно американским физиком Ч.Х.Таунсом в 1954 г. В качестве рабочего вещества в них использовали аммиак. Важность разработки этих ученых была оценена Нобелевской премией по физике (1964 г.). В настоящее время квантовые генераторы подразделяют на собственно лазеры (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света при помощи вынужденного излучения) и *мазеры* (Micro-wave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление микроволн при помощи вынужденного излучения). Лазер излучает в

видимой и инфракрасной частях оптического диапазона, а лазер — в микроволновой (ультрафиолетовой). Принцип работы этих квантовых приборов одинаков.

Дадим краткую характеристику лазеров, различающихся *видом активного вещества и способом накачки*.

В *твердотельных лазерах* в настоящее время для возбуждения активного вещества используют импульсные ксеноновые лампы. В режиме свободной генерации в этих лазерах длительность импульса 0,1-1 мс, с энергией до 1000 Дж и более, мощностью импульса до 10^{12} Вт и выше, КПД около 1-10%, углом расходимости луча 20-30%. Кроме импульсного, возможен также непрерывный режим работы твердотельного лазера. Из-за высоких мощностей твердотельные лазеры представляют значительный интерес в области взаимодействия излучения с веществом.

Газовые лазеры характеризуются малым углом расходимости луча ($1-3^\circ$). Наибольшее распространение получили приборы на смеси гелия и неона и на углекислом газе. Мощность первых невелика и составляет десятки или сотни милливатт. Лазеры на углекислом газе, напротив, характеризуются большой мощностью (сотни ватт в непрерывном режиме) и высоким (20-30%) КПД.

Мощность газовых лазеров можно еще более повысить, используя для возбуждения активного вещества энергию сгорания окиси углерода в специальной камере. Последующее расширение и адиабатическое охлаждение сверхзвуковых газовых потоков, нагретых до нескольких тысяч градусов и истекающих из камеры, позволяет плучить мощность генерации в импульсе до сотен киловатт. Лазеры такого типа называют *газодинамическими*.

С помощью газовых лазеров получено индуцированное излучение в широчайшем диапазоне (от вакуумного ультрафиолета до инфракрасной области), достигнуты значительные энергии и мощности как в импульсном, так и в непрерывном режимах работы. Благодаря этим уникальным сочетаниям свойств газовые лазеры нашли самое широкое применение в различных областях науки и техники.

В *полупроводниковых лазерах* — тоже твердотельных, но выделяемых в отдельную группу, — активным веществом является полупроводниковый кристалл размером около 1 мм^3 (ZnS, ZnSe, сульфиды, селениды и теллуриды кадмия и свинца, др.). Резонатор лазера образован торцевыми поверхностями кристалла. Возбуждение лазера осуществляется электрическим током, проходящим через кристалл. Максимальная мощность составляет около 100 Вт в импульсном режиме и несколько ватт в непрерывном. Угол расходимости луча равен нескольким градусам. Главное достоинство полупроводниковых лазеров — высокий КПД

(от десятков процентов до величины, близкой к 100%). Они нашли широкое применение в вычислительной технике, телевидении, оптической локации, голографии и специальных разделах оптики.

В *жидких лазерах* в качестве активного вещества используются обычно органические красители, под которыми понимаются соответствующие соединения, обладающие определенными спектральными свойствами. Возбуждение активного вещества осуществляется или когерентным излучением другого лазера, или некогерентным излучением импульсных ламп. Особенность жидких лазеров — возможность при соответствующем выборе активного вещества получить когерентное излучение с волной почти любой длины — от 0,34 до 11,75 мкм. Энергия излучения в импульсе — до 10 Дж.

Очень важным преимуществом жидкостных лазеров является возможность непрерывной перестройки частоты генерации в диапазоне нескольких сотен ангстрем. Это достигается либо изменением свойств раствора или параметров резонатора, либо введением в резонатор селектора длин волн (дифракционной решетки). Такое достоинство особенно ценно в лазерохимии (стимулирование и управление химическими реакциями), в специальных разделах оптики (*Куклев*).

В дополнение к отмеченным выше отметим другие широкие области применения лазеров.

Их используют для сверхточного измерения расстояния, при прокладке тоннелей и трубопроводов, в навигации, в военном деле (лазерные прицелы, лазерное оружие). В лазерном луче испаряются тугоплавкие материалы, поэтому он пригоден для получения тончайших отверстий в керамике, сверхтвердых сплавах, алмазах, полупроводниковых материалах, для резки и сварки. Высокую направленность пучка лазеров применяют для радиолокации Луны (с точностью до сантиметра), Венеры, Марса.

Когерентность лазерного излучения позволяет использовать его, как и любую электромагнитную волну, для передачи информации. Поскольку с увеличением частоты волны объем информации, которую она может передать, увеличивается, то лазерный луч переносит информацию в тысячу раз большую, чем радиоволны. Особенно значительно преимущество оптических систем связи в космосе, где отсутствует поглощение света облаками.

