

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

КУРС ЛЕКЦИЙ

По дисциплине **«Производственная санитария и гигиена труда»**

Составитель:
Баландина Е.А.

Владимир, 2016

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЧЕЛОВЕКА

Теплообмен человека с окружающей средой. Одним из необходимых условий нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека. Метеорологические условия, или микроклимат, зависят от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий отопления и вентиляции.

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения в определенных климатических условиях и составляет от 85 Дж/с (в состоянии покоя) до 500 Дж/с (при тяжелой работе). Для того чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и как следствие к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потере сознания и тепловой смерти.

Одним из важных интегральных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела (внутренних органов) порядка 36,5 °С. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической

работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха температура тела может повышаться от нескольких десятых градуса до 1...2 °С. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет +43 °С, минимальная +25 °С. Температурный режим кожи играет основную роль в теплоотдаче. Ее температура меняется в довольно значительных пределах и при нормальных условиях средняя температура кожи под одеждой составляет 30...34 °С. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела она может понижаться до 20 °С, а иногда и ниже.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение $Q_{тп}$ человека полностью воспринимается окружающей средой $Q_{то}$, т.е. когда имеет место тепловой баланс $Q_{тп} = Q_{то}$. В этом случае температура внутренних органов остается постоянной. Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде ($Q_{тп} > Q_{то}$), происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием жарко. Теплоизоляция человека, находящегося в состоянии покоя (отдых сидя или лежа), от окружающей среды приведет к повышению температуры внутренних органов уже через 1 ч на 1,2 °С. Теплоизоляция человека, производящего работу средней тяжести, вызовет повышение температуры уже на 5 °С и вплотную приблизится к максимально допустимой. В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек ($Q_{тп} < Q_{то}$), то происходит

охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием холодно.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией Q_k в результате омывания тела воздухом, теплопроводностью Q_t , излучением на окружающие поверхности Q_l и в процессе тепломассообмена ($Q_{tm}=Q_p+Q_d$) при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами Q_p и при дыхании Q_d :

$$Q_{tp} = Q_k + Q_t + Q_l + Q_{tm}.$$

Конвективный теплообмен определяется законом Ньютона:

$$Q_k = \alpha_k F_{\text{э}}(t_{\text{пов}} - t_{\text{ос}}),$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекций; при нормальных параметрах микроклимата $\alpha_k = 4,06$ Вт/ (м²·°C); $t_{\text{пов}}$ – температура поверхности тела человека (для практических расчетов зимой около 27,7 °C, летом около 31,5 °C); $t_{\text{ос}}$ – температура воздуха, омывающего тело человека; $F_{\text{э}}$ – эффективная поверхность тела человека (размер эффективной поверхности тела зависит от положения его в пространстве и составляет приблизительно 50...80% геометрической внешней поверхности тела человека); для практических расчетов $F_{\text{э}} = 1,8$ м². Значение коэффициента теплоотдачи конвекцией можно определить приближенно как $\alpha_k = \lambda / \delta$, где λ , – коэффициент теплопроводности газа пограничного слоя, Вт/ (м²·°C); δ – толщина пограничного слоя омывающего газа, м.

Удерживаемый на внешней поверхности тела пограничный слой воздуха (до 4...8 мм при скорости

движения воздуха $w = 0$) препятствует отдаче теплоты конвекцией. При увеличении атмосферного давления (B) и в подвижном воздухе толщина пограничного слоя уменьшается и при скорости движения воздуха 2 м/с составляет около 1 мм. Передача теплоты конвекцией тем больше, чем ниже температура окружающей среды и чем выше скорость движения воздуха. Заметное влияние оказывает и относительная влажность воздуха ϕ , так как коэффициент теплопроводности воздуха является функцией атмосферного давления и влагосодержания воздуха.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяется в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влагосодержанием воздуха, т.е. $Q_k = f(t_{oc}; \beta; w; \phi)$.

Передачу теплоты теплопроводностью можно описать уравнением Фурье:

$$Q_{tr} = \frac{\lambda_0}{\Delta_0} F_3(t_{пов} - t_{oc}),$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности тканей одежды человека, Вт/ (м·°C); Δ_0 – толщина одежды человека м.

Теплопроводность тканей человека мала, поэтому основную роль в процессе транспортирования теплоты играет конвективная передача с потоком крови.

Лучистый поток при теплообмене излучением тем больше, чем ниже температура окружающих человека поверхностей. Он может быть определен с помощью обобщенного закона Стефана – Больцмана:

$$Q_{\text{л}} = c_{\text{сп}} F_1 \psi_{1-2} [(T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4],$$

Спр–приведенный коэффициент излучения, Вт/ (м²сти К⁴);

где F1– площадь поверхности, излучающей лучистый поток, м²; ψ_{1-2} –коэффициент облучаемости, зависящий от расположения и размеров поверхностей F1 и F2 и показывающий долю лучистого потока, приходящуюся на поверхность F1 от всего потока, излучаемого поверхностью F1; T1 средняя температура поверхности тела и одежды человека, К; T2 –средняя температура окружающих поверхностей, К.

Для практических расчетов в диапазоне температур окружающих человека предметов 10...60 °С приведенный коэффициент излучения Спр \approx 4,9 Вт/ (м² К⁴). Коэффициент облучаемости ψ_{1-2} обычно принимают равным 1,0. В этом случае значение лучистого потока зависит в основном от степени черноты ϵ и температуры окружающих человека предметов, т.е. $Q^{\wedge}=f(T_{\text{оп}}; \epsilon)$

Количество теплоты, отдаваемое человеком в окружающую среду при испарении влаги, выводимой на поверхность потовыми железами,

$$Q_n = G n r,$$

где Gn – масса выделяемой и испаряющейся влаги, кг/с; r – скрытая теплота испарения выделяющейся влаги, Дж/кг.

Данные о потовыделении в зависимости от температуры воздуха и физической нагрузки человека приведены в табл.1.1. Как видно из таблицы, количество выделяемой влаги меняется в значительных пределах.

Так, при температуре воздуха 30 °С у человека, не занятого физическим трудом, влаговыделение составляет 2 г/мин, а при выполнении тяжелой работы увеличивается до 9,5 г/мин.

Количество теплоты, отдаваемой в окружающий воздух с поверхности тела при испарении пота, зависит не только от температуры воздуха и интенсивности работы, выполняемой человеком, но и от скорости окружающего воздуха и его относительной влажности, т.е. $Q_{п} = f(t_{oc}; V; w; \varphi; J)$, где J – интенсивность труда, производимого человеком, Вт.

Таблица 1.1. Количество влаги, выделяемое с поверхности кожи и из легких человека, г/мин

Характеристика выполняемой работы (по Н.К. Витте)	Температура воздуха, °С				
	16	18	28	35	45
Покой, $J = 100$ Вт	0,6	0,74	1,69	3,25	6,2
Легкая, $J = 200$ Вт	1,8	2,4	3,0	5,2	8,8
Средней тяжести, $J = 350$ Вт	2,6	3,0	5,0	7,0	11,3
Тяжелая, $J = 490$ Вт	4,9	6,7	8,9	11,4	18,6
Очень тяжелая, $J = 695$ Вт	6,4	10,4	11,0	16,0	21,0

В процессе дыхания воздух окружающей среды, попадая в легочный аппарат человека, нагревается и одновременно насыщается водяными парами. В технических расчетах можно принимать (с запасом) что выдыхаемый воздух имеет температуру 37 °С и полностью насыщен.

Количество теплоты, расходуемой на нагревание вдыхаемого воздуха,

$$Q_d = V_{\text{лв}} \rho_{\text{вд}} c_p (t_{\text{выд}} - t_{\text{вд}}),$$

где $V_{\text{лв}}$ – объем воздуха, вдыхаемого человеком в

единицу времени, «легочная вентиляция», м³/с; $\rho_{вд}$ – плотность вдыхаемого влажного воздуха, кг/м³; $C_{рвд}$ – удельная теплоемкость вдыхаемого воздуха, Дж/ (кг • °С); $t_{вд}$ – температура выдыхаемого воздуха, °С; $t_{ад}$ – температура вдыхаемого воздуха, °С.

«Легочная вентиляция» определяется как произведение объема воздуха вдыхаемого за один вдох, $V_{в-в}$, м³ на частоту дыхания в секунду n : $V^{\wedge}_{в} = V_{в-в} \cdot n$. Частота дыхания человека непостоянна и зависит от состояния организма и его физической нагрузки. В состоянии покоя она составляет 12...15 вдохов-выдохов в минуту, а при тяжелой физической нагрузке достигает 20...25. Объем одного вдоха-выдоха является функцией производимой работы. В состоянии покоя с каждым вдохом в легкие поступает около 0,5 л воздуха. При выполнении тяжелой работы объем вдоха-выдоха может возрастать до 1,5...1,8 л.

Среднее значение легочной вентиляции в состоянии покоя примерно 0,4...0,5 л/с, а при физической нагрузке в зависимости от ее напряжения может достигать 4 л/с.

Таким образом, количество теплоты, выделяемой человеком с выдыхаемым воздухом, зависит от его физической нагрузки, влажности и температуры окружающего (вдыхаемого) воздуха: $Q^{\wedge} = f(J; \varphi; t_{ос})$. Чем больше физическая нагрузка и ниже температура окружающей среды, тем больше отдается теплоты с выдыхаемым воздухом. С увеличением температуры и влажности окружающего воздуха количество теплоты отводимой через дыхание, уменьшается.

Анализ приведенных выше уравнений позволяет сделать вывод что тепловое самочувствие человека, или тепловой баланс в системе человек –среда обитания зависит от температуры среды, подвижности и относительной влажности воздуха, атмосферного давления, температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма $Q_{тп}=f(t_{oc}; w; \psi; B; T_{оп}; J)$.

Параметры–температура окружающих предметов и интенсивность физической нагрузки организма– характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим многообразием. Остальные параметры–температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха –получили название параметров микроклимата.

Влияние параметров микроклимата на самочувствие человека. Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. Повышение скорости воздуха ухудшает самочувствие, так как способствует усилению конвективного теплообмена и процессу теплоотдачи при испарении пота.

При повышении температуры воздуха возникают обратные явления. Исследователями установлено, что

при температуре воздуха более 30 °С работоспособность человека начинает падать. Для человека определены максимальные температуры в зависимости от длительности их воздействия и используемых средств защиты. Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116 °С. На рис.1.1. представлены ориентировочные данные о переносимости температур, превышающих 60 °С. Существенное значение имеет равномерность температуры. Вертикальный градиент ее не должен выходить за пределы 5 °С.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев тела. Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при $t_{oc} > 30$ °С, так как при этом почти все выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое проливное течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек,

их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30...70%.

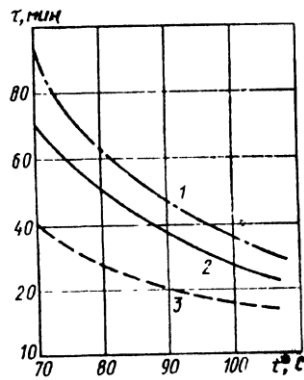


Рис.1.1. Переносимость высоких температур в зависимости от длительности их воздействия: 1 – верхняя граница выносливости; 2 – среднее время выносливости; 3 – граница появления симптомов перегрева.

Вопреки установившемуся мнению величина потовыделения мало зависит от недостатка воды в организме или от ее чрезмерного потребления. У человека, работающего в течение 3 ч без питья, образуется только на 8% меньше пота, чем при полном возмещении потерянной влаги. При потреблении воды вдвое больше потерянного количества наблюдается увеличение потовыделения всего на 6% по сравнению со случаем, когда вода возмещалась на 100%. Считается допустимым для человека снижение его массы на 2...3% путем испарения влаги – обезвоживание организма. Обезвоживание на 6% влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на 15... 20% приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей (до 1%, в том числе 0,4...0,6 NaCl). При неблагоприятных условиях потеря

жидкости может достигать 8–10 л за смену и в ней до 60 г поваренной соли (всего в организме около 140 г NaCl). Потеря соли лишает кровь способности удерживать воду и приводит к нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы. При высокой температуре воздуха легко расходуется углеводы, жиры, разрушаются белки.

Для восстановления водного баланса работающих в горячих цехах устанавливают пункты подпитки подсоленной (около 0,5% NaCl) газированной питьевой водой из расчета 4...5 л на человека в смену. На ряде заводов для этих целей применяют белково-витаминный напиток. В жарких климатических условиях рекомендуется пить охлажденную питьевую воду или чай.

Длительное воздействие высокой температуры особенно в сочетании с повышенной влажностью может привести к значительному накоплению теплоты в организме и развитию перегревания организма выше допустимого уровня – гипертермии – состоянию, при котором температура тела поднимается до 38...39 °C. При гипертермии и как следствие тепловом ударе наблюдаются головная боль, головокружение, общая слабость, искажение цветового восприятия, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное потовыделение. Пульс и дыхание учащены, в крови увеличивается содержание азота и молочной кислоты. При этом наблюдается бледность, синюшность, зрачки расширены, временами возникают судороги, потеря сознания.

Производственные процессы, выполняемые при пониженной температуре, большой подвижности и

влажности воздуха, могут быть причиной охлаждения и даже переохлаждения организма гипотермии. В начальный период воздействия умеренного холода наблюдается уменьшение частоты дыхания, увеличение объема вдоха. При продолжительном действии холода дыхание становится неритмичным, частота и объем вдоха увеличивается, изменяется углеводный обмен. Прирост обменных процессов при понижении температуры на 1 °С составляет около 10%, а при интенсивном охлаждении он может возрасти в 3 раза по сравнению с уровнем основного обмена. Появление мышечной дрожи, при которой внешняя работа не совершается, а вся энергия превращается в теплоту, может в течение некоторого времени задерживать снижение температуры внутренних органов. Результатом действия низких температур являются холодовые травмы.

Параметры микроклимата оказывают существенное влияние и на производительность труда. Так, повышение температуры с 25 до 30 °С в прядильном цехе Ивановского камвольного комбината привело к снижению производительности труда и составило 7% (Ю.А. Шиков, 1972 г). Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР (1980 г) установил, что производительность труда работников машиностроительного предприятия при температуре 29,4 °С снижается на 13%, а при температуре 33,6°С на 35% по сравнению с производительностью при 26°С.

В горячих цехах промышленных предприятий большинство технологических процессов протекает при

температурах, значительно превышающих температуру воздуха окружающей среды. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии, которые могут привести к отрицательным последствиям. При температуре до 500°C с нагретой поверхности излучаются тепловые (инфракрасные) лучи с длиной волны 740...0,76 мкм, а при более высокой температуре наряду с возрастанием инфракрасного излучения появляются видимые световые и ультрафиолетовые лучи.

Длина волны лучистого потока с максимальной энергией теплового излучения определяется по закону смещения Вина (для абсолютного черного тела) $\lambda_{E_{max}} = 2,9 \cdot 10^3 / T$. У большинства производственных источников максимум энергии приходится на инфракрасные лучи ($\lambda_{E_{max}} > 0,78$ мкм).

Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое действие. Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и как следствие наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем.

По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи подразделяются на коротковолновые лучи с длиной волны 0,76...1,5 мкм и длинноволновые с длиной более 1,5 мкм. Тепловые излучения коротковолнового диапазона глубоко проникают в ткани и разогревают их, вызывая быструю утомляемость,

понижение внимания, усиленное потовыделение, а при длительном облучении - тепловой удар. Длинноволновые лучи глубоко в ткани не проникают и поглощаются в основном в эпидермисе кожи. Они могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее частым и тяжелым поражением глаз вследствие воздействия инфракрасных лучей является катаракта глаза.