С помощью лазеров получают объемные изображения предметов (голография).

Лазерные лучи применяют в медицине в качестве скальпеля при тончайших хирургических операциях, для достижения противовоспалительных и стимулирующих эффектов. С их помощью пытаются осуществить термоядерную реакцию, для реализации которой требуется температура по-

рядка 100-200 млн градусов. Излучение оптического квантового генератора используют для спектроскопических исследований электронной оболочки атомов и молекул, для определения состава различных сред.

Вместе с тем эксплуатация различных лазерных систем порождает ряд факторов, неблагоприятных для окружающей среды:

высокое напряжение зарядных устройств, питающих батареи импульсных конденсаторов. После их разряда на лампы вспышки они могут сохранять электрический заряд высокого потенциала;

слепящий свет лампы накачки;

вредные химические примеси в воздухе рабочего помещения, образующиеся при разрядке импульсных ламп накачки (озон, оксиды азота) и испарении материала мишени (монооксид углерода, свинец, ртуть и др.);

интенсивный шум, достигающий в момент работы лазера 70-80 дБ при средних его частотах и 95-120 дБ при частоте 1000-1250 ГГц;

воздействие магнитных полей высокой или ультравысокой частоты;

ультрафиолетовое излучение импульсных ламп и газоразрядных трубок.

По степени опасности лазеры, в зависимости от наличия тех или иных неблагоприятных факторов, подразделяют на 4 класса — от первого (малоопасного) до высокоопасного четвертого (СН 5804.91). Работа установок 4-го класса сопровождается всеми отмеченными выше неблагоприятными факторами, 3-му классу сопутствуют электрическое напряжение, световое излучение импульсных ламп или газового разряда, шум, вибрация, лазер 1-2-го классов опасен по электрическому напряжению.

Лазерное излучение не встречается в естественных условиях, поэтому его биологическое воздействие на любой животный организм является раздражителем, по отношению к которому нет эволюционно выработанных механизмов защиты. Под его влиянием в живом организме в целом возникает совокупность структурных, функциональных, биохимических и иммунологических изменений. При этом степень биологического действия лазера зависит от ряда факторов: мощности и продолжительности излучения, длины волны, частоты следования импульсов, величины облучаемой поверхности и др. Можно выделить термическое и нетермическое действия излучения, имеющие соответственно первичный и вторичный характер.

Термические эффекты, вызываемые лазерами непрерывного действия, имеют много общего с обычным нагревом. Под влиянием лазеров, работающих в импульсном режиме, в облучаемых тканях происходит нагрев и мгновенное вскипание жидких сред, что приводит к механическим повреждениям тканей. Отличительной чертой лазерного ожога является резкое ограничение пораженной области от смежной, интактной.

Особенно опасно термическое повреждение сетчатой оболочки глаза, приводящее к глубокому и стойкому нарушению зрения. Излучение поглощается и другими элементами глаза, в частности сосудистой оболочкой, но в меньшей степени.

Лазерное излучение вызывает также повреждение кожи. Пигментированная кожа поглощает его значительно интенсивнее, чем светлая. Отсутствие пигментации способствует более глубокому проникновению лазерных лучей в кожу и далее вглубь, поэтому поражение в данном случае может носить более выраженный характер.

Вторичные нетермические эффекты сводятся к неспецифическим изменениям в организме, обусловленным его реакцией на облучение электромагнитным полем, а также электрическим и фотохимическим эффектами. При этом вероятны функциональные расстройства центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, неврозы, патология вегетативно-сосудистой системы. Сердечно-сосудистые расстройства могут проявляться дистонией по гипотоническому или гипертоническому типам, нарушением мозгового кровообращения. Наблюдаются также изменения липидного, углеводородного, белкового обменов и др.

За ПДУ лазерного излучения на роговице, сетчатке глаза и коже принимают уровни, исключающие возникновение первичного биологического эффекта для всего возможного спектрального диапазона лазерного излучения и вторичных эффектов — для видимой области спектра. Они зависят от тех же факторов, что и степень биологического действия лазера. Кроме того, в диапазоне $0,4 \cdot 10^{-6}$ – $1,4 \cdot 10^{-6}$ м ПДУ зависят от углового размера источника облучения или от диаметра пятна на сетчатке, диаметра зрачка глаза, а в интервале $0,4 \cdot 10^{-6}$ – $0,75 \cdot 10^{-6}$ м — дополнительно от фоновой освещенности роговицы. ПДУ имеются как для моноимпульсных непрерывных, так и для импульсно-периодических лазерных излучений. Для каждого из них разработаны ПДУ в зависимости от спектра и объекта облучения.

Безопасная работа на лазерных установках предусматривает выполнение определенных требований к технологическому процессу, размещению оборудования и организации рабочих мест. В частности, должно быть обеспечено дистанционное управление и размещение в отдельных помещениях установок с лазерами 4-го класса; в технологических процессах необходимы, как правило, установки закрытого типа. Для исключения облучения персонала нужно ограничивать лазерно-опасную зону или экранировать пучок излучений огнестойким светопоглощающим материалом. Конструкция лазерных установок предусматривает также защиту персонала от радиочастотных волн, ионизирующей радиации. Естественное и искусственное освещение должно соответствовать действующим нормам.

Если излучение лазера сопровождается выделением вредных газов, паров и аэрозолей, то на рабочих местах оборудуется вытяжная вентиляция.

Для предотвращения поражения электрическим током используются различные дистанционные управления, блокировки, автоматические замыкатели, сигнализация и защитные средства. Элементы установок, находящихся под напряжением, ограждаются, а их металлические корпуса заземляются. Предусматривается также защита работающих от электромагнитных полей и шума.

При эксплуатации лазеров 2-4-го классов персоналу запрещается осуществлять наблюдение за ними без средств индивидуальной защиты и размещать в зоне лазерного пучка предметы, зеркально отражающие излучение, если это не связано с технологической необходимостью. В качестве индивидуальных средств защиты применяются очки со светофильтрами, а при работе с установками 4-го класса — защитные маски.

К работе с лазером допускаются только лица старше 18 лет.

6.2.4. Радио- и низкочастотные волны

Эти излучения охватывают диапазоны частот от сотых долей герца до инфракрасных (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Характеристика радио- и низкочастотных волн (Жилов...)

№ диапа- зона	Диапазон частот	Диапазон волн	Частота колебаний	Длина волны
1	Низкие (НЧ)	Инфранизкие	0,03-0,3 Гц	10^7 - 10^6 км
2		Низкие	0,3-3 Гц	10^6 - 10^5 км
3		Промышленные	3-300 Гц	10^5 - 10^3 км
4		Звуковые	300 Гц-30 кГц	10^3 -10 км
5	Высокие (ВЧ)	Длинные	30-300 кГц	10-1 км
6		Средние	300 кГц-3 МГц	1 км-100 м
7		Короткие	3-30 МГц	100-10 м
8	Ультравысо- кие (УВЧ)	Ультракороткие	30-300 МГц	10-1 м
9	Сверхвысо- кие (СВЧ)	Дециметровые	300 МГц-3 ГГц	100-10 см
10		Сантиметровые	3-30 ГГц	10-1 см
11		Миллиметровые	30-300 ГГц	10-1 мм
12	Гипервысо- кие (ГВЧ)	Децимиллимет- ровые	300-3000 ГГц	1-0,1 мм

К радиочастотному, в соответствии с ГОСТом 24375-80, относится диапазон от 3 кГц до 3000 ГГц. По регламенту радиосвязи, принятому Международным консультативным комитетом, радиочастоты охватывают номера диапазонов 5-11. Диапазоны 1-4 характеризуют низкочастотные электромагнитные волны промышленных частот.

Невозможно перечислить все известные в настоящее время области использования радио- и низкочастотных волн, отметим лишь основные.

Работа с источниками СВЧ осуществляется в радиолокации и радионавигации, радиоастрономии; в гидрометеорологии для обнаружения, наблюдения и определения места расположения облачных систем, грозовых облаков; в радиорелейной связи. Это же так называемое (за рубежом, в частности) микроволновое излучение используется в промышленных технологиях сушки пищевых продуктов, литейных материалов, огнеупоров, древесины, для ускорения твердения бетонов, оттаивания и термоупрочнения грунтов и т.д. (Применение..., 2002).

УВЧ-частоты применяют в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в медицине в физиотерапевтических кабинетах для индуктотермии (воздействие на организм магнитных полей высокой частоты) и диатермии (прогрев тела, в том числе глубокий, токами высокой частоты).

Индукционный нагрев электромагнитными полями частот 60 кГц-20 МГц и более низких (1-12 кГц) используют для перевода вещества в плазменное состояние, плавки металлов, термообработки заготовок, металлических изделий, элементов электровакуумных приборов. Диэлектрический нагрев частотами 3-150 МГц на установках 1-30 кВт внедрен для сушки влажных и нагрева, сварки, плавки терморезистивных материалов, включая пластмассы, клеи древесины.

Энергетические импульсы низких частот применяют для штамповки, прессовки, соединения различных изделий; литья, в технологических и бытовых осветительных и нагревательных приборах; электро-транспорте, энергетических установках.