Кроме непосредственного воздействия на человека лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается.

Общее количество теплоты, поглощенное телом, зависит от размера облучаемой поверхности, температуры источника излучения и расстояния до него. Для характеристики теплового излучения принята величина, названная интенсивностью теплового облучения. Интенсивность теплового облучения J_E - это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности.

Облучение организма малыми дозами лучистой теплоты полезно, но значительная интенсивность теплового излучения и высокая температура воздуха могут оказать неблагоприятное действие на человека. Тепловое облучение интенсивностью до 350 Вт/м^2 не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м^2 уже через 3...5 мин на поверхности кожи появляется неприятное жжение (температура кожи повышается на $8...10^\circ\text{C}$), а при 3500 Вт/м^2 через несколько секунд возможны ожоги. При облучении интенсивностью

700...1400 Вт/м² частота пульса увеличивается на 5...7 ударов в минуту. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре кожи 40...45 °С (в зависимости от участка).

Интенсивность теплового облучения на отдельных рабочих местах может быть значительной. Например, в момент заливки стали в форму она составляет 12 000 Вт/м²; при выбивке отливок из опок 350... 2000 Вт/м², а при выпуске стали из печи в ковш достигает 7000 Вт/м².

Атмосферное давление оказывает существенное влияние на процесс дыхания и самочувствие человека. Если без воды и пищи человек может прожить несколько дней, то без кислорода - всего несколько минут. Основным органом дыхания человека, посредством которого осуществляется газообмен с окружающей средой (главным образом O₂ и CO₂), является трахеобронхиальное дерево и большое число легочных пузырей (альвеол), стенки которых пронизаны густой сетью капиллярных сосудов. Общая поверхность альвеол взрослого человека составляет 90...150 м². Через стенки альвеол кислород поступает в кровь для питания тканей организма.

Наличие кислорода во вдыхаемом воздухе - необходимое, но недостаточное условие для обеспечения жизнедеятельности организма. Интенсивность диффузии кислорода в кровь определяется парциальным давлением кислорода в альвеолярном воздухе (p_{O_2} , мм рт. ст.).

Экспериментально установлено:

где В-атмосферное давление вдыхаемого воздуха,

мм рт. ст.; 47 - парциальное давление насыщенных водяных паров в альвеолярном воздухе, мм рт. ст.; V_{CO_2} - объем кислорода, содержащийся в альвеолярном воздухе,%; p_{CO_2} - парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе; $p_{CO_2} \approx 40$ мм рт. ст.

Наиболее успешно диффузия кислорода в кровь происходит при парциальном давлении кислорода в пределах 95...120 мм рт. ст. Изменение P_{O_2} вне этих пределов приводит к затруднению дыхания и увеличению нагрузки на сердечно-сосудистую систему. Так, на высоте 2...3 км ($P_{O_2} \approx 70$ мм рт. ст) насыщение крови кислородом снижается до такой степени, что вызывает усиление деятельности сердца и легких. Но даже длительное пребывание человека в этой зоне не сказывается существенно на его здоровье, и она называется зоной достаточной компенсации. С высоты 4 км ($P_{O_2} \approx 60$ мм рт. ст) диффузия кислорода из легких в кровь снижается до такой степени, что, несмотря на большое содержание кислорода ($V_{O_2} \approx 21\%$), может наступить кислородное голодание – гипоксия. Основные признаки гипоксии – головная боль, головокружение, замедленная реакция, нарушение нормальной работы органов слуха и зрения, нарушение обмена веществ.

Как показали исследования, удовлетворительное самочувствие человека при дыхании воздухом сохраняется до высоты около 4 км, чистым кислородом ($V_{O_2} = 100\%$) до высоты около 12 км. При длительных полетах на летательных аппаратах на высоте более 4 км применяют либо кислородные маски, либо скафандры, либо герметизацию кабин. При нарушении герметизации

давление в кабине резко снижается. Часто этот процесс протекает так быстро, что имеет характер своеобразного взрыва и называется взрывной декомпрессией. Эффект воздействия взрывной декомпрессии на организм зависит от начального значения и скорости понижения давления, от сопротивления дыхательных путей человека, общего состояния организма.

В общем случае чем меньше скорость понижения давления, тем легче она переносится. В результате исследований установлено, что уменьшение давления на 385 мм рт. ст. за 0,4 с человек переносит без каких-либо последствий. Однако новое давление, которое возникает в результате декомпрессии, может привести к высотному метеоризму и высотным эмфиземам. Высотный метеоризм – это расширение газов, имеющих в свободных полостях тела. Так, на высоте 12 км объем желудка и кишечного тракта увеличивается в 5 раз. Высотные эмфиземы, или высотные боли – это переход газа из растворенного состояния в газообразное.

В ряде случаев, например при производстве работ под водой, в водонасыщенных грунтах работающие находятся в условиях повышенного атмосферного давления. При выполнении кессонных и глубоководных работ обычно различают три периода: повышения давления – компрессия; нахождения в условиях повышенного давления и период понижения давления – декомпрессия. Каждому из них присущ специфический комплекс функциональных изменений в организме.

Избыточное давление воздуха приводит к повышению парциального давления кислорода в

альвеолярном воздухе, к уменьшению объема легких и увеличению силы дыхательной мускулатуры, необходимой для производства вдоха-выдоха. В связи с этим работа на глубине требует поддержания повышенного давления с помощью специального снаряжения или оборудования, в частности кессонов или водолазного снаряжения.

При работе в условиях избыточного давления снижаются показатели вентиляции легких за счет некоторого урежения частоты дыхания и пульса. Длительное пребывание при избыточном давлении приводит к токсическому действию некоторых газов, входящих в состав вдыхаемого воздуха. Оно проявляется в нарушении координации движений, возбуждении или угнетении, галлюцинациях, ослаблении памяти, расстройстве зрения и слуха.

Наиболее опасен период декомпрессии, во время которого и вскоре после выхода в условиях нормального атмосферного давления может развиваться декомпрессионная (кессонная) болезнь. Сущность ее состоит в том, что в период компрессии и пребывания при повышенном атмосферном давлении организм через кровь насыщается азотом. Полное насыщение организма азотом наступает через 4 ч пребывания в условиях повышенного давления.

В процессе декомпрессии вследствие падения парциального давления в альвеолярном воздухе происходит десатурация азота из тканей. Выделение азота осуществляется через кровь и затем легкие. Продолжительность десатурации зависит в основном от

степени насыщения тканей азотом (легочные альвеолы диффундируют 150 мл азота в минуту). Если декомпрессия производится форсированно, в крови и других жидких средах образуются пузырьки азота, которые вызывают газовую эмболию и как ее проявление—декомпрессионную болезнь. Тяжесть декомпрессионной болезни определяется массовостью закупорки сосудов и их локализацией. Развитию декомпрессионной болезни способствует переохлаждение и перегревание организма. Понижение температуры приводит к сужению сосудов, замедлению кровотока, что замедляет удаление азота из тканей и процесс десатурации. При высокой температуре наблюдается сгущение крови и замедление ее движения.

Терморегуляция организма человека. Основными параметрами, обеспечивающими процесс теплообмена человека с окружающей средой, как было показано выше, являются параметры микроклимата. В естественных условиях на поверхности Земли (уровень моря) эти параметры изменяются в существенных пределах. Так, температура окружающей среды изменяется от - 88 до +60 °С; подвижность воздуха—от 0 до 100 м/с; относительная влажность—от 10 до 100% и атмосферное давление—от 680 до 810 мм рт. ст.

Вместе с изменением параметров микроклимата меняется и тепловое самочувствие человека. Условия, нарушающие тепловой баланс, вызывают в организме реакции, способствующие его восстановлению. Процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека

называются терморегуляцией. Она позволяет сохранять температуру внутренних органов постоянной, близкой к 36,5 °С. Процессы регулирования тепловыделений осуществляются в основном тремя способами: биохимическим путем; путем изменения интенсивности кровообращения и интенсивности потовыделения.

Терморегуляция биохимическим путем заключается в изменении интенсивности происходящих в организме окислительных процессов. Например, мышечная дрожь, возникающая при сильном охлаждении организма, повышает выделение теплоты до 125... 200Дж/с.

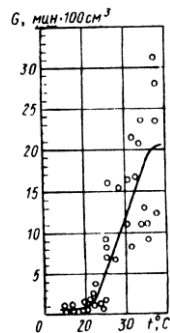


Рис.1.2. Зависимость кровоснабжения тканей организма от температуры окружающей среды

Терморегуляция путем изменения интенсивности кровообращения заключается в способности организма регулировать подачу крови (которая является в данном случае теплоносителем) от внутренних органов к поверхности тела путем сужения или расширения кровеносных сосудов. Перенос теплоты с потоком крови имеет большое значение вследствие низких коэффициентов теплопроводности тканей человеческого организма—0,314...1,45 Вт/(м⁰С) При высоких

температурах окружающей среды кровеносные сосуды кожи расширяются, и к ней от внутренних органов притекает большое количество крови и, следовательно, больше теплоты отдается окружающей среде. При низких температурах происходит обратное явление: сужение кровеносных сосудов кожи, уменьшение притока крови к кожному покрову и, следовательно, меньше теплоты отдается во внешнюю среду (рис.1.2). Как видно из рис.1.2, кровоснабжение при высокой температуре среды может быть в 20...30 раз больше, чем при низкой. В пальцах кровоснабжение может изменяться даже в 600 раз.

Терморегуляция путем изменения интенсивности потовыделения заключается в изменении процесса теплоотдачи за счет испарения. Испарительное охлаждение тела человека имеет большое значение. Так, при $t_{oc}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 60\%$, $w = 0$ количество теплоты, отдаваемой человеком в окружающую среду при испарении влаги, составляет около 18% общей теплоотдачи. При увеличении температуры окружающей среды до $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ доля Q_p возрастает до 30% и при $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигает 100%.

Терморегуляция организма осуществляется одновременно всеми способами. Так, при понижении температуры воздуха увеличению теплоотдачи за счет увеличения разности температур препятствуют такие процессы, как уменьшение влажности кожи, и следовательно, уменьшение теплоотдачи путем испарения, снижение температуры кожных покровов за счет уменьшения интенсивности транспортирования

крови от внутренних органов, и вместе с этим уменьшение разности температур.

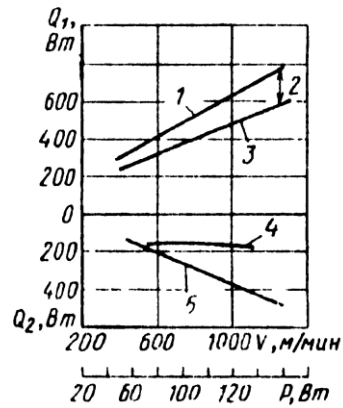


Рис.1.3. Тепловой баланс работающего человека и зависимости от нагрузки (v – скорость езды на велосипеде, P –нагрузка, Q_1 – тепловыделение, Q_2 – теплоотдача):

1–изменение общей затраты энергии организма; 2 – механическая работа; 3 – тепловыделения; 4 – изменение суммарной теплоотдачи (Ок. Q_t . Ол); 5–теплота, отданная при испарении пота с поверхности тела

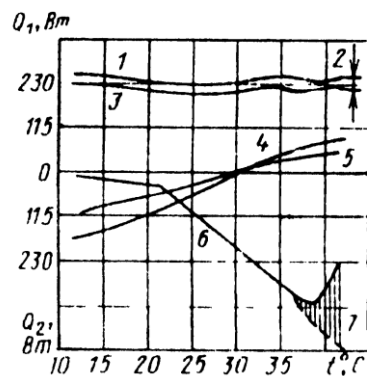


Рис.1.4. Тепловой баланс работающего человека в зависимости от температуры среды (Q_1 – тепловыделение, Q_2 – теплоотдача):

1–суммарная энергии организма; 2–мускульная

работа, 3–выделенная теплота; 4 –теплота, переданная теплопроводностью и конвекцией; 5–теплота, переданная излучением; 6–теплота, отданная при испарении пота; 7–теплота, потерянная с каплями пота

На рис.1.3. и 1.4. приведены тепловые балансы человека при различных объемах производимой работы в разных условиях окружающей среды. Тепловой баланс, приведенный на рис.1.3, составлен по экспериментальным данным для случая езды на велосипеде при температуре воздуха 22,5 °С и относительной влажности 45%; на рис.1.4. приведен тепловой баланс человека, идущего со скоростью 3,4 км/ч при различных температурах окружающего воздуха и постоянной относительной влажности 52%. Приведенные на рис.1.3. и 1.4. примеры процесса теплообмена человека с окружающей средой построены при условии соблюдения теплового баланса $Q_{тп}=Q_{то}$, поддержанию которого способствовал механизм терморегуляции организма. Экспериментально установлено, что оптимальный обмен веществ в организме и соответственно максимальная производительность труда имеют место, если составляющие процесса теплоотдачи находятся в следующих пределах: $Q_{к}+Q_{т}\approx 30\%$; $Q^{*}\approx 45\%$; $Q_{п}\approx 20\%$ и $Q^{*}\approx 5\%$. Такой баланс характеризует отсутствие напряженности системы терморегуляции.

Параметры микроклимата воздушной среды, которые обуславливают оптимальный обмен веществ в организме и при которых нет неприятных ощущений и

напряженности системы терморегуляции, называются комфортными или оптимальными. Зона, в которой окружающая среда полностью отводит теплоту, выделяемую организмом и нет напряжения системы терморегуляции, называется зоной комфорта. Условия, при которых нормальное тепловое состояние человека нарушается, называются дискомфортными. При незначительной напряженности системы терморегуляции и небольшой дискомфортности устанавливаются допустимые метеорологические условия.

Гигиеническое нормирование параметров микроклимата производственных помещений. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Они едины для всех производств и всех климатических зон с некоторыми незначительными отступлениями.

В этих нормах отдельно нормируется каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температура, относительная влажность, скорость воздуха в зависимости от способности организма человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности производимой работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Для оценки характера одежды (теплоизоляции) и акклиматизации организма в разное время года введено понятие периода года. Различают теплый и холодный

период года. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше, холодный –ниже $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$

При учете интенсивности труда все виды работ, исходя из общих энергозатрат организма, делятся на три категории: легкие, средней тяжести и тяжелые. Характеристику производственных помещений по категории выполняемых в них работ устанавливают по категории работ, выполняемых 50% и более работающих в соответствующем помещении.

К легким работам (категории I) с затратой энергии до 174 Вт относятся работы, выполняемые сидя или стоя, не требующие систематического физического напряжения (работа контролеров, в процессах точного приборостроения, конторские работы и др.). Легкие работы подразделяют на категорию Ia (затраты энергии до 139 Вт) и категорию Ib (затраты энергии 140...174 Вт). К работам средней тяжести (категория II) относят работы с затратой энергии 175...232 Вт (категория IIa) и 233...290 Вт (категория IIб). В категорию IIa входят работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей, в категорию IIб –работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей (в механосборочных цехах, текстильном производстве, при обработке древесины и др.). К тяжелым работам (категория III) с затратой энергии более 290 Вт относят работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности с постоянным передвижением, с переноской значительных (более 10

кг) тяжестей (в кузнечных, литейных цехах с ручными процессами и др.).

По интенсивности тепловыделений производственные помещения делят на группы в зависимости от удельных избытков явной теплоты. Явной называется теплота, воздействующая на изменение температуры воздуха помещения, а избытком явной теплоты—разность между суммарными поступлениями явной теплоты и суммарными теплопотерями в помещении. Явная теплота, которая образовалась в пределах помещения, но была удалена из него без передачи теплоты воздуху помещения (например, с газами от дымоходов или с воздухом местных отсосов от оборудования), при расчете избытков теплоты не учитывается. Незначительные избытки явной теплоты —это избытки теплоты, не превышающие или равные 23 Вт на 1 м³ внутреннего объема помещения. Помещения со значительными избытками явной теплоты характеризуются избытками теплоты более 23 Вт/м³.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности человека и более, 70 Вт/м²—при облучении 25...50% поверхности и 100 Вт/м²—при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретого металла, стекла,

открытого пламени и др.) не должна превышать 140 Вт/м², при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательно использование средств индивидуальной защиты.