Воздействие на организм рассматриваемых ЭМП зависит от их частот, интенсивности, продолжительности, характера и режима облучения (постоянного, аperiodического, интермитирующего). Преобладающее влияние оказывают радиочастоты большой интенсивности. В этом случае общее биологическое действие проявляется в тепловом эффекте, который либо повышает температуру всего тела, либо избирательно нагревает отдельные ткани или органы. Те из них, которые в меньшей степени снабжены кровеносными сосудами (хрусталик глаза, желчный и мочевой пузыри), чувствительнее к локальному перегреву. В наибольшей степени воздействие радиоволн сказывается на центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. В последней первоначально возникают приступы пароксизмальной тахикардии, а затем

может возникнуть сосудистая гипотония, имеют место случаи гипертензии. Нарушения в крови сводятся в основном к развитию умеренного лейкоцитоза. Не исключено также появление катаракты — как при кратковременном облучении, так и при длительном воздействии невысоких уровней поверхностной ППЭ, выражаемой в Вт/м² и аналогичных единицах. Длительное воздействие ЭМП радиочастотного диапазона нарушает сперматогенез у мужчин и является весьма существенным фактором риска развития бесплодия (*Влияние...*).

В целом совокупность нарушений, вызванных в организме действием волн СВЧ-диапазона, известна как радиоволновая болезнь. Основные ее симптомы: ощущение тупой, ноющей, весьма стойкой головной боли, нарушение сна, повышенная раздражительность, нервозность, беспричинное беспокойство, вспыльчивость и резкость поведения. Это профессиональное заболевание возникает только при грубых нарушениях правил технической эксплуатации соответствующих приборов или превышении допустимых уровней облучения.

Наиболее существенные источники радио- и низкочастотных волн в народном хозяйстве — это линии электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, радио- и телевизионные станции, радиолокационные и навигационные средства, системы сотовой, мобильной, спутниковой связи, электротранспорт и др. В быту загрязняют окружающую среду радио- и телеаппаратура, компьютерная техника, электроприборы. Их влияние может быть достаточно ощутимым. Например, на расстоянии 3 см магнитная индукция (плотность потока) при работе фена составляет 2 тыс. мкТ, электробритвы — 1,5 тыс. мкТ (естественный геомагнитный фон равен всего 30-60 мкТ).

Приведем примеры негативного влияния отдельных видов электромагнитных полей на население.

Значительно превышают норму излучения от некоторых военных объектов. В Московской области их уровень больше допустимого в 2-10 раз в Можайском районе, в 8-9 раз — в Каширском, в 15 раз — в поселке Руднево. В Архангельской области воздействию повышенных уровней ЭМП подвергаются жители поселков искателей Ненецкого округа. Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора значительно увеличили интенсивность излучения СВЧ-диапазона, создав на местности зоны большой протяженности с высокой ППЭ. Наиболее неблагоприятные условия отмечены в жилых районах городов, в черте которых размещены аэропорты (Иркутск, Сочи, Ростов-на-Дону и др.).

Достаточно достоверно определено влияние теле- и радиобашен. В этом плане интересны результаты обследования в Бирмингеме (Англия). Вещание здесь ведется на восьми телевизионных каналах с об-

щей мощностью передатчиков 1000 кВт и на трех радиоканалах УКВ (FM) мощностью 250 кВт. Высота мачты 240 м, жилая застройка начинается в 200 м от комплекса. Выявлено, что в полукilометровой зоне вокруг башни заболеваемость жителей лейкемией в 1974-1986 гг. оказалась в 10 раз, а в зоне 1-3 км — в 1,5-2,5 раза большей, чем среди остального населения города. Лишь на расстоянии свыше 6 км смертоносное влияние башни исчезало. При этом максимальные уровни излучения вблизи поверхности земли у телебашни составляли 1,3 мкВт/см² для TV-сигнала и 5 мкВт для радиосигнала FM, что является стандартным для электромагнитной обстановки вокруг излучающих устройств.

Связь повышенного уровня заболеваний лейкемией с наличием радиопередающих устройств в 1980-1996 гг. неоднократно устанавливалась и для других мест: Портленд (США), Гавайи, Польша, Сидней (Австралия) и др.

Отрицательное воздействие радиочастот определяется не только мощностью источников, но и их расстоянием до объекта. Передатчик в 5 кВт на расстоянии 100 м создает такую же интенсивность облучения, как и в 100 кВт — на расстоянии 2 км.

Менее исследовано влияние на человека ЭМП низких и сверхнизких частот (от тысячных долей до десятков герц). Между тем в электропоездах, например, напряженность переменного магнитного поля достигает 10 мТ, т.е. ее уровень превышает естественный фон в сотни раз. Появляется все больше доказательств того, что значительная часть случаев инфаркта миокарда в крупных городах может быть вызвана мощными низкочастотными ЭМП. Их фон, ставший привычным для крупного города, соответствует уровню высокой естественной геомагнитной активности (магнитной буре).

У людей, проживающих вблизи линий электропередач и трансформаторных подстанций, могут возникать изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, нейрогуморальной и эндокринной систем, нарушаются обменные процессы, иммунитет и воспроизводительная функция.

В настоящее время появились данные о влиянии на здоровье людей не только переменных, но и постоянных ЭМП и геомагнитных возмущений.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) на работающих обнаружено при обследовании обслуживающего персонала калютронов — установок, используемых при электромагнитном способе разделения изотопов. Выявлено, что ПМП имеет неоднородный характер: в пределах 2,5 м от контура установки отмечается понижение магнитной индукции от 0,175 Т до нуля.

На начальных стадиях магнитного воздействия наблюдается неустойчивость регуляторных систем кровообращения с наклонностью к гипертензии и коллапсоидным состояниям. На последующих стадиях магнитного воздействия фиксируются уже стойкие изменения регуляторных систем и содержания ионов кальция, натрия, калия в крови (Сыромятников).

Влияние геомагнитных возмущений, связанных с изменением солнечной активности, установлено по данным анализа в г. Свердловске 3000 случаев за 1960-1966 гг. Показана статистически достоверная зависимость между индексом геомагнитного возмущения и увеличением заболеваемости, летальных исходов по инфаркту миокарда, инсультам, скоропостижным смертям в течении всех лет наблюдения. Часть этих данных представлена ниже (Гневыхев...):

Индекс геомагнитного возмущения, с	0	0,5	1	1,5	2
Смертность от инфаркта миокарда	1,0	1,2	1,58	3,36	3,43
Смертность от инсульта	1,0	1,0	1,50	3,90	—

Здесь 0 — невозмущенные дни; 0,5 и 1 — минимальная геомагнитная активность.

Известно также, что 70% всех смертей по причине инфаркта миокарда приходится на недели, когда наблюдались магнитные бури, и только 30% — на периоды спокойного магнитного поля Земли (*Куклев*). При этом наибольшие уровни заболеваемости и смертности фиксируются в день геомагнитного возмущения и в последующие 24-28 ч.

В целом уровни ЭМИ антропогенного происхождения в настоящее время в десятки тысяч раз превышают естественный фон. В частности, за вторую половину 20 в. мощность радиоизлучения объектов гражданского назначения увеличилась более чем в 50 тыс. раз. Масштабы электромагнитного загрязнения стали настолько существенными, что ВОЗ включила эту проблему в число наиболее актуальных для человечества. Ее эксперты полагают, что по влиянию на состояние здоровья населения ЭМИ выходят на уровни, характерные для нынешнего загрязнения окружающей среды вредными химическими веществами. При сохранении имеющихся темпов роста, в том числе по количеству и мощности источников излучения, электромагнитное загрязнение может превзойти химическое.

Гигиеническое нормирование электрических и магнитных полей ведется раздельно: первых — по величине напряженности E (В/м) и продолжительности действия, вторых — по напряженности H в амперах на метр (А/м).

Санитарные правила и нормы устанавливают ПДУ воздействия ЭМИ на людей в диапазоне 30 кГц-300 ГГц. В соответствии с вышеотмеченным, оно оценивается двумя параметрами: предельно допустимой энергетической экспозицией (ЭЭ) и значениями интенсивности ЭМИ радиочастот. Первый из них применяется для лиц, деятельность или обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ (профессионалы). Второй параметр используют для всех остальных категорий людей, не связанных с работой на средствах радиоизлучения, но вынужденных находиться в зоне их действия (непрофессионалы).

Интенсивность ЭМИ оценивается: в диапазоне частот 30 кГц-300 МГц — значениями напряженности электрического и магнитного полей, в диапазоне 300 МГц-30 ГГц — величиной ППЭ. Регламентированные значения величин ЭЭ и интенсивности ЭМИ приведены в табл. 6.4 и 6.5.

Таблица 6.4

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазон частот	Е, (В/м) ² ·ч	Н, (А/м) ² ·ч	ППЭ, (мкВт/см ²)·ч
30 кГц-3МГц	20000	200	—
3-30 МГц	7000	Не разрабо- таны	—
30-50 МГц	800	0,72	—
50-300 МГц	800	Не разрабо- таны	—
300 МГц-300 ГГц	—	—	200

Таблица 6.5

Максимально допустимые значения интенсивности ЭМИ

Параметр	30 кГц- 300 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	300 МГц- 300 ГГц
Е _{пду} , В/м	500	396	80	—
Н _{пду} , А/м	50	3	3(30-50 МГц)	—
ППЭ _{пду} , мкВт/см ²	—	—	—	1000

Предельно допустимые уровни интенсивности ЭМИ радиочастотного диапазона для территории жилой застройки, мест отдыха, помещений, рабочих мест лиц до 18 лет и беременных женщин установлены меньшими, чем для рабочей зоны, и составляют, В/м:

Частота	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-300 ГГц
$E_{\text{пду}}$	25	15	10	3	ППЭ 10 мкВт/см ²

Допустимая длительность пребывания работающих без средств защиты в электрическом поле снижается по мере возрастания его напряженности. При 5 кВ/м она не ограничивается, но при 25 кВ/м составляет только 5 мин. При более высокой напряженности работа должна производиться с применением мер защиты. Безопасная величина напряженности электрического поля снижается также с повышением частоты электромагнитных волн, равняясь, например, 50 кВ/м при 60 кГц-3 МГц и 5 В/м при 50-300 МГц.