В рабочей зоне производственного помещения согласно ГОСТ 12.1.005–88 могут быть установлены оптимальные и допустимые микроклиматические условия. Оптимальные микроклиматические условия – это такое сочетание параметров микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создает предпосылки для высокой работоспособности. Допустимые микроклиматические условия – это такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать напряжение реакций терморегуляции и которые не выходят за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает нарушений в состоянии здоровья, не наблюдаются дискомфортные теплоощущения, ухудшающие самочувствие и понижение работоспособности. Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры – обычными системами вентиляции и отопления.

1.4. ПРОФИЛАКТИКА НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОКЛИМАТА

Методы снижения неблагоприятного влияния

производственного микроклимата регламентируются «Санитарными правилами по организации технологических процессов и гигиеническими требованиями к производственному оборудованию» и осуществляются комплексом технологических, санитарно-технических, организационных и медико-профилактических мероприятий.

Ведущая роль в профилактике вредного влияния высоких температур, инфракрасного излучения принадлежит технологическим мероприятиям: замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, способствующих оздоровлению неблагоприятных условий труда (например, замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными; применение штамповки вместо поковочных работ; применение индукционного нагрева металлов токами высокой частоты и т.д.) Внедрение автоматизации и механизации дает возможность пребывания рабочих вдали от источника радиационной и конвекционной теплоты.

К группе санитарно-технических мероприятий относится применение коллективных средств защиты: локализация тепловыделений, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование источников либо рабочих мест; воздушное душирование, радиационное охлаждение, мелкодисперсное распыление воды; общеобменная вентиляция или кондиционирование воздуха. Общеобменной вентиляции при этом отводится ограниченная роль – доведение условий труда до допустимых с минимальными эксплуатационными

затратами.

Уменьшению поступления теплоты в цех способствуют мероприятия, обеспечивающие герметичность оборудования. Плотно подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических отверстий с работой оборудования—все это значительно снижает выделение теплоты от открытых источников. Выбор теплозащитных средств в каждом случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. Устанавливаемые в цехе теплозащитные средства должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания, не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 и температуру поверхности оборудования не выше 308 К ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) при температуре внутри источника до 373 К ($100 \text{ }^\circ\text{C}$) и не выше 318 К ($45 \text{ }^\circ\text{C}$) при температурах внутри источника выше 373 К ($100 \text{ }^\circ\text{C}$).

Теплоизоляция поверхностей источников излучения (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и радиационное. Кроме улучшения условий труда тепловая изоляция уменьшает тепловые потери

оборудования, снижает расход топлива (электроэнергии, пара) и приводит к увеличению производительности агрегатов. Следует иметь в виду, что тепловая изоляция, повышая рабочую температуру изолируемых элементов, может резко сократить срок их службы, особенно в тех случаях, когда теплоизолируемые конструкции находятся в температурных условиях, близких к верхнему допустимому пределу для данного материала. В таких случаях решение о тепловой изоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры изолируемых элементов. Если она окажется выше предельно допустимой, защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. Мастичная изоляция осуществляется нанесением мастики (штукатурного раствора с теплоизоляционным наполнителем) на горячую поверхность изолируемого объекта. Эту изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации. Оберточную изоляцию изготавливают из волокнистых материалов—асбестовой ткани, минеральной ваты, войлока и др. Устройство оберточной изоляции проще мастичной, но на объектах сложной конфигурации ее труднее закреплять. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов. Засыпную изоляцию применяют реже, так как необходимо устанавливать кожух вокруг изолируемого объекта. Эту изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах, там, где требуется большая толщина

изоляционного слоя, или при изготовлении теплоизоляционных панелей. Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями, скорлупами применяют для облегчения работ. Смешанная изоляция состоит из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышения долговечности изоляции под кожухом.

При выборе материала для изоляции необходимо принимать во внимание механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. Обычно для этого применяют материалы, коэффициент теплопроводности которых при температурах 50...100 °С меньше 0,2 Вт/ (м·°С). Многие теплоизоляционные материалы берут в их естественном состоянии, например, асбест, слюда, торф, земля, но большинство получают в результате специальной обработки естественных материалов и представляют собой различные смеси.

При высоких температурах изолируемого объекта применяют многослойную изоляцию: сначала ставят материал, выдерживающий высокую температуру (высокотемпературный слой), а затем уже более эффективный материал, с точки зрения теплоизоляционных свойств. Толщину высокотемпературного слоя выбирают с учетом того,

чтобы температура на его поверхности не превышала предельную температуру следующего слоя.

Исходными данными для расчета толщины теплоизоляции являются: температура сред (t' и t'' // °С), разделяемых теплоизоляционной перегородкой; допустимая температура на поверхности изоляции (t_d , °С) и площадь теплоизолируемой поверхности (F , м²). При расчете теплоизоляции следует придерживаться следующего порядка. Сначала устанавливают допустимые тепловые потери объекта при наличии изоляции. Затем выбирают материал изоляции и, задавшись температурой поверхности изоляции, определяют среднюю температуру последней, по которой и находят значение коэффициента теплопроводности лиз. Зная температуру на внутренней и внешней поверхностях изоляции и коэффициент теплопроводности, определяют требуемую толщину изоляции. После этого производят проверочный расчет и находят среднюю температуру изоляционного слоя и температуру на разделе поверхностей.

Тепловые потери (Вт) в условиях стационарного теплового потока в многослойной плоской перегородке

$$Q = \frac{(t' - t'') F}{1/\alpha' + 1/\alpha'' + \sum_{i=1}^m \delta_{лиз} / \lambda_i},$$

температура t_m , в стыке слоев $t-1$ и t

$$t_m = t' - \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha'} + \sum_{i=1}^m \lambda_i / \delta_{лиз} \right);$$

для условий стационарного потока в цилиндрической перегородке длиной l (м) из n слоев

где $\delta_{лиз}$ —толщина i го слоя перегородки, м; α' и α'' — коэффициенты теплоотдачи соответственно от

теплоносителя к стенке и от внешней поверхности изоляции к окружающей среде, Вт/ (м²·С); λ – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/ (м·°С); d_i – диаметр i -го слоя теплоизоляции, м; t – число слоев теплоизоляции.

Определение коэффициентов теплоотдачи связано с рядом трудностей. Для точных расчетов значений α следует применять формулы, приведенные в справочнике по теплопередаче. При ориентировочных расчетах термическим сопротивлением теплоотдачи от горячей жидкости к стенке и самой стенки можно пренебречь. Тогда температуру изолируемой поверхности можно принять равной температуре горячей жидкости, и теплообмен будет определяться только термическим сопротивлением изоляции и теплоотдачей от внешней поверхности изоляции к окружающей среде.

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. По степени прозрачности экраны делят на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

К первому классу относят металлические водоохлаждаемые и футерированные асбестовые, альфалиевые, алюминиевые экраны; ко второму – экраны

из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой; все эти экраны могут орошаться водяной пленкой. Третий класс составляют экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического, бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы.

При воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью $0,35 \text{ кВт/м}^2$ и более, а также $0,175 \dots 0,35 \text{ кВт/м}^2$ при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более $0,2 \text{ м}^2$ применяют воздушное душирование (подачу воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место). Воздушное душирование устраивают также для производственных процессов с выделением вредных газов или паров и при невозможности устройства местных укрытий.

Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом охлаждаемого тела. Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или под углом 45° , а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом 45° .

В потоке воздуха из душирующего патрубка должны быть по возможности обеспечены равномерная

скорость и одинаковая температура. Расстояние от кромки душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м; при фиксированных рабочих местах расчетную ширину рабочей площадки принимают равной 1 м.

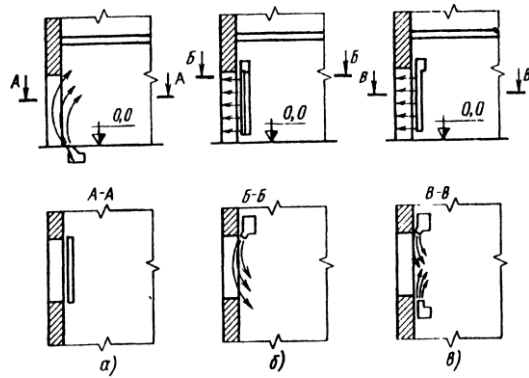


Рис 1.5. Схемы воздушных завес:

а —с нижней подачей воздуха; б•—односторонних;
в —двухсторонних

При душировании по способу ниспадающего потока воздух подают на рабочее место сверху с минимально возможного расстояния струёй большого сечения и с максимальной скоростью. Душирование по способу ниспадающего потока требует меньшего расхода воздуха и меньшей степени его охлаждения по сравнению с обычными воздушными душами, что позволяет в большинстве случаев обходиться испарительным (адиабатическим) охлаждением воздуха рециркуляционной водой. При интенсивности облучения свыше $2,1 \text{ кВт/м}^2$ воздушный душ не может обеспечить необходимого охлаждения. В этом случае надо по возможности уменьшить облучение, предусматривая теплоизоляцию, экранирование или водовоздушное душирование. Это позволяет наряду с усилением конвективного теплообмена увеличить и теплоотдачу организма путем испарения влаги с поверхности тела и одежды. Для периодического охлаждения рабочих устраивают радиационные кабины, комнаты отдыха.

Воздушные завесы предназначены для защиты от

прорыва холодного воздуха в помещение через проемы здания (ворота, двери и т.п.). Воздушная завеса представляет собой воздушную струю, направленную под углом навстречу холодному потоку воздуха. Она выполняет роль воздушного шибера, уменьшая прорыв холодного воздуха через проемы. Согласно СНиП 2.04.05–91 воздушные завесы необходимо устанавливать у проемов отапливаемых помещений, открывающихся не реже, чем один раз в час либо на 40 мин одновременно при температуре наружного воздуха - 15 °С и ниже.

Применяют несколько основных схем воздушных завес. Завесы с нижней подачей (рис.1.5, а) наиболее экономичны по расходу воздуха и рекомендуются в том случае, когда недопустимо понижение температуры вблизи проемов. Для проемов небольшой ширины рекомендуется схема, показанная на рис.1.5. б. Схему с двухсторонним боковым направлением струй (рис.1.5, в) используют в тех случаях, когда возможна остановка транспорта в воротах.

Количество и температуру воздуха для завесы определяют расчетным путем, причем температура нагрева воздуха для воздушных завес водой принимается не более 70 °С, для дверей – не более 50 °С.

Воздушные оазисы предназначены для улучшения метеорологических условий труда (чаще отдыха на ограниченной площади). Для этого разработаны схемы кабин с легкими передвижными перегородками, которые затапливаются воздухом с соответствующими параметрами.

Мероприятия по профилактике неблагоприятного

воздействия холода должны предусматривать предупреждение выхолаживания производственных помещений, использование средств индивидуальной защиты, подбор рационального режима труда и отдыха. Спецодежда должна быть воздухо- и влагонепроницаемой (хлопчатобумажная, льняная, грубошерстное сукно), иметь удобный покрой. Для работы в экстремальных условиях (ликвидация пожаров и др.) применяют специальные костюмы, обладающие повышенной теплосветоотдачей. Для защиты головы от излучения применяют дюралевые, фибровые каски, войлочные шляпы; для защиты глаз – очки темные или с прозрачным слоем металла, маски с откидным экраном.

Важным фактором, способствующим повышению работоспособности рабочих в горячих цехах, является рациональный режим труда и отдыха. Он разрабатывается применительно к конкретным условиям работы. Частые короткие перерывы более эффективны для поддержания работоспособности, чем редкие, но продолжительные. При физических работах средней тяжести на открытом воздухе с температурой до 25 °С внутренний режим предусматривает 10-минутные перерывы после 50...60 мин работы; при температуре наружного воздуха 25...33 °С рекомендуется 15-минутный перерыв после 45 мин работы и разрыв рабочей смены на 4...5 ч на период наиболее жаркого времени.

При кратковременных работах в условиях высоких температур (тушении пожаров, ремонте металлургических печей), где температура достигает

80...100 °С, большое значение имеет тепловая тренировка. Устойчивость к высоким температурам может быть в некоторой степени повышена с использованием фармакологических средств (дибазола, аскорбиновой кислоты, смеси этих веществ и глюкозы), вдыхания кислорода, аэроионизации.

При нефиксированных рабочих местах и работе на открытом воздухе в холодных климатических условиях организуют специальные помещения для обогрева. При неблагоприятных метеорологических условиях— температура воздуха - 10 °С и ниже—обязательны перерывы на обогрев продолжительностью 10...15 мин каждый час. При температуре наружного воздуха - 30... - 45 °С 15-минутные перерывы на отдых организуются каждые 60 мин от начала рабочей смены и после обеда, а затем через каждые 45 мин работы. В помещениях для обогрева необходимо предусматривать возможность питья горячего чая.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Эффективным средством обеспечения надлежащей чистоты и допустимых параметров микроклимата воздуха рабочей зоны является промышленная вентиляция. Вентиляцией называется организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения загрязненного воздуха и подачу на его место свежего.

По способу перемещения воздуха различают системы естественной и механической вентиляции.

Система вентиляции, перемещение воздушных масс в которой осуществляется благодаря возникающей разности давлений снаружи и внутри здания, называется естественной вентиляцией. Разность давлений обусловлена разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха (гравитационное давление, или тепловой напор ΔP_T) и ветровым напором ΔP_V , действующим на здание. Расчетный тепловой напор (Па)

$$\Delta P_T = gh(\rho_n - \rho_v),$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; h – вертикальное расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий, м; ρ_n и ρ_v – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м³.

При действии ветра на поверхностях здания с подветренной стороны образуется избыточное давление, на наветренной стороне – разрежение. Распределение давлений по поверхности зданий и их величина зависят от направления и силы ветра, а также от взаиморасположения зданий. Ветровой напор (Па)

$$\Delta P_V = k_p \frac{w_B^2}{2} \rho_n,$$

где k_p , – коэффициент аэродинамического сопротивления здания; значение k_p не зависит от ветрового потока, определяется эмпирическим путем и для геометрически подобных зданий остается постоянным; W_B – скорость ветрового потока, м/с.

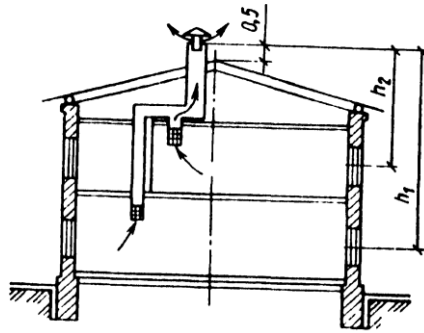


Рис.1.6. Схема естественной канальной вытяжной вентиляции: h_1 –нижний ярус окон; h_2 –верхний ярус окон

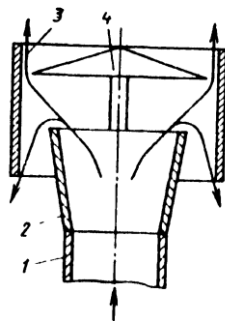


Рис.1.7. Принципиальная схема дефлектора ЦАГИ: 1–патрубок; 2–диффузор; 3–кольцо; 4–зонг.

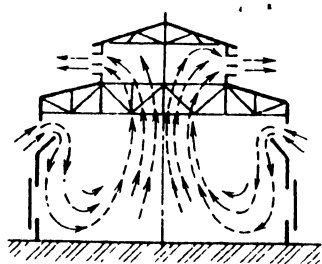
Неорганизованная естественная вентиляция – инфильтрация, или естественное проветривание – осуществляется сменой воздуха в помещениях через неплотности в ограждениях и элементах строительных конструкций благодаря разности давления снаружи и внутри помещения. Такой воздухообмен зависит от случайных факторов–силы и направления ветра, температуры воздуха внутри и снаружи здания, вида ограждений и качества строительных работ. Инфильтрация может быть значительной для жилых зданий и достигать 0,5...0,75 объема помещения в час, а для промышленных предприятий до 1...1.5. ч-1.

Для постоянного воздухообмена, требуемого по

условиям поддержания чистоты воздуха в помещении, необходима организованная вентиляция. Организованная естественная вентиляция может быть вытяжной без организованного притока воздуха (канальная) и приточно-вытяжной с организованным притоком воздуха (канальная и бесканальная аэрация). Канальная естественная вытяжная вентиляция без организованного притока воздуха (рис.1.6) широко применяется в жилых и административных зданиях. Расчетное гравитационное давление таких систем вентиляции определяют при температуре наружного воздуха +5 °С, считая, что все давление падает в тракте вытяжного канала, при этом сопротивление входу воздуха в здание не учитывается. При расчете сети воздуховодов прежде всего производят ориентировочный подбор их сечений исходя из допустимых скоростей движения воздуха в каналах верхнего этажа 0,5...0,8 м/с, в каналах нижнего этажа и сборных каналах верхнего этажа 1,0 м/с и в вытяжной шахте 1...1.5 м/с.

Для увеличения располагаемого давления в системах естественной вентиляции на устье вытяжных шахт устанавливают насадки –дефлекторы (рис.1.7). Усиление тяги происходит благодаря разрежению, возникающему при обтекании дефлектора ЦАГИ. Разрежение, создаваемое дефлектором, и количество удаляемого воздуха зависят от скорости ветра и могут быть определены с помощью номограмм.

Рис.1.8. Схема аэрации промышленного здания



Аэрацией называется организованная естественная общеобменная вентиляция помещений в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон и фонарей. Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг (в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра). Как способ вентиляции аэрация нашла широкое применение в промышленных зданиях, характеризующихся технологическими процессами с большими тепловыделениями (прокатных цехах, литейных, кузнечных). Поступление наружного воздуха в цех в холодный период года организуют так, чтобы холодный воздух не попадал в рабочую зону. Для этого наружный воздух подают в помещение через проемы, расположенные не ниже 4,5 м от пола (рис.1.8), в теплый период года приток наружного воздуха ориентируют через нижний ярус оконных проемов ($A = 1,5...2$ м).

При расчете аэрации определяют требуемую площадь проходного сечения проемов и аэрационных фонарей для подачи и удаления необходимого количества воздуха. Исходными данными являются конструктивные размеры помещений, проемов и фонарей, величины теплопродукции в помещении, параметры наружного воздуха. Согласно СНиП 2.04.05–

91 расчет рекомендуется выполнять на действие гравитационного давления. Ветровой напор надлежит учитывать только при решении вопросов защиты вентиляционных проемов от задувания. При расчете аэрации составляют материальный (по воздуху) и тепловой баланс помещения:

$$\sum_{i=1}^n G_{прі} - \sum_{j=1}^m G_{вытj} = 0,$$

$$\Delta Q_{изб} + \sum_{i=1}^n G_{прі} c_{рi} t_{прі} - \sum_{j=1}^m G_{вытj} c_{рj} t_{вытj} = 0,$$

где $G_{прі}$ и $G_{вытj}$ —масса поступающего и удаляемого воздуха, обладающего теплоемкостью C_p и температурой t .

Основным достоинством аэрации является возможность осуществлять большие воздухообмены без затрат механической энергии. К недостаткам аэрации следует отнести то, что в теплый период года эффективность аэрации может существенно падать вследствие повышения температуры наружного воздуха и, кроме того, поступающий в помещение воздух не очищается и не охлаждается.

Вентиляция, с помощью которой воздух подается в производственные помещения или удаляется из них по системам вентиляционных каналов с использованием для этого специальных механических побудителей, называется механической вентиляцией.

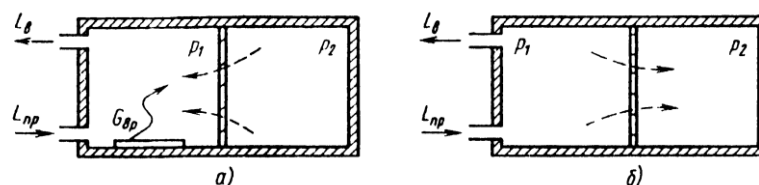


Рис.1.9. Принципиальная схема вентиляции для

выбора соотношения объемов приточного и удаляемого воздуха:

а – $L_B > L_{пр}$, $P_1 < P_2$; б – $L_B < L_{пр}$, $p_1 > p_2$

Механическая вентиляция по сравнению с естественной имеет ряд преимуществ: большой радиус действия вследствие значительного давления, создаваемого вентилятором; возможность изменять или сохранять необходимый воздухообмен независимо от температуры наружного воздуха и скорости ветра; подвергать вводимый в помещение воздух предварительной очистке, осушке или увлажнению, подогреву или охлаждению; организовывать оптимальное воздухораспределение с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам; улавливать вредные выделения непосредственно в местах их образования и предотвращать их распространение по всему объему помещения, а также возможность очищать загрязненный воздух перед выбросом его в атмосферу. К недостаткам механической вентиляции следует отнести значительную стоимость сооружения и эксплуатации ее и необходимость проведения мероприятий по борьбе с шумом.

Системы механической вентиляции подразделяются на общеобменные, местные, смешанные, аварийные и системы кондиционирования.

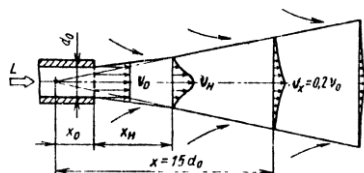


Рис 1.10. Схема истечения воздуха из круглого отверстия

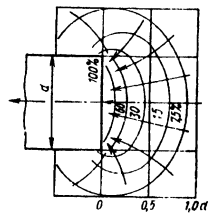


Рис.1.11. Спектры скорости воздуха при всасывании в трубу

Общеобменная вентиляция предназначена для ассимиляции избыточной теплоты, влаги и вредных веществ во всем объеме рабочей зоны помещений. Она применяется в том случае, если вредные выделения поступают непосредственно в воздух помещения, рабочие места не фиксированы, а располагаются по всему помещению. Обычно объем воздуха $L_{пр}$, подаваемого в помещение при общеобменной вентиляции, равен объему воздуха $L_{в}$, удаляемого из помещения. Однако в ряде случаев возникает необходимость нарушить это равенство (рис.1.9). Так, в особо чистых цехах электровакуумного производства, для которых большое значение имеет отсутствие пыли, объем притока воздуха делается больше объема вытяжки, за счет чего создается некоторый избыток давления в производственном помещении, что исключает попадание пыли из соседних помещений. В общем случае разница между объемами приточного и вытяжного воздуха не должна превышать 10...15%.

Существенное влияние на параметры воздушной среды в рабочей зоне оказывают правильная организация и устройство приточных и вытяжных систем.

Воздухообмен, создаваемый в помещении вентиляционными устройствами, сопровождается циркуляцией воздушных масс в несколько раз больших объема подаваемого или удаляемого воздуха. Возникающая циркуляция является основной причиной распространения и перемешивания вредных выделений и создания в помещении разных по концентрации и температуре воздушных зон. Так, приточная струя, входя

в помещение, вовлекает в движение окружающие массы воздуха, в результате чего масса струи в направлении движения будет возрастать, а скорость падать. При истечении из круглого отверстия (рис.1.10) на расстоянии 15 диаметров от устья скорость струи составит 20% от первоначальной скорости V_0 , а объем перемещаемого воздуха увеличится в 4,6 раза.

Скорость затухания движения воздуха зависит от диаметра выпускного отверстия d_0 : чем больше d_0 , тем медленнее затухание. Если нужно быстрее погасить скорость приточных струй, подаваемый воздух должен быть разбит на большое число мелких струй.

Существенное влияние на траекторию струи оказывает температура приточного воздуха: если температура приточной струи выше температуры воздуха помещения, то ось загибается вверх, если ниже, то вниз при изотермическом течении она совпадает с осью приточного отверстия.

К всасывающему отверстию (вытяжная вентиляция) воздух натекает со всех сторон, вследствие чего и падение скорости происходит весьма интенсивно (рис.1.11). Так, скорость всасывания на расстоянии одного диаметра от отверстия круглой трубы равна 5% V_0 .

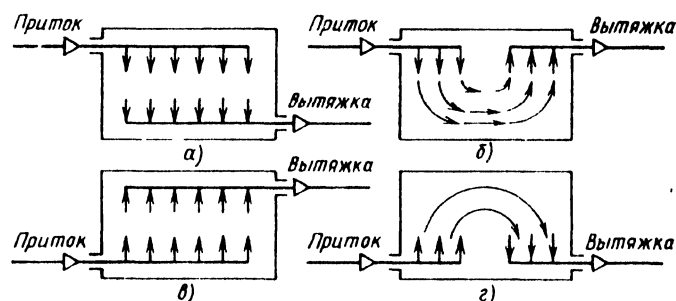


Рис.1.12. Схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции

Циркуляция воздуха в помещении и соответственно концентрация примесей и распределение параметров микроклимата зависит не только от наличия приточных и вытяжных струй, но и от их взаимного расположения. Различают четыре основные схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции: сверху–вверх (рис.1.12, а); сверху –вверх (рис.1.12, б); снизу –вверх (рис.1.12, в); снизу – вниз (рис.1.12, г). Кроме этих схем применяют комбинированные. Наиболее равномерное распределение воздуха достигается в том случае, когда приток равномерен по ширине помещения, а вытяжка сосредоточена.

При организации воздухообмена в помещениях необходимо учитывать и физические свойства вредных паров и газов и в первую очередь их плотность. Если плотность газов ниже плотности воздуха, то удаление загрязненного воздуха происходит в верхней зоне, а подача свежего–непосредственно в рабочую зону. При выделении газов с плотностью большей плотности воздуха из нижней части помещения удаляется 60. .70% и из верхней части 30...40% загрязненного воздуха. В помещениях со значительными выделениями влаги вытяжка влажного воздуха осуществляется в верхней зоне, а подача свежего в количестве 60% –в рабочую зону и 40% –в верхнюю зону.

По способу подачи и удаления воздуха различают

четыре схемы общеобменной вентиляции (рис.1.13): приточная, втяжная, приточно-вытяжная и системы с рециркуляцией. По приточной системе воздух подается в помещение - после подготовки его в приточной камере. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого воздух уходит наружу через окна, двери или в другие помещения. Приточную систему применяют для вентиляции помещений, в которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне.

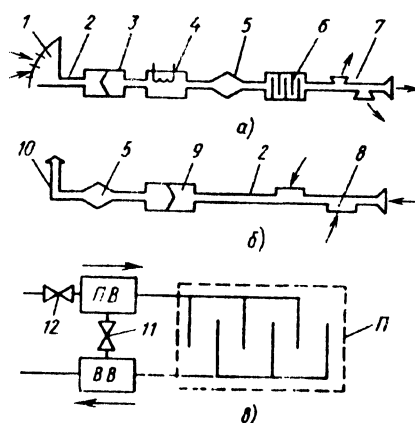
Установки приточной вентиляции (рис.1.13, а) обычно состоят из следующих элементов: воздухозаборного устройства 1 для забора чистого воздуха; воздуховодов 2, по которым воздух подается в помещение, фильтров 3 для очистки воздуха от пыли, калориферов 4, в которых подогревается холодный наружный воздух; побудителя движения 5, увлажнителя-осушителя 6, приточных отверстий или насадков 7, через которые воздух распределяется по помещению. Воздух из помещения удаляется через неплотности ограждающих конструкций.

Вытяжная система предназначена для удаления воздуха из помещения. При этом в нем создается пониженное давление и воздух соседних помещений или наружный воздух поступает в данное помещение. Вытяжную систему целесообразно применять в том случае, если вредные выделения данного помещения не должны распространяться на соседние, например, для вредных цехов, химических и биологических лабораторий.

Установки вытяжной вентиляции (рис.1.13,б) состоят из вытяжных отверстий или насадков 8, через которые воздух удаляется из помещения; побудителя движения 5; воздуховодов 2, устройств для очистки воздуха от пыли или газов 9, устанавливаемых для защиты атмосферы, и устройства для выброса воздуха 10, которое располагается на 1...1.5. м выше конька крыши. Чистый воздух поступает в производственное помещение через неплотности в ограждающих конструкциях, что является недостатком данной системы вентиляции, так как неорганизованный приток холодного воздуха (сквозняки) может вызвать простудные заболевания.

Рис.1.13. Схемы общеобменной вентиляции:

а – приточная вентиляция; б – вытяжная вентиляция; в – приточно-вытяжная вентиляция с рециркуляцией



Приточно-вытяжная вентиляция – наиболее распространенная система, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной; системы работают одновременно.

В отдельных случаях для сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха применяют системы вентиляции с частичной рециркуляцией (рис.1.13, в). В них к поступающему снаружи воздуху подмешивают воздух, отсасываемый из помещения П вытяжной системой. Количество свежего и вторичного воздуха регулируют клапанами 11 и 12. Свежая порция воздуха в таких системах обычно составляет 20...10% общего количества подаваемого воздуха. Систему вентиляции с рециркуляцией разрешается использовать только для тех помещений, в которых отсутствуют выделения вредных веществ или выделяющиеся вещества относятся к 4-му классу опасности и концентрация их в воздухе, подаваемом в помещение, не превышает 30% ПДК. Применение рециркуляции не допускается и в том случае, если в воздухе помещений содержатся болезнетворные бактерии, вирусы или имеются резко выраженные неприятные запахи.

Отдельные установки общеобменной механической вентиляции могут не включать всех указанных выше элементов. Например, приточные системы не всегда оборудуются фильтрами и устройствами для изменения влажности воздуха, а иногда приточные и вытяжные установки могут не иметь сети воздуховодов.

Расчет потребного воздухообмена при общеобменной вентиляции производят исходя из условий производства и наличия избыточной теплоты, влаги и вредных веществ. Для качественной оценки

эффективности воздухообмена применяют понятие кратности воздухообмена k_v – отношение объема воздуха, поступающего в помещение в единицу времени L (м³/ч), к объему вентилируемого помещения V_n (м³). При правильно организованной вентиляции кратность воздухообмена должна быть значительно больше единицы.

При нормальном микроклимате и отсутствии вредных выделений количество воздуха при общеобменной вентиляции принимают в зависимости от объема помещения, приходящегося на одного работающего. Отсутствие вредных выделений – это такое их количество в технологическом оборудовании, при одновременном выделении которых в воздухе помещения концентрация вредных веществ не превысит предельно допустимую. В производственных помещениях с объемом воздуха на каждого работающего $V_{ni} < 20$ м³ расход воздуха на одного работающего L_i должен быть не менее 30 м³/ч. В помещении с $V_{ni} = 20 \dots 40$ м³ $L_i = 20$ м³/ч. В помещениях с $V_{ni} > 40$ м³ и при наличии естественной вентиляции воздухообмен не рассчитывают. В случае отсутствия естественной вентиляции (герметичные кабины) расход воздуха на одного работающего должен составлять не менее 60 м³/ч.