Аналогичным образом допустимая магнитная составляющая достигает 5 А/м для частот 60 кГц-1,5 МГц и всего 0,3 А/м при 30-50 МГц.

ПДУ ППЭ в диапазоне 300 МГц-300 ГГц зависят от продолжительности воздействия. Пребывание в течение всего рабочего дня возможно при ППЭ не более 0,1 Вт/см² и ограничено 20 минутами при 10 Вт/м².

ПДУ напряженности ЭМП, создаваемых линиями электропередачи низкочастотных токов промышленной частоты, санитарными нормами и правилами предусматриваются следующими, кВ/м: внутри жилых зданий — 0,5; на территории зоны жилой застройки — 1; в населенных пунктах вне зоны жилой застройки — 10, в ненаселенной местности, часто посещаемой людьми, — 15; в труднодоступной для людей местности — 20.

Для безопасной работы с источниками ЭМИ необходимы организационные, инженерно-технические, лечебно-профилактические меры и средства защиты.

Основной способ защиты от электромагнитных полей в окружающей среде — расстояние. На селитебной территории планировочные решения при размещении радиотехнических объектов (РТО) и источников низкочастотных излучений выбирают с учетом мощности передатчиков, характеристики направленности, высоты размещения и конструктивных особенностей антенн, рельефа местности, функционального назначения прилегающих территорий, этажности застройки. Площадка РТО оборудуется в согласии со строительными нормами и правилами, на ее территории не допускается размещение жилых и общественных зданий.

Вокруг антенных сооружений различного назначения должны создаваться СЗЗ и зоны ограниченной застройки в соответствии с СН 245-71.

СЗЗ представляют собой площадь, примыкающую к технической территории РТО. Ее внешняя граница определяется на высоте 2 м от поверхности земли и на расстоянии, при котором достигаются ПДУ электромагнитных полей, приведенные в нормах.

Зона ограниченной застройки определяется как территория, где на высоте 2 м от поверхности земли ПДУ превышены. Внешнюю границу этой зоны находят на максимальной высоте зданий перспективной застройки, на уровне верхнего этажа которых ПДУ электромагнитного поля не превышены.

Границы СЗЗ мощных (более 100 кВт) радиостанций зависят от их частотности и составляют не менее, м: для длинноволновых станций — 480; средневолновых — 960; коротковолновых — 4500. Санитарно-защитная зона радиолокационных станций может достигать 28 км, а телевизионных центров мощностью более 200 кВт — 500-100 м (Электромагнитная..., Плескачева...).

СЗЗ устанавливаются также для высоковольтных линий (ВЛ) электропередач (СНиП № 2971-84):

Напряжение, кВ	1150	750	500	330	220	110	35	До 20
СЗЗ, м	300 (55)	250 (40)	150 (30)	75 (20)	25	20	15	10

Значения, данные в скобках, допускаются в порядке исключения в сельской местности. На территории СЗЗ ВЛ напряжением 750 кВ и более запрещается проведение сельскохозяйственных и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

Для ограничения воздействия промышленных ЭМП на окружающую среду необходимо использовать средства, предусмотренные ГОСТ 12.1.006-84 к применению непосредственно в цехах предприятия: экранирование оборудования — источника поля, использование поглотителей мощности (облицовка потолка и стен рабочих помещений материалами с большим содержанием углерода.). Экранирование — один из основных методов защиты от низкочастотных и радиоизлучений. Оно может быть полным или частичным. Для него пригодны главным образом материалы с высокой электрической проводимостью (медь, латунь, алюминий и его сплавы), применяемые в виде листов или сеток. Экранирующие устройства необходимо заземлять, подсоединяя их к контуру заземления или заземленным объектам.

Для защиты от воздействия ЭМП можно использовать индивидуальные средства. При промышленной частоте ЭМП (50 Гц) индивидуальный защитный комплект включает костюм из металлизированной ткани, экранирующий головной убор и специальную обувь с элек-

тропроводящей подошвой или целиком выполненную из электропроводящей резины. При низкой проводимости грунта, когда комплект практически изолирован от «земли», все его элементы дополнительно заземляются. Для защиты глаз от действия СВЧ-излучения используют специальные очки, стекла которых покрыты тонким слоем металла или его соединений (Au, SnO_2).

Женщины в период беременности и лактации должны переводиться на другие участки. Лица до 18 лет к работе с генераторами радиочастот не допускаются.