Необходимый воздухообмен для всего производственного помещения в целом

$$L = nL_i,$$

где n – число работающих в данном помещении.

При определении потребного воздухообмена для

борьбы с теплоизбытками составляют баланс явной теплоты помещения:

$$\Delta Q_{\text{изб}} + G_{\text{пр}} c_{\text{р}} t_{\text{пр}} + G_{\text{вср}} t_{\text{ух}} = 0,$$

где $\Delta Q_{\text{изб}}$ —избытки явной теплоты всего помещения, кВт; $G_{\text{пр}} c_{\text{р}} t_{\text{пр}}$ и $G_{\text{вср}} t_{\text{ух}}$ — теплосодержание приточного и удаляемого воздуха, кВт; $c_{\text{р}}$ — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); $t_{\text{пр}}$ и $t_{\text{ух}}$ —температура приточного и уходящего воздуха, °С.

В летнее время вся теплота, которая поступает в помещение, является суммой теплоизбытков. В холодный период года часть тепловыделений в помещении расходуется на компенсацию теплопотерь

$$\Delta Q_{\text{изб}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{т}} - \sum_{j=1}^m Q_{\text{пот}},$$

где $Q_{\text{т}}$ —теповыделения в помещении, кВт; $Q_{\text{пот}}$ —потери теплоты через наружные ограждения, кВт.

Температура наружного воздуха в теплый период года принимается равной средней температуре самого жаркого месяца в 13 ч. Расчетны температуры для теплого и холодного периодов года приведены в СНиП 2.04.05–91. Температура удаляемого из помещения воздуха

$$t_{\text{ух}} = t_{\text{рз}} + a(H-2),$$

где $t_{\text{рз}}$ —температура воздуха в рабочей зоне, °С; a — градиент температуры по высоте помещения, °С/м; для помещений с $q_{\text{я}} < 23$ Вт/м³ можно применять $a = 0,5$ °С/м. Для «горячих» цехов с $q_{\text{я}} > 23$ Вт/м³ — $a = 0,7 \dots 1,5$ °С/м; H — расстояние от пола до центра вытяжных отверстий, м.

Исходя из баланса явной теплоты помещения, определяют необходимый воздухообмен (°С/ч) для ассимиляции теплоизбытков

$$L = \frac{\Delta Q_{\text{изб}}}{c_p \rho_{\text{пр}} (t_{\text{гк}} - t_{\text{пр}})},$$

где $\rho_{\text{пр}}$ – плотность приточного воздуха, кг/м³.

При определении необходимого воздухообмена для борьбы с вредными парами и газами составляют уравнение материального баланса вредных выделений в помещении за время dt (с):

$$G_{\text{вр}} dt + L_{\text{пр}} c_{\text{пр}} dt - L_{\text{в}} c_{\text{в}} dt = V_{\text{п}} dc,$$

где $G_{\text{вр}} dt$ – масса вредных выделений в помещении, обусловленных работой технологического оборудования, мг; $L_{\text{пр}} c_{\text{пр}} dt$ – масса вредных выделений, поступающих в помещение вместе с приточным воздухом, мг; $L_{\text{в}} c_{\text{в}} dt$ – масса вредных выделений, удаляемых из помещения вместе с уходящим воздухом, мг; $V_{\text{п}} dc dt$ – масса вредных паров или газов, накопившихся в помещении за время dt ; $c_{\text{пр}}$ и $c_{\text{в}}$ – концентрация вредных веществ в приточном и удаляемом воздухе, мг/м³.

При равенстве масс приточного и удаляемого воздуха и, принимая, что благодаря вентиляции вредные вещества не накапливаются в производственном помещении, т.е. $dc/dt = 0$ и $c_{\text{в}} = c_{\text{пдк}}$, получим $L = G_{\text{вр}} / (c_{\text{пдк}} - c_{\text{пр}})$. Концентрация вредных веществ в удаляемом воздухе равна концентрации их в воздухе помещения и не должна превышать ПДК. Концентрация вредных веществ в приточном воздухе должна быть по возможности минимальной и не превышать 30% ПДК. Необходимый воздухообмен для удаления избыточной влаги определяют исходя из материального баланса по влаге

$$L = \frac{G_{\text{в}} 10^3}{\rho_{\text{пр}} (d_{\text{yx}} - d_{\text{пр}})},$$

где $G_{\text{в}}$ – масса водяного пара, выделяющегося в помещение, г/с; $\rho_{\text{пр}}$ – плотность воздуха, поступающего в помещение, кг/м³; d_{yx} – допустимое содержание водяного пара в воздухе помещения при нормативной температуре и относительной влажности воздуха, г/кг; $d_{\text{пр}}$ – влагосодержание приточного воздуха, г/кг.

При одновременном выделении в рабочую зону вредных веществ, не обладающих однонаправленным действием на организм человека, например теплоты и влаги, необходимый воздухообмен принимают по наибольшей массе воздуха, полученной в расчетах для каждого вида производственных выделений.

При одновременном выделении в воздух рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (триоксид и диоксид серы; оксид азота совместно с оксидом углерода и др., см. СН 245–71) расчет общеобменной вентиляции надлежит производить путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности до его условных предельно допустимых концентраций [сi], учитывающих загрязнения воздуха другими веществами. Эти концентрации меньше нормативных Спдк и определяются из уравнения $\sum_{i=1}^n$

С помощью местной вентиляции необходимые метеорологические параметры создаются на отдельных рабочих местах. Например, улавливание вредных веществ непосредственно у источника возникновения, вентиляция кабин наблюдения и т.д. Наиболее широкое распространение находит местная вытяжная

локализирующая вентиляция. Основным методом борьбы с вредными выделениями заключается в устройстве и организации отсосов от укрытий.

Конструкции местных отсосов могут быть полностью закрытыми, полуоткрытыми или открытыми (рис.1.14). Наиболее эффективны закрытые отсосы. К ним относятся кожухи, камеры, герметично или плотно укрывающие технологическое оборудование (рис.1.14, а). Если такие укрытия устроить невозможно, то применяют отсосы с частичным укрытием или открытые: вытяжные зонты, отсасывающие панели, вытяжные шкафы, бортовые отсосы и др.

Один из самых простых видов местных отсосов – вытяжной зонт (рис.1.14, ж). Он служит для улавливания вредных веществ, имеющих меньшую плотность, чем окружающий воздух. Зонты устанавливают над ваннами различного назначения, электро - и индукционными печами и над отверстиями для выпуска металла и шлака из вагранок. Зонты делают открытыми со всех сторон и частично открытыми: с одной, двух и трех сторон. Эффективность работы вытяжного зонта зависит от размеров, высоты подвеса и угла его раскрытия. Чем больше размеры и чем ниже установлен зонт над местом выделения веществ, тем он эффективнее. Наиболее равномерное всасывание обеспечивается при угле раскрытия зонта менее 60° .

Отсасывающие панели применяют для удаления вредных выделений, увлекаемых конвективными токами, при таких ручных операциях, как электросварка, пайка, газовая сварка, резка металла и т.п. Вытяжные

шкафы – наиболее эффективное устройство по сравнению с другими отсосами, так как почти полностью укрывают источник выделения вредных веществ. Незакрытыми в шкафах остаются лишь проемы для обслуживания, через которые воздух из помещения поступает в шкаф. Форму проема выбирают в зависимости от характера технологических операций.

Необходимый воздухообмен в устройствах местной вытяжной вентиляции рассчитывают, исходя из условия локализации примесей, выделяющихся из источника образования. Требуемый часовой объем отсасываемого воздуха определяют как произведение площади приемных отверстий отсоса $F(\text{м}^2)$ на скорость воздуха в них. Скорость воздуха в проеме отсоса v (м/с) зависит от класса опасности вещества и типа воздухоприемника местной вентиляции ($v = 0,5 \dots 5$ м/с).

Смешанная система вентиляции является сочетанием элементов местной и общеобменной вентиляции. Местная система удаляет вредные вещества из кожухов и укрытий машин. Однако часть вредных веществ через неплотности укрытий проникает в помещение. Эта часть удаляется общеобменной вентиляцией.

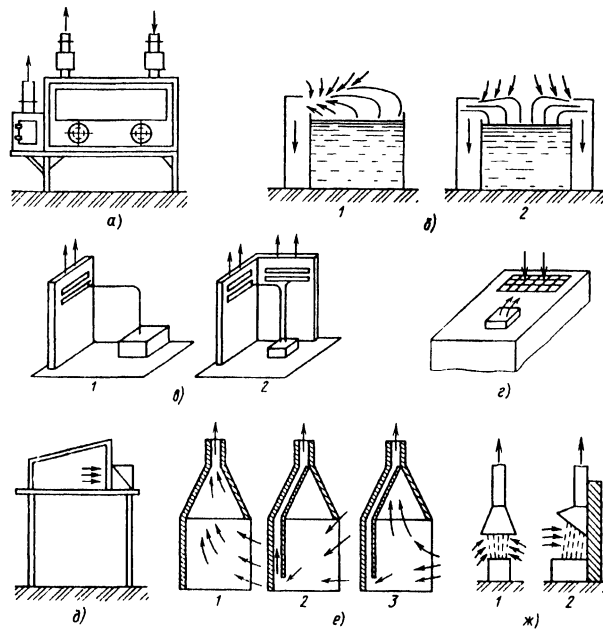


Рис.1.14. Устройства местной вентиляции:

а – укрытие-бокс; б – бортовые отсосы (1–однобортовой; 2 –двухбортовой); в –боковые отсосы (1–односторонний; 2–угловой); г–отсос от рабочих столов; д–отсос витражного типа; е –вытяжные шкафы (1–с верхним отсосом; 2–с нижним отсосом; 3–с комбинированным отсосом); ж–вытяжные зонты (1–прямой; 2–наклонный).

Аварийная вентиляция предусматривается в тех производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздухе большого количества вредных или взрывоопасных веществ. Производительность аварийной вентиляции определяют в соответствии с требованиями нормативных документов в технологической части проекта. Если такие документы отсутствуют, то производительность аварийной вентиляции принимается такой, чтобы она вместе с основной вентиляцией обеспечивала в помещении не менее восьми воздухообменов за 1 ч. Система аварийной

вентиляции должна включаться автоматически при достижении ПДК вредных выделений или при остановке одной из систем общеобменной или местной вентиляции. Выброс воздуха аварийных систем должен осуществляться с учетом возможности максимального рассеивания вредных и взрывоопасных веществ в атмосфере.

Для создания оптимальных метеорологических условий в производственных помещениях применяют наиболее совершенный вид промышленной вентиляции – кондиционирование воздуха. Кондиционированием воздуха называется его автоматическая обработка с целью поддержания в производственных помещениях заранее заданных метеорологических условий независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения. При кондиционировании автоматически регулируется температура воздуха, его относительная влажность и скорость подачи в помещение в зависимости от времени года, наружных метеорологических условий и характера технологического процесса в помещении. Такие строго определенные параметры воздуха создаются в специальных установках, называемых кондиционерами. В ряде случаев помимо обеспечения санитарных норм микроклимата воздуха в кондиционерах производят специальную обработку: ионизацию, дезодорацию, озонирование и т.п.

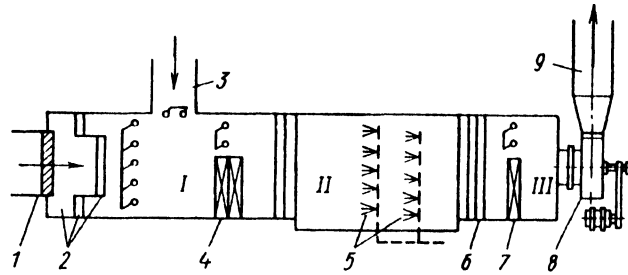


Рис.1.15. Схема кондиционера:

1—заборный воздуховод; 2—фильтр; 3—соединительный воздуховод; 4—калориферы первой и второй ступени подогрева; 5—форсунки воздухоочистки; 6—переходник-каплеуловитель; 7— калориферы второй ступени; 8 – вентилятор; 9 – отводной воздуховод.

Кондиционеры могут быть местными (для обслуживания отдельных помещений) и центральными (для обслуживания нескольких отдельных помещений). Принципиальная схема кондиционера представлена на рис.1.15. Наружный воздух очищается от пыли в фильтре 2 и поступает в камеру I, где он смешивается с воздухом из помещения (при рециркуляции). Пройдя через ступень предварительной температурной обработки 4, воздух поступает в камеру II, где он проходит специальную обработку (промывание воздуха водой, обеспечивающую заданные параметры относительной влажности, и очистку воздуха), и в камеру III (температурная обработка). При температурной обработке зимой воздух подогревается частично за счет температуры воды, поступающей в форсунки 5, и частично, проходя через калориферы 4 и 7. Летом воздух охлаждается частично подачей в камеру II охлажденной (артезианской) воды, и главным образом в итоге работы специальных холодильных машин.

Кондиционирование воздуха играет существенную роль не только с точки зрения безопасности жизнедеятельности, но и во многих технологических процессах, при которых не допускаются колебания температуры и влажности воздуха (особенно в радиоэлектронике). Поэтому установки кондиционирования в последние годы находят все более широкое применение на промышленных предприятиях.

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Основные светотехнические характеристики. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Ощущение зрения происходит под воздействием видимого излучения (света), которое представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны 0,38...0,76 мкм. Чувствительность зрения максимальна к электромагнитному излучению с длиной волны 0,555 мкм (желто-зеленый цвет) и уменьшается к границам видимого спектра.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным показателям относятся:

световой поток Φ – часть лучистого потока,

воспринимаемая человеком как свет; характеризует мощность светового излучения, измеряется в люменах (лм);

сила света J —пространственная плотность светового потока; определяется как отношение светового потока $d\phi$, исходящего от источника и равномерно распространяющегося внутри элементарного телесного угла $d\Omega$, к величине этого угла; $J = d\phi/d\Omega$; измеряется в канделах (кд);

освещенность E —поверхностная плотность светового потока; определяется как отношение светового потока $d\phi$, равномерно падающего на освещаемую поверхность dS (m^2), к ее площади: $E = d\phi/dS$, измеряется в люксах (лк);

яркость L поверхности под углом α к нормали —это отношение силы света dJ_α , излучаемой, освещаемой или светящейся поверхностью в этом направлении, к площади dS проекции этой поверхности, на плоскость, перпендикулярную к этому направлению: $L = d\phi/(dS \cos \alpha)$, измеряется в $кд \cdot м^{-2}$.

Для качественной оценки условий зрительной работы используют такие показатели как фон, контраст объекта с фоном, коэффициент пульсации освещенности, показатель освещенности, спектральный состав света.

Фон — это поверхность, на которой происходит различение объекта. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее световой поток. Эта способность (коэффициент отражения ρ) определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока $\Phi_{отр}$ к падающему на нее

световому потоку $\Phi_{\text{пад}}$; $\rho = \Phi_{\text{от}}/\Phi_{\text{пад}}$. В зависимости от цвета и фактуры поверхности значения коэффициента отражения находятся в пределах 0,02...0,95; при $\rho > 0,4$ фон считается светлым; при $\rho = 0,2...0,4$ – средним и при $\rho < 0,2$ – темным.

Контраст объекта с фоном k – степень различения объекта и фона – характеризуется соотношением яркостей рассматриваемого объекта (точки, линии, знаки, пятна, трещины, риски или других элементов) и фона; $k = (L_{\text{ор}} - L_{\text{о}}) / L_{\text{ор}}$ считается большим, если $k > 0,5$ (объект резко выделяется на фоне), средним при $k = 0,2...0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости) и малым при $k < 0,2$ (объект слабо заметен на фоне).

Коэффициент пульсации освещенности k_E – это критерий глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока

$$k_E = 100(E_{\text{max}} - E_{\text{min}}) / (2E_{\text{ср}});$$

где E_{max} , E_{min} , $E_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебаний; для газоразрядных ламп $k_E = 25...65\%$, для обычных ламп накаливания $k_E \approx 7\%$, для галогенных ламп накаливания $k_E = 1\%$.

Показатель ослепленности P_o – критерий оценки слепящего действия, создаваемого осветительной установкой,

$$P_o = 1000(V_1/V_2 - 1),$$

где V_1 и V_2 – видимость объекта различения соответственно при экранировании и наличии ярких источников света в поле зрения.

Экранирование источников света осуществляется с помощью щитков, козырьков и т.п.

Видимость V характеризует способность глаза воспринимать объект. Она зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном, длительности экспозиции. Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном, т.е. $V=k/k_{пор}$, где $k_{пор}$ –пороговый или наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличим на этом фоне.

Системы и виды производственного освещения. При освещении производственных помещений используют естественное освещение, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода и меняющемся в зависимости от географической широты, времени года и суток, степени облачности и прозрачности атмосферы; искусственное освещение, создаваемое электрическими источниками света, и совмещенное освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным.

Конструктивно естественное освещение подразделяют на боковое (одно - и двухстороннее), осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; верхнее –через аэрационные и зенитные фонари, проемы в кровле и перекрытиях; комбинированное – сочетание верхнего и бокового освещения.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению может быть двух видов – общее и

комбинированное. Систему общего освещения применяют в помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (литейные, сварочные, гальванические цехи), а также в административных, конторских и складских помещениях. Различают общее равномерное освещение (световой поток распределяется равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест) и общее локализованное освещение (с учетом расположения рабочих мест).

При выполнении точных зрительных работ (например, слесарных, токарных, контрольных) в местах, где оборудование создает глубокие, резкие тени или рабочие поверхности расположены вертикально (штампы, гильотинные ножницы), наряду с общим освещением применяют местное. Совокупность местного и общего освещения называют комбинированным освещением. Применение одного местного освещения внутри производственных помещений не допускается, поскольку образуются резкие тени, зрение быстро утомляется и создается опасность производственного травматизма.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на рабочее, аварийное и специальное, которое может быть охранным, дежурным, эвакуационным, эритемным, бактерицидным и др.

Рабочее освещение предназначено для обеспечения нормального выполнения производственного процесса, прохода людей, движения транспорта и является обязательным для всех производственных помещений.

Аварийное освещение устраивают для продолжения работы в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при авариях) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, нарушение технологического процесса и т.д. Минимальная освещенность рабочих поверхностей при аварийном освещении должна составлять 5% нормируемой освещенности рабочего освещения, но не менее 2 лк.

Эвакуационное освещение предназначено для обеспечения эвакуации людей из производственного помещения при авариях и отключении рабочего освещения; организуется в местах, опасных для прохода людей: на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работают более 50 чел. Минимальная освещенность на полу основных проходов и на ступеньках при эвакуационном освещении должна быть не менее 0,5 лк, на открытых территориях – не менее 0,2 лк.

Охранное освещение устраивают вдоль границ территорий, охраняемых специальным персоналом. Наименьшая освещенность в ночное время 0,5 лк.

Сигнальное освещение применяют для фиксации границ опасных зон; оно указывает на наличие опасности, либо на безопасный путь эвакуации.

Условно к производственному освещению относят бактерицидное и эритемное облучение помещений. Бактерицидное облучение («освещение») создается для обеззараживания воздуха, питьевой воды, продуктов

питания. Наибольшей бактерицидной способностью обладают ультрафиолетовые лучи с $\lambda = 0,254 \dots 0,257$ мкм. Эритемное облучение создается в производственных помещениях, где недостаточно солнечного света (северные районы, подземные сооружения). Максимальное эритемное воздействие оказывают электромагнитные лучи с $\lambda = 0,297$ мкм. Они стимулируют обмен веществ, кровообращение, дыхание и другие функции организма человека.

Основные требования к производственному освещению. Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочей поверхности улучшает видимость объектов за счет повышения их яркости, увеличивает скорость различения деталей, что сказывается на росте производительности труда. Так, при выполнении отдельных операций на главном конвейере сборки автомобилей при повышении освещенности с 30 до 75 лк производительность труда повысилась на 8%. При дальнейшем повышении до 100 лк – на 28% (по данным проф. АЛ. Тарханова). Дальнейшее повышение освещенности не дает роста производительности.

При организации производственного освещения необходимо обеспечить равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающих предметах. Перевод взгляда с ярко освещенной на слабо освещенную поверхность вынуждает глаз переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения и

соответственно к снижению производительности труда. Для повышения равномерности естественного освещения больших цехов осуществляется комбинированное освещение. Светлая окраска потолка, стен и оборудования способствует равномерному распределению яркостей в поле зрения работающего.

Производственное освещение должно обеспечивать отсутствие в поле зрения работающего резких теней. Наличие резких теней искажает размеры и формы объектов различения и тем самым повышает утомляемость, снижает производительность труда. Особенно вредны движущиеся тени, которые могут привести к травмам. Тени необходимо смягчать, применяя, например, светильники со светорассеивающими молочными стеклами, при естественном освещении, используя солнцезащитные устройства (жалюзи, козырьки и др.).

Для улучшения видимости объектов в поле зрения работающего должна отсутствовать прямая и отраженная блескость. Блескость – это повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т.е. ухудшение видимости объектов. Блескость ограничивают уменьшением яркости источника света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты подвеса светильников, правильном направлении светового потока на рабочую поверхность, а также изменением угла наклона рабочей поверхности. Там, где это возможно, блестящие поверхности следует заменять матовыми.

Колебания освещенности на рабочем месте, вызванные, например, резким изменением напряжения в сети, обуславливают переадаптацию глаза, приводя к значительному утомлению. Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией плавающего напряжения, жестким креплением светильников, применением специальных схем включения газоразрядных ламп.

При организации производственного освещения следует выбирать необходимый спектральный состав светового потока. Это требование особенно существенно для обеспечения правильной цветопередачи, а в отдельных случаях для усиления цветовых контрастов. Оптимальный спектральный состав обеспечивает естественное освещение. Для создания правильной цветопередачи применяют монохроматический свет, усиливающий одни цвета и ослабляющий другие.

Осветительные установки должны быть удобны и просты в эксплуатации, долговечны, отвечать требованиям эстетики, электробезопасности, а также не должны быть причиной возникновения взрыва или пожара. Обеспечение указанных требований достигается применением защитного зануления или заземления, ограничением напряжения питания переносных и местных светильников, защитой элементов осветительных сетей от механических повреждений и т.п.

Нормирование производственного освещения. Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется нормами СНиП 23-05-95 в

зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном. Характеристика зрительной работы определяется наименьшим размером объекта различения (например, при работе с приборами – толщиной линии градуировки шкалы, при чертежных работах – толщиной самой тонкой линии). В зависимости от размера объекта различения все виды работ, связанные со зрительным напряжением, делятся на восемь разрядов, которые в свою очередь в зависимости от фона и контраста объекта с фоном делятся на четыре подразряда.

Искусственное освещение нормируется количественными (минимальной освещенностью E_{min}) и качественными показателями (показателями ослепленности и дискомфорта, коэффициентом пульсации освещенности k_E). Принято раздельное нормирование искусственного освещения в зависимости от применяемых источников света и системы освещения. Нормативное значение освещенности для газоразрядных ламп при прочих равных условиях из-за их большей светоотдачи выше, чем для ламп накаливания. При комбинированном освещении доля общего освещения должна быть не менее 10% нормируемой освещенности. Эта величина должна быть не менее 150 лк для газоразрядных ламп и 50 лк для ламп накаливания.

Для ограничения слепящего действия светильников общего освещения в производственных помещениях показатель ослепленности не должен превышать 20...80 единиц в зависимости от продолжительности и разряда зрительной работы. При

освещении производственных помещений газоразрядными лампами, питаемыми переменным током промышленной частоты 50 Гц, глубина пульсаций не должна превышать 10... 20% в зависимости от характера выполняемой работы.

При определении нормы освещенности следует учитывать также ряд условий, вызывающих необходимость повышения уровня освещенности, выбранного по характеристике зрительной работы. Увеличение освещенности следует предусматривать, например, при повышенной опасности травматизма или при выполнении напряженной зрительной работы I... IV разрядов в течение всего рабочего дня. В некоторых случаях следует снижать норму освещенности, например, при кратковременном пребывании людей в помещении.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в зависимости от времени суток, года, метеорологических условий. Поэтому в качестве критерия оценки естественного освещения принята относительная величина – коэффициент естественной освещенности КЕО, не зависящий от вышеуказанных параметров. КЕО – это отношение освещенности в данной точке внутри помещения $E_{вн}$ к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_{н}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах, т.е. $КЕО = 100E_{вн}/E_{н}$.

Принято раздельное нормирование КЕО для бокового и верхнего естественного освещения. При

боковом освещении нормируют минимальное значение КЕО в пределах рабочей зоны, которое должно быть обеспечено в точках, наиболее удаленных от окна; в помещениях с верхним и комбинированным освещением – по усредненному КЕО в пределах рабочей зоны. Нормированное значение КЕО с учетом характеристики зрительной работы, системы освещения, района расположения зданий на территории страны

$$e_n = KEO_{mc},$$

где КЕО – коэффициент естественной освещенности; определяется по СНиП 23-05-95; т – коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района расположения здания на территории страны; с – коэффициент солнечности климата, определяемый в зависимости от ориентации здания относительно сторон света; коэффициенты т и с определяют по таблицам СНиП 23-05-95.

Совмещенное освещение допускается для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы I и II разрядов; для производственных помещений, строящихся в северной климатической зоне страны; для помещений, в которых по условиям технологии требуется выдерживать стабильными параметры воздушной среды (участки прецизионных металлообрабатывающих станков, электропрецизионного оборудования). При этом общее искусственное освещение помещений должно обеспечиваться газоразрядными лампами, а нормы освещенности повышаются на одну ступень.

Источники света и осветительные приборы.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Лампы накаливания относятся к источникам света теплового излучения. Видимое излучение в них получается в результате нагрева электрическим током вольфрамовой нити. В газоразрядных лампах излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов, а также за счет явлений люминесценции, которое невидимое ультрафиолетовое излучение преобразует в видимый свет.

При выборе и сравнении источников света друг с другом пользуются следующими параметрами: номинальное напряжение питания U (В), электрическая мощность лампы P (Вт); световой поток, излучаемый лампой Φ (лм), или максимальная сила света J (кд); световая отдача $\psi = \Phi/P$ (лм/Вт), т.е. отношение светового потока лампы к ее электрической мощности; срок службы лампы и спектральный состав света.

Благодаря удобству в эксплуатации, простоте в изготовлении, низкой инерционности при включении, отсутствию дополнительных пусковых устройств, надежности работы при колебаниях напряжения и при различных метеорологических условиях окружающей среды лампы накаливания находят широкое применение в промышленности. Наряду с отмеченными преимуществами лампы накаливания имеют и существенные недостатки: низкая световая отдача (для ламп общего назначения $\psi = 7...20$ лм/Вт), сравнительно

малый срок службы (до 2,5 тыс. ч), в спектре преобладают желтые и красные лучи, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света.

В последние годы все большее распространение получают галогеновые лампы – лампы накаливания с йодным циклом. Наличие в колбе паров йода позволяет повысить температуру накала нити, т.е. световую отдачу лампы (до 40 лм/Вт). Пары вольфрама, испаряющиеся с нити накаливания, соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя распылению вольфрамовой нити и увеличивая срок службы лампы до 3 тыс. ч. Спектр излучения галогеновой лампы более близок к естественному.

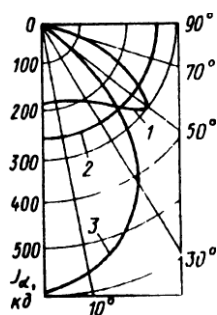
Основным преимуществом газоразрядных ламп перед лампами накаливания является большая световая отдача 40...110 лм/Вт. Они имеют значительно больший срок службы, который у некоторых типов ламп достигает 8...12 тыс. ч. От газоразрядных ламп можно получить световой поток любого желаемого спектра, подбирая соответствующим образом инертные газы, пары металлов, люминоформ. По спектральному составу видимого света различают лампы дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛЛД), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛТБ) и белого цвета (ЛБ).

Основным недостатком газоразрядных ламп является пульсация светового потока, что может привести к появлению стробоскопического эффекта, заключающегося в искажении зрительного восприятия. При кратности или совпадении частоты пульсации

источника света и обрабатываемых изделий вместо одного предмета видны изображения нескольких, искажается направление и скорость движения, что делает невозможным выполнение производственных операций и ведет к увеличению опасности травматизма. К недостаткам газоразрядных ламп следует отнести также длительный период разгорания, необходимость применения специальных пусковых приспособлений, облегчающих зажигание ламп; зависимость работоспособности от температуры окружающей среды. Газоразрядные лампы могут создавать радиопомехи, исключение которых требует специальных устройств.

Рис.1.16. Кривые распределения силы света в пространстве:

1 – широкая; 2 – равномерная; 3 – глубокая.

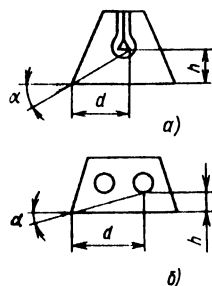


При выборе источников света для производственных помещений необходимо руководствоваться общими рекомендациями: отдавать предпочтение газоразрядным лампам как энергетически более экономичным и обладающим большим сроком службы; для уменьшения первоначальных затрат на осветительные установки и расходов на их эксплуатацию необходимо по возможности использовать лампы

наибольшей мощности, но без ухудшения при этом качества освещения.

Создание в производственных помещениях качественного и эффективного освещения невозможно без рациональных светильников. Электрический светильник – это совокупность источника света и осветительной арматуры, предназначенной для перераспределения излучаемого источником светового потока в требуемом направлении, предохранения глаз рабочего от слепящего действия ярких элементов источника света, защиты источника от механических повреждений, воздействия окружающей среды и эстетического оформления помещения.

Для характеристики светильника с точки зрения распределения светового потока в пространстве строят график силы света в полярной системе координат (рис.1.16). Степень предохранения глаз работников от слепящего действия источника света определяют защитным углом светильника. Защитный угол – это угол между горизонталью и линией, соединяющей нить канала (поверхность лампы) с противоположным краем отражателя (рис.1.17). Важной характеристикой светильника является его коэффициент полезного действия – отношение фактического светового потока светильника Φ_f к световому потоку помещенной в него лампы Φ_p , т.е. $\eta_{св} == \Phi_f/\Phi_p$.



Р и с.1.17. Защитный угол светильника: а – с лампой накаливания;

б – с люминесцентными лампами.

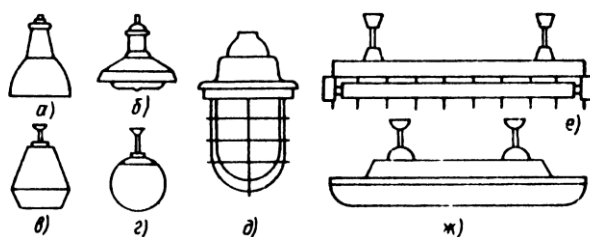


Рис.1.18. Основные типы светильников: а – «Универсаль»; б – «Глубокоизлучатель»; в – «Люцета»; г – «Молочный шарик»; д – взрывобезопасный типа ВЗГ; е – типа ОД; ж – типа ПВЛП.