Нормированию подлежит также вся бытовая и компьютерная техника. Общие рекомендации по ее безопасности:

- использовать электроприборы и персональные компьютеры (ПК) с меньшим уровнем электропотребления, что снижает уровень ЭМП;

- размещать приборы, работающие длительное время (холодильник, телевизор, СВЧ-печь, электропечь, электрообогреватели, ПК, воздухоочистители, аэроионизаторы), на расстоянии не менее 1,5 м от мест постоянного пребывания или ночного отдыха, особенно детей;

- заземлять ПК и приборы на контур заземления здания. Нельзя заземлять на батарею отопления, водопроводные трубы, «ноль» розетки;

- использовать приборы с автоматическим управлением, что позволяет не находиться рядом с ними во время работы.

6.3. Радиоактивный распад

Радиоактивные вещества широко применяются во многих отраслях народного хозяйства. Искусственные радиоактивные изотопы используют для дефектоскопии металлов, при изучении структуры и износа материалов, разделении веществ и синтезе химических соединений, в аппаратах и приборах медицинского назначения, в качестве меченых атомов (для определения растворимости весьма мало растворимых веществ, исследования фотосинтеза растений, процессов кровообращения и т.д.). В археологии меченые атомы позволяют определять возраст ископаемых растений и животных (радиоуглеродный метод). Однако наиболее существенно для человечества применение радиоактивных веществ для производства электроэнергии (АЭС) и атомного оружия.

Распад радиоактивных веществ сопровождается их ионизирующим излучением, под которым понимают потоки частиц (корпускул) и электромагнитных квантов, возникающих при ядерных превращениях. Чаще всего встречаются такие разновидности ионизирующих излучений, как гамма- и рентгеновские, потоки α -частиц, электронов и ней-

тронов. Природа рентгеновского и γ -излучения рассмотрена ранее (разд. 6.2.2).

Альфа-частицы представляют собой положительно заряженные ядра атомов гелия. Они имеют незначительный пробег во всех средах (в воздухе — 20-110 мм, в биологических тканях — 30-150, в алюминии — 10-69 мм), создавая на своем пути ионизацию большой плотности. Воздействие их сказывается в основном при внутреннем облучении, т.е. при попадании в организм.

Бета-частицы являются потоком электронов. Их пробег в воздухе составляет несколько метров, в тканях человека — около 1 см, в металлах — 1 мм. Энергия, теряемая ими при прохождении через вещество, расходуется на возбуждение и ионизацию, а также на образование тормозного (электромагнитного) излучения. Удельная ионизирующая способность β -частиц меньше, чем α -частиц, но выше, чем γ -излучения, их воздействие на организм может проявляться как при внешнем, так и при внутреннем облучении.

Нейтроны не имеют электрических зарядов, поэтому их поток обладает большой проникающей способностью. Медленные, или тепловые, нейтроны вступают в ядерные реакции, в которых могут образоваться стабильные или радиоактивные изотопы.

Естественными радиоактивными элементами являются ряды тория, урана и актиния. В процессе их распада образуется целый ряд новых радиоактивных элементов, испускающих α - и β -частицы, ЭМИ.

Для характеристики радиоактивного излучения введен ряд понятий, основанных на его ионизационном действии: доза рентгеновского и γ -излучения, мощность дозы, поглощенная доза излучения, радиевый эквивалент препарата, биологический эквивалент дозы, активность радиоактивного изотопа, удельная активность и активная концентрация.

Доза рентгеновского и γ -излучения определяется в рентгенах (разд. 6.2.2). Она характеризует не источник излучения, а его ЭМП в определенном месте, участке.

Мощность дозы измеряется в рентгенах в секунду.

Поглощенная доза — это энергия ионизирующего излучения, воспринимаемая единицей массы любого неживого облучаемого вещества, измеряется в *радах*. Рад — поглощенная доза излучения, равная 0,01 Дж на килограмм облученного вещества. В системе СИ единицей поглощенной дозы является 1 Дж/кг, получивший название *грей* (Гр). Таким образом, 1 Гр равен 100 радам.

Радиевый γ -эквивалент препарата — величина, введенная для сравнения радиоактивности различных веществ, дающих γ -излучение. За единицу, по которой оцениваются все другие препараты, принят

1 мг радия — миллиграмм-эквивалент радия (мэр), иногда — 1 г радия, или ГЭР.

Определения «биологический эквивалент дозы» и «эффективная доза излучения» рассмотрены в разд. 6.2.2.

Размерность эквивалентной дозы ионизирующего излучения совпадает с размерностью поглощенной дозы. Поэтому:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot 1(k=1) = 100 \text{ рад} \cdot 1(k=1) = 100 \text{ бэр}, \quad (6.5)$$

где k — безразмерный коэффициент качества излучения.

Величина k для различных видов ионизирующего излучения: рентгеновское, γ - и β -излучения, электроны, позитроны — 1; нейтроны, в зависимости от энергии, — 5-20; альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра — 20.