По распределению светового потока в пространстве различают светильники прямого, преимущественно прямого, рассеянного, отраженного и преимущественно отраженного света. Конструкция светильника должна надежно защищать источник света от пыли, воды и других внешних факторов, обеспечивать электро-, пожаро - и взрывобезопасность, стабильность светотехнических характеристик в данных условиях среды, удобство монтажа и обслуживания, соответствовать эстетическим требованиям. В зависимости от конструктивного исполнения различают светильники открытые, защищенные, закрытые,

пылепроницаемые, влагозащитные, взрывозащищенные, взрывобезопасные. На рис.1.18 приведены некоторые наиболее распространенные типы светильников (а–д – для ламп накаливания, е–ж – для газоразрядных ламп).

Расчет производственного освещения. Основной задачей светотехнических расчетов является: для естественного освещения определение необходимой площади световых проемов; для искусственного – требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещенности.

При естественном боковом освещении требуемая площадь световых проемов (м²)

$$S_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{п}} \cdot \varepsilon_{\text{ок}} \cdot k_{\text{зд}} \cdot k_{\text{з}}}{100 \cdot \rho_{\text{тобщ}}}$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пола помещений, м²; $\varepsilon_{\text{ок}}$ – коэффициент световой активности оконного проема; $k_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями; $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса; определяется с учетом запыленности помещения, расположения стекол (наклонно, горизонтально, вертикально) и периодичности очистки; ρ – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света; определяется с учетом геометрических размеров помещения, светопроема и значений коэффициентов отражения стен, потолка, пола; $\rho_{\text{тобщ}}$ – общий коэффициент светопропускания; определяется в зависимости от коэффициента светопропускания стекол, потерь света в переплетах окон, слоя его загрязнения, наличия несущих и солнцезащитных конструкций перед окнами.

При выбранных светопроемах действительные

значения коэффициента естественного освещения для различных точек помещения рассчитывают с использованием графоаналитического метода Данилюка по СНиП 23-05–95.

При проектировании искусственного освещения необходимо выбрать тип источника света, систему освещения, вид светильника; наметить целесообразную высоту установки светильников и размещения их в помещении; определить число светильников и мощность ламп, необходимых для создания нормируемой освещенности на рабочем месте, и в заключение проверить намеченный вариант освещения на соответствие его нормативным требованиям.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока. Световой поток (лм) одной лампы или группы люминисцентных ламп одного светильника

$$\Phi_k = E_n S z k / (\eta N),$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23-05–95, лк; S – площадь освещаемого помещения, м²; z – коэффициент неравномерности освещения, обычно $z = 1,1-1,2$; k , – коэффициент запаса, зависящий от вида технологического процесса и типа применяемых источников света, обычно $k_z = 1,3 - 1,8$; N – число светильников в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока, давший название методу расчета, определяют по СНиП 23-05–95 в зависимости от типа светильника,

отражательной способности стен и потолка, размеров помещения, определяемых индексом помещения

$$i = AB / [H(A+B)],$$

где A , B – длина и ширина помещения в плане, м;
 H – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

По полученному в результате расчета световому потоку по ГОСТ 2239–79* и ГОСТ 6825–91 выбирают ближайшую стандартную лампу и определяют необходимую электрическую мощность. При выборе лампы допускается отклонение светового потока от расчетного в пределах 10... 20%.

Для поверочного расчета местного освещения, а также для расчета освещенности конкретной точки наклонной поверхности при общем локализованном освещении применяют точечный метод. В основу точечного метода положено уравнение

$$E_A = J_a \cos \alpha / r^2,$$

где E_A – освещенность горизонтальной поверхности в расчетной точке A , лк; J_a – сила света в направлении от источника к расчетной точке A ; определяется по кривой распределения светового потока выбираемого светильника и источника света; α – угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и направлением вектора силы света в точку A ; r – расстояние от светильника до точки A , м.

Учитывая, что $r = H / \cos \alpha$ и вводя коэффициент запаса k_3 получим $E_l = J_a \cos^3 \alpha / (H k_3)$. Критерием правильности расчета служит неравенство $E_l \geq E_n$.

Цветовое оформление производственного

интерьера. Рациональное цветовое оформление производственного интерьера –действенный фактор улучшения условий труда и жизнедеятельности человека. Установлено, что цвета могут воздействовать на человека по-разному: одни цвета успокаивают, а другие раздражают. Например, красный цвет – возбуждающий, горячий, вызывает у человека условный рефлекс, направленный на самозащиту. Оранжевый воспринимается людьми так же как горячий, он согревает, бодрит, стимулирует к активной деятельности. Желтый–теплый, веселый, располагает к хорошему настроению. Зеленый –цвет покоя и свежести, успокаивающе действует на нервную систему, а в сочетании с желтым благотворно влияет на настроение. Синий и голубой цвета свежи и прозрачны, кажутся легкими, воздушными. Под их воздействием уменьшается физическое напряжение, они могут регулировать ритм дыхания, успокаивать пульс. Черный цвет – мрачный и тяжелый, резко снижает настроение. Белый цвет–холодный, однообразный, способный вызывать апатию.

Разностороннее эмоциональное воздействие цвета на человека позволяет широко использовать его в гигиенических целях. Поэтому при оформлении интерьера производственного помещения цвет используют как композиционное средство, обеспечивающее гармоническое единство помещения и технологического оборудования, как фактор, создающий оптимальные условия зрительной работы и способствующий повышению работоспособности; как

средство информации, ориентации и сигнализации для обеспечения безопасности труда.

Поддержание рациональной цветовой гаммы в производственных помещениях достигается правильным выбором осветительных установок, обеспечивающих необходимый световой спектр. В процессе эксплуатации осветительных установок необходимо предусматривать регулярную очистку от загрязнений светильников и остекленных проемов, своевременную замену отработавшей свой срок службы лампы, контроль напряжений питания осветительной сети, регулярную и рациональную окраску стен, потолка, оборудования.

Сроки очистки светильников и остекления зависят от степени запыленности помещения: для помещений с незначительными выделениями пыли – 2 раза в год; со значительным выделением пыли – 4...12 раз в год. Для удобства и безопасности очистки осветительных установок применяют передвижные тележки, телескопические лестницы, подвесные люльки. При высоте подвеса светильников до 5 м допускается обслуживание их с приставных лестниц и стремянок. Очищать светильники следует при отключенном питании.

Шум, его воздействие на человека и методы защиты

Шум, его воздействие, нормирование *Физические характеристики шума*

В документах Международной организации труда (МОТ) под шумом понимают любой звук, который может вызвать потерю слуха или быть вредным для здоровья или опасным в другом отношении (Конвенция № 148). Определенное таким способом понятие «шум» включает в себя звуковые колебания (от 20 до 20 000 Гц) и колебания на инфразвуковых (ниже 20 Гц) и ультразвуковых (выше 21 000 Гц) частотах. Под звуком понимают периодические и не периодические колебания давления воздуха. Однако не только в воздухе, но и во всех газах и жидкостях и твердых телах могут возникать подобные колебания, которые

воспринимаются как звук. В газовой и жидких средах звук представляет собой продольные колебания, при которых частицы среды движутся в направлении распространения звуковой волны. Относительные смещения частиц среды в звуковой волне создают небольшие изменения давления и плотности, которые называют волнами сжатия и разрежения. В твердых телах существуют поперечные или сдвиговые волны, в которых частицы движутся в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны. При этих колебаниях происходит распространение напряжений сдвига, а давление и плотность среды не изменяются. Однако поскольку человеческое ухо реагирует не только на изменение давления, а также и на смещения частиц среды, то сдвиговые или поперечные колебания можно рассматривать как особый случай звуковых колебаний. В настоящее время звуком называют любые механические колебания твердой, жидкой или газовой среды, в которой звуковые волны передают энергию возмущения от источника, в диапазоне частот, воспринимаемом человеческим ухом, от 16 Гц до 20 кГц. Колебания ниже 16 Гц называют инфразвуком, выше 20 кГц — ультразвуком. В газообразной среде изменение давления и плотности в звуковой волне малы, поэтому скорость звука будет равна

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho}}, \quad (4.1)$$

где P_0 — статическое давление;
 ρ — плотность среды; γ —
 коэффициент адиабаты,

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}, \text{ где } C_p \text{ и } C_v \text{ — теплоемкость}$$

среды при постоянном давлении и при постоянном объеме. В жидких и твердых средах скорость звука определяется плотностью среды ρ и модулем упругости E (модуль Юнга) для соответствующего вида деформации:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (4.2)$$

Для примера: скорость распространения звука в воздухе при комнатной температуре приблизительно равна 340 м/с, в воде — 1433 м/с, а в стали — 5029 м/с. При других температурах скорость звука в воздухе может быть определена по формуле

$$c = 20,05 \sqrt{t + 273}, \quad (4.3)$$

где t — температура воздуха, °С.

В случае источника гармонических (синусоидальных) колебаний с частотой f , Гц, скорость звука равна

$$c = \lambda f, \quad (4.4)$$

где λ — длина звуковой волны, м. Из выражения (4.4) легко установить связь между частотой, длиной волны и скоростью звука:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (4.5)$$

Например, на частоте 1000 Гц длина волны в воздухе при комнатной температуре — 0,3 м, на частоте 250 Гц — около 1,2 м, на частоте 4000 Гц — 0,07 м, т. е. с увеличением частоты длина звуковой волны уменьшается и наоборот.

Характеристиками звуковых волн при их распространении являются звуковой луч и фронт волны. Направление распространения звуковых волн называют лучом, а поверхность, соединяющую все смежные точки поля с одинаковой фазой колебаний среды, — фронтом волны. В общем случае фронт волны имеет сложную форму, но в практических случаях ограничиваются рассмотрением трех видов фронта волны: плоский, сферический и цилиндрический.

Линейные и энергетические характеристики звуковых волн.

Звуковым давлением P в газах и жидкостях называют разность между мгновенным значением $P_{ам}$ в точке среды при прохождении через нее звуковой волны и статическим давлением $P_{ст}$ в той же точке, т. е. $P = P_{ам} - P_{ст}$. Звуковое давление величина знакопеременная: в момент сгущения (уплотнения) частиц среды она положительная, в момент разрежения (расширения) среды — отрицательная. Эту величину оценивают по амплитуде или по эффективному значению. Для синусоидальных колебаний эффективное значение составляет $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ от амплитудного.

V2

Звуковое давление представляет силу, действующую на единицу S поверхности: $P = \frac{F}{S}$. В системе СИ его измеряют в ньютонах на

квадратный метр (Н/м²). Эта единица называется паскалем и обозначается «Па»: 1 Па = 1 Н/м².

Скоростью колебаний называют скорость движения частиц среды u под действием проходящей звуковой волны: $u = \frac{du}{dt}$, где u —

смещение частиц среды; t — время. При движении частиц среды в направлении распространения волны скорость колебаний считается положительной, а в обратном направлении — отрицательной. Эту скорость нельзя путать со скоростью звука, величина которой постоянна для данной среды и условий распространения волны. Скорость колебаний измеряется в метрах в секунду (м/с).

Удельным акустическим сопротивлением называют отношение звукового давления P к скорости колебаний v :

$$Z = \frac{P}{v} \quad (4.6)$$

В общем случае удельное акустическое сопротивление является комплексной величиной:

$$Z_a = R_a + jY_a \quad (4.7)$$

R_a и Y_a — активная и реактивная составляющие удельного акустического сопротивления;

j — мнимая единица $\sqrt{-1}$.

где

Сдвиг фаз φ между звуковым давлением и скоростью колебаний частиц среды может быть определен из формулы

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_a}{Y_a} \quad (4.8)$$

В свободном пространстве в отсутствие препятствий распространяется бегущая волна. В этом случае удельное акустическое со-

противление среды будет равно

$$\frac{P}{v} = \rho c. \quad (4.9)$$

Распространение звука связано с переносом энергии. Средний поток звуковой энергии, проходящий в единицу времени через единицу поверхности, называется интенсивностью звука (Вт ■ с/м²):

$$I = \frac{P^2}{Z_a}. \quad (4.10)$$

Для бегущей волны:

$$I = \frac{P^2}{\rho c}. \quad (4.11)$$

При оценке звуковых полей в замкнутых объемах используют плотность звуковой энергии E (Дж/м²):

$$E = \frac{I}{c}. \quad (4.12)$$

Общее количество звуковой энергии, излучаемой источником в единицу времени, называется звуковой мощностью W (Вт):

$$W = IS, \quad (4.13)$$

где S — площадь рассматриваемого участка.

Уровень звука. На основании опытных данных установлено, что в среднем у человека предел чувствительности (порог слышимости) равен приблизительно 0,00002 Па (на частоте 1 кГц). Звуковое давление 20 Па считается болевым порогом, т. е. возможно повреждение органов слуха. Для сравнения: нормальное статическое атмосферное давление равно 100 кПа. Таким образом, можно представить следующую шкалу:

- атмосферное давление — около 1 бара = 100 кПа;
- болевой порог — около 200 мкбар = 20 Па;
- порог слышимости — около 0,0002 мкбара = 0,00002 Па.

Наиболее удобным видом представления подобных величин является логарифмический масштаб. При этом целесообразно принять масштаб, у которого отсчет начинается с нуля и соответствует порогу слышимости. Поэтому была введена единица — децибелл (дБ). Она является функцией отношения интенсивности I к интенсивности на пороге слышимости I_0 . Уровень интенсивности звука, дБ, равен

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (4.14)$$

где $I_0 = 10^{-12}$ Вт · с/м². Отсюда при $I = I_0$, $10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \lg 1 = 0$ дБ.

Таким образом, уровень интенсивности звука 0 дБ соответствует порогу слышимости. Для определения интенсивности звука производится измерение звукового давления. Но поскольку интенсивность пропорциональна квадрату звукового давления, то уровень шума может быть выражен

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (4.15)$$

где $P_0 = 0,00002$ Па — нулевой порог. Если по этому выражению вычислить болевой порог, который равен 20 Па, то получится 120 дБ.

Частотный спектр. Зависимость звукового давления или звуковой мощности как физических величин от времени можно представить в виде суммы конечного или бесконечного числа простых синусоидальных колебаний, т. е. в виде частотного спектра. Для оценки спектра шума шкала частот делится на части и в каждой из них определяется уровень звукового давления или звуковой мощности. Каждая такая часть шкалы называется частотной полосой.

Международная организация по стандартизации (ISO) в своем документе К 266 рекомендует следующие центральные частоты для октавных фильтров: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Воздействие шума на человека

Человек воспринимает шум слуховым анализатором — органом слуха, в котором происходит преобразование механической энергии раздражения рецептора в ощущение, наибольшая чувствительность наблюдается в области частот от 800 до 4000 Гц. Слуховой анализатор обладает высокой чувствительностью, позволяет человеку воспринимать широкий диапазон звуков окружающей среды и анализировать их по силе, высоте тона отмечать изменения по интенсивности и частотному диапазону. Острота слуха не постоянна. В тишине она возрастает, под влиянием шума снижается. Такое временное изменение чувствительности

слухового аппарата называется адаптацией слуха. Адаптация играет защитную роль против продолжительно действующих шумов. Люди по-разному воспринимают шум. Так, например, выявлено, что мужчины предпочитают большую громкость звучания, чем женщины.

Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию слухового органа, к его утомлению.

Психофизиологическое восприятие сигнала, имеющего постоянный уровень интенсивности на всем частотном диапазоне, не одинаково. Так как восприятие равного по силе сигнала изменяется с частотой, для эталонного сравнения громкости исследуемого сигнала была выбрана частота 1000 Гц. Снижение слуховой чувствительности у человека в шумных производствах зависит от интенсивности и частоты звука. Так, минимальная интенсивность, при которой начинает проявляться утомляющее действие шума, зависит от частоты входящих в него звуков. Для звуков частотой 2000—4000 Гц утомляющее действие начинается с 80 дБ, для звуков частотой 5000-6000 Гц - с 60 дБ.