Активность радиоактивного изотопа связана с количеством актов распада в нем за единицу времени. За единицу активности принят 1 кюри (Ки). Активность, равная 1 Ки, означает, что в веществе за 1 с происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ актов распада. Это соответствует активности 1 г чистого радия. В международной системе единиц активность измеряется в беккерелях (Бк); 1 Бк соответствует активности нуклида, в котором за 1 с происходит один акт радиоактивного распада. В этом акте может выделяться как β -частица, так и γ -квант и другие виды ионизирующего излучения. Таким образом, 1 Ки составляет $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Удельная активность выражается в единицах активности на единицу массы радиоактивного вещества (Ки/г, Ки/моль, Бк/кг, Бк/моль).

Активная концентрация в воздухе и воде выражается в Ки/л, Бк/л и их производных.

Ионизирующее излучение оказывает влияние на организм как при внешнем (особенно гамма- и рентгеновском), так и при внутреннем (особенно альфа-) облучении.

Поражающее действие γ - и рентгеновского излучений рассмотрено ранее (разд. 6.2.2).

Защиту от радиоактивного воздействия веществ нормируют отдельно для жилых и промышленных зон.

В соответствии с НРБ-99 лица, непосредственно не работающие с источниками ионизирующего излучения, делятся на категории Б и В. Категория Б, в зависимости от условий своего проживания или от размещения рабочих мест на предприятии, может попадать под воздействие радиоактивных веществ или других источников излучения, используемых в учреждении и/или удаляемых во внешнюю среду. К категории В относится все остальное население страны.

Для категории Б нормами предусмотрены предел дозы (ПД) облучения в среднем 20 мЗв/год в среднем за 5 лет в единицах эффек-

тивной дозы. Последняя учитывает различную степень поражения отдельных тканей и органов, например легких, щитовидной железы и гениталий (Козлов...).

Основные мероприятия по защите населения категорий Б и В от ионизирующего воздействия сводятся к всемерному ограничению поступления в окружающую среду отходов производства, содержащих радионуклиды, и зонированию территории вне промышленных предприятий. Для последних при необходимости создают СЗЗ и зону наблюдения.

СЗЗ — территория вокруг источника радиоактивных выбросов, на которой уровень облучения может превышать ПД. В зоне наблюдения этот уровень не должен быть больше установленного ПД. Территория зоны наблюдения, как правило, в 3-4 раза превышает размеры СЗЗ. В обеих зонах вводится радиационный контроль, а в СЗЗ и режим ограничений. Минимальное расстояние от атомных теплоцентралей (АТЦ) и атомных электростанций до городов должно составлять, км:

Город, тыс. чел.	100-300	300-500	500-1000	1000-2000
АТЭЦ	10	12	18	25
АЭС	—	25	—	40

Ионизирующее излучение в значительной степени экранируется зданиями (табл. 6.6).

Требования, предъявляемые к устройству помещений лабораторий и предприятий, предназначенных для промышленного использования радиоактивных веществ, зависят от класса радиационной опасности работ.

В соответствии с ОСП-72/87, проведение работ III класса разрешается в общих помещениях лаборатории на специально оборудованных местах. Работы II класса следует выполнять в специальных изолированных помещениях. Для работ I класса необходимо выделять здания или помещения с отдельным входом, полностью изолированные от других помещений и имеющие трехзональную планировку. Первая (чистая) зона включает операторские и вспомогательные помещения, где нет активных загрязнений. Во второй (грязной) зоне проводят непосредственные работы с радиоактивными веществами. Третья (также грязная) зона является ремонтно-транспортной. Сообщение между чистой и грязными зонами осуществляется через санпропускник или шлюз.

Набор дополнительных мер безопасности зависит от того, закрытым или открытым является источник радиоактивного излучения.

При закрытом источнике возможно только внешнее облучение, поэтому необходима прежде всего защита от его рентгеновской и гамма-

составляющих. Входящие в нее меры в основном рассмотрены в разд. 6.2.2.

Таблица 6.6

Коэффициент k экранирования зданиями (Иванова)

Сооружение	k
Одно- или двухэтажные деревянные дома	0,4
Одно- или двухэтажные блочные или кирпичные дома	0,2
Подвал дома	0,1-0,3
Трех- или четырехэтажные конструкции (500-1000 м ² на этаж):	
первый, второй этаж	0,08
подвал	0,01
Многоэтажные конструкции (~1000 м ² на этаж):	
верхние этажи	0,01
подвал	0,005

Примечание. k — отношение мощности дозы γ -излучения внутри и вне помещения

При работе с открытыми источниками, когда создаются условия для попадания радиоактивных веществ внутрь организма и его облучения там, требуются еще более сложные меры защиты. Они имеют целью не допустить или свести к минимуму загрязнение радиоактивными газами, парами и аэрозолями воздуха, оборудования, аппаратуры, помещения, спецодежды и рук. Конкретные виды этих мер зависят от особенностей производственных и трудовых процессов. Наибольшее внимание должно уделяться сбору, удалению и захоронению твердых и высокоактивных жидких отходов, наличие которых увеличивает опасность радиоактивного облучения.