Появление утомления органа слуха следует рассматривать как ранний сигнал угрозы развития тугоухости и глухоты. Синдромом заболевания слухового рецептора являются головные боли и шум в ушах, иногда потеря равновесия и тошнота.

Установлено, что степень снижения слуховой чувствительности прямо пропорциональна времени работы в условиях шумного производства.

Большое значение имеет индивидуальная чувствительность организма к шумовому воздействию. Так, например, высокочастотный шум с общим уровнем звукового давления 100 дБ у одних людей может вызывать признаки тугоухости уже в течение нескольких месяцев, а у других эти признаки проявляются через годы.

Шум на производстве является причиной быстрого утомления работающих, а это приводит к снижению концентрации внимания и увеличению брака. Чрезмерные уровни шума приводят не только к потере слуховой чувствительности, но и нарушениям вегетативной, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений. Артериальное кровяное давление в большинстве случаев изменяется, что способствует общей слабости организма. Под влиянием шума наблюдаются также изменения функционального состояния центральной нервной системы.

В шумных районах города болезни сердечно-сосудистой системы у женщин встречаются в 3 раза чаще по сравнению с заболеваемостью женщин в тихих городских районах. У населения, проживающего вблизи аэропортов, отмечается более частое обращение за медицинской помощью по поводу коронарной недостаточности и гипертонии. В целом в шумных районах около 50% населения имеют изменения сердечно-сосудистой системы⁶.

Отрицательное влияние на психику человека оказывает недостаточная разборчивость речи в условиях шумного производства.

Нормирование шума на рабочих местах

По природе происхождения шум классифицируется на: — шум механического происхождения — шум, возникающий вследствие вибрации поверхностей машин и оборудования, а также одиночных или периодических ударов в сочленениях деталей, сборочных единиц или конструкций в целом;

— шум аэродинамического происхождения — шум, возникаю

щий вследствие стационарных или нестационарных процессов в газах (истечение сжатого воздуха или газа из отверстий; пульсация давления при движении потоков воздуха или газа в трубах или при движении в воздухе тел с большими скоростями, горение жидкого и распыленного топлива в форсунках и др.);

—шум электромагнитного происхождения — шум, возникающий вследствие колебаний элементов электромеханических устройств под влиянием переменных магнитных сил (колебания статора и ротора электрических машин, сердечника трансформатора и др.);

—шум гидродинамического происхождения — шум, возникающий вследствие стационарных и нестационарных процессов в жидкостях (гидравлические удары, турбулентность потока, кавитация и др.).

По возможности распространения шум подразделяют на:

—воздушный шум — шум, распространяющийся в воздушной среде от источника возникновения до места наблюдения;

—структурный шум — шум, излучаемый поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок зданий в звуковом диапазоне частот.

По характеру спектра шума выделяют:

—широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы;

—тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тоны. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в 1^{\wedge} -октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам шум подразделяют на:

—постоянный шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно»;

—непостоянный шум, уровень которого за 8-часовой рабочий день, рабочую смену или во время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно».

Непостоянные шумы, в свою очередь, можно разделить на:

- колеблющийся во времени шум, уровень звука которого не прерывно изменяется во времени;
- прерывистый шум, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;
- импульсный шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБА_{имп} и дБА_{мед}, измеренные соответственно на временных характеристиках «импульс» и «медленно», отличаются не менее чем на 7 дБ.

Нормативными документами, регламентирующими уровень шума на рабочих местах, являются ГОСТ 12.1.003—83 и СН 2.2.4/2.1.8.562—96. При нормировании используют понятия:

— эквивалентный (по энергии) уровень звука $L_{\text{экв}}$, дБА, постоянного шума — это уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt, \quad (4.16)$$

где t —

где $L_A(t)$ — мгновенное значение уровня звука, дБА; t_2 —
 t_1 — время измерений;

- предельно допустимый уровень (ПДУ) шума — это уровень фактора шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц;
- допустимый уровень шума — это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Нормируемые параметры, ограничивающие уровень шума, зависят от вида шума.

Для постоянного шума нормируемыми параметрами являются уровни звукового давления, измеренные в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Допустимые уровни звука на рабочих местах в зависимости от тяжести и напряженности труда приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности, дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1-й степени	тяжелый труд 2-й степени	тяжелый труд 3-й степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1-й степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2-й степени	50	50	—	-	-

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука $B_{Дрэкв}$, дБА, и максимальные уровни звука $L_{A макс}$, дБА.

Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням проводится одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука.

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности приведены в табл. 4.3.

Для ориентировочной оценки можно пользоваться величиной Уровня звука в децибелах по шкале А.

Для непостоянного шума нормируемым параметром является эквивалентный уровень звука L_A . Эквивалентный уровень (по энергии) соответствует уровню звука широкополосного постоянного Шума, оказывающего на человека такое же воздействие, как и реальный непостоянный шум, измеряемый по шкале А шумомера. Если Шум тональный или импульсный, то допустимые уровни должны приниматься на 5 дБА меньше значений, указанных в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Предельно допустимые уровни звукового давления,
уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных
наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест**

п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука, 50
		31,5	63	123	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории. Рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машино-	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Продолжение табл. 43

–	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентные уровни звука, дБА	
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
в/п	писных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах										
	4 Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1—4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Подвижной состав железнодорожного транспорта											
6	Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровазозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7	Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8	Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных помещений, рефрижераторных секций, вагонов-электростанций, поме-	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Продолжение табл. 4.3

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.									Уровень звуков-эквивалентные уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	щений для отдыха багажных и почтовых отделений										
9	Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов-ресторанов	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Морские, речные, рыбопромысловые и другие суда											
10	Рабочая зона в помещениях энергетического отделения судов с постоянной вахтой (помещения, в которых установлена главная энергетическая установка, котлы, двигатели и механизмы, вырабатывающие энергию и обеспечивающие работу различных систем и устройств)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
11	Рабочие зоны в центральных постах управления (ЦПУ) судов (звукоизолированные), помещениях, выделенных из энергетического отделения, в которых установлены контрольные приборы, средства индикации, органы управления главной энергетической установкой и вспомогательными механизмами	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
12	Рабочие зоны в служебных помещениях судов (рулевые, штурманские, багермейстерские рубки, радиорубки и др.)	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
13	Производственно-технологические помещения на судах рыбной промышленности (помещения для переработки объектов промысла рыбы, морепродуктов и пр.)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Автобусы, грузовые, легковые и специальные автомобили											
14	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70

Окончание табл. 4.3											
№	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука, ПЭА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
15	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиры) легковых автомобилей и автобусов	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Сельскохозяйственные машины и оборудование, строительно-дорожные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин											
16	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пассажирские и транспортные самолеты и вертолеты											
17	Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов: допустимые оптимальные	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
		96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства и методы защиты от шума в производственных условиях

Причинами возникновения высоких уровней шума машин и агрегатов могут быть:

- а) конструктивные особенности машины, в результате которых возникают удары и трения узлов и деталей: например, удары толкателей о штоки клапанов, работа кривошипно-шатунных механизмов и зубчатых колес, недостаточная жесткость отдельных частей машины, которая приводит к ее вибрациям;
- б) технологические недостатки, появившиеся в процессе изготовления оборудования, к которым могут быть отнесены: плохая динамическая балансировка вращающихся деталей и узлов, неточное выполнение шага зацепления и формы профиля зуба зубчатых колес (даже ничтожно малые отклонения в размерах деталей машин отражаются на уровне шума);
- в) некачественный монтаж оборудования на производственных площадях, который приводит, с одной стороны, к перекосам и эксцентриситету работающих деталей и узлов машин, с другой — к вибрациям строительных конструкций;
- г) нарушение правил технической эксплуатации машин и агрегатов — неправильный режим работы оборудования, т. е. режим, отличающийся от номинального (паспортного), несоответствующий уход за станочным парком и др.;
- д) несвоевременное и некачественное проведение планово-предупредительного ремонта, которое приводит не только к ухудшению качества работы механизмов, но и способствует увеличению производственного шума; своевременный и качественный ремонт, замена износившихся деталей оборудования препятствует увеличению перекосов и люфтов в движущихся частях механизмов, а следовательно, повышению уровня шума на рабочих местах;
- е) несовершенные в отношении шумового режима отдельные технологические процессы, например сбрасывание металлических

деталей, которое должно быть заменено спуском их по направляющим, выполненным из материала, не производящего шума, замена пневматической клепки гидравлической или сваркой и т. п.

В соответствии с ГОСТ 12.1.029—80 средства и методы защиты от шума по отношению к защищаемому объекту классифицируются следующим образом: средства и методы коллективной защиты; средства индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты по отношению к источнику возбуждения шума подразделяются на:

- средства, снижающие шум в источнике его возникновения;
- средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта.

Средства, снижающие шум в источнике его возникновения, в зависимости от характера образования шума подразделяются на:

- средства, снижающие шум вибрационного (механического) происхождения;
- средства, снижающие шум аэродинамического происхождения;
- средства, снижающие шум электромагнитного происхождения;
- средства, снижающие шум гидродинамического происхождения.

Средства, снижающие шум на пути его распространения, в зависимости от среды подразделяются на:

- средства, снижающие передачу воздушного шума;

— средства, снижающие передачу структурного шума. *Средства и методы коллективной защиты от шума* в зависимости от способа реализации подразделяются на:

- акустические средства;
- архитектурно-планировочные;
- организационно-технические.

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия классифицируются на:

- средства звукоизоляции;
- средства звукопоглощения;
- средства виброизоляции;
- средства демпфирования;
- глушители шума;

Звукоизоляция

Рассмотрим явления, происходящие при передаче звука через пластину, имеющую большую протяженность в обоих направлениях по сравнению с ее толщиной.

Плоская звуковая волна, которая падает на пластину, будет частично отражаться и частично проходить через нее (рис. 4.3).

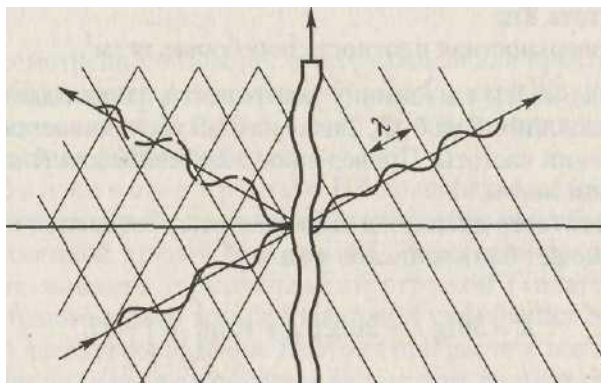


Рис. 4.3. Отражение и прохождение звуковой волны (длиной λ), падающей на бесконечно большую пластину

Жесткая пластина, например из стали, отражает звуковую энергию очень эффективно.

Одинарные перегородки. Рассмотрим одинарную нежесткую перегородку из однородного материала, установленную так, что она имеет собственную частоту колебаний первого порядка f_0 . Коэффициент звукопередачи характеризуется выражением

$$\tau = \frac{\text{Передаваемая энергия}}{\text{Падающая энергия}}$$

Звукоизоляция R определяется по формуле

$$R = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right). \quad (4.17)$$

Для частот ниже f_0 R является функцией жесткости пластины. На резонансной частоте f_0 звукоизоляция R является функцией внутренних потерь в материале переборки и рассеивания энергии вдоль ее границ. На частоте совпадений колебаний f_c (длина звуковой волны в воздухе совпадает с длиной изгибной волны в пластине), при которой пластина делается акустически прозрачной, звукоизоляция зависит от $\frac{f_c}{2R}$ внутренних потерь в материале пластины.

Для частот между f_0 и $\frac{f_c}{2R}$

дБ, приблизительно находится

$$R = 20 \lg f + 20 \lg \rho_s - 48, \quad (4.18)$$

где f — частота, Гц;

ρ_s — поверхностная плотность переборки, кг/м².

Удвоение массы на единицу поверхности панели дает увеличение звукоизоляции R на 6 дБ. Также на 6 дБ увеличивается R при каждом удвоении частоты. Приведенное выражение для R часто называют *законом массы*.

Для частотного диапазона выше частоты совпадения выражение для R , дБ, может быть записано в виде

$$R = 30 \lg f + 20 \lg \rho_s + 10 \lg \left(\frac{\eta}{f_c} \right) - 47, \quad (4.19)$$

где η — коэффициент потерь в материале;

f_c — частота совпадения,

$$f_c = \frac{c^2}{1,81t} \sqrt{\frac{s(1-\nu)}{E}}, \quad (4.20)$$

где t — толщина пластины;

ν — коэффициент Пуассона;

E — модуль упругости материала.

В этой зоне R увеличивается на 6 дБ при удвоении массы и на 3 дБ при удвоении внутренних потерь в материале. Значение звукоизоляции приблизительно выражается кривой, приведенной на рис. 4.4, наклон которой составляет примерно 9 дБ на октаву.

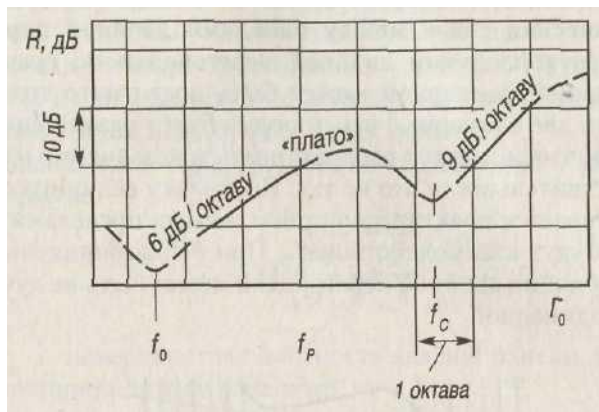


Рис. 4.4. Кривая для приближенных расчетов звукоизоляции пластины

Из рассмотренного можно сделать важный для практики вывод, который заключается в том, что внутренние потери влияют на величину звукоизоляции R только в зоне резонанса совпадения и для частот, лежащих выше этой зоны.

Приближенные кривые. В большинстве случаев на практике звукоизоляция R с достаточной точностью может быть найдена на приближенной кривой (см. рис. 4.4), у которой зона резонанса совпадения заменена горизонтальным отрезком («плато»). У пластины из одного и того же материала при увеличении ее толщины снижается частота совпадения. Поэтому при расчете вся кривая звукоизоляции должна быть смещена на такое же количество Гц в сторону более низких частот.

Двойные перегородки. Чтобы увеличить звукоизоляцию перегородки из одного и того же материала, обычно применяются двойные, состоящие из двух пластин с воздушным промежутком (подушкой) между ними. Если представить на мгновение, что обе пластины перегородки вибрируют независимо одна от другой, т. е. расстояние между ними достаточно велико, то затухание, создаваемое одинарной перегородкой, в соответствии с рис. 4.4 должно удвоить-

ся. Если одинарная перегородка ослабляет звук в зоне горизонтального «плато» на 20 дБ, то двойная — на 40 дБ. Подбирая и составляя таким образом различные материалы, используемые для одинарных перегородок, можно расширить горизонтальную часть характеристики затухания двойных перегородок в области низких частот.

Акустическая связь между панелями двойной перегородки. Удвоение звукоизоляции двойной перегородки по сравнению со звукоизоляцией одинарной может быть достигнуто только в том случае, если две одинарные перегородки будут размещены на таком расстоянии, что они могут рассматриваться независимо одна от другой. В действительности это не так. Поскольку величина промежутка ограничивается практически приемлемыми пределами (рис. 4.5), то панели будут взаимодействовать. При неблагоприятных условиях звукоизоляция двойной перегородки может быть не лучше звукоизоляции одинарной.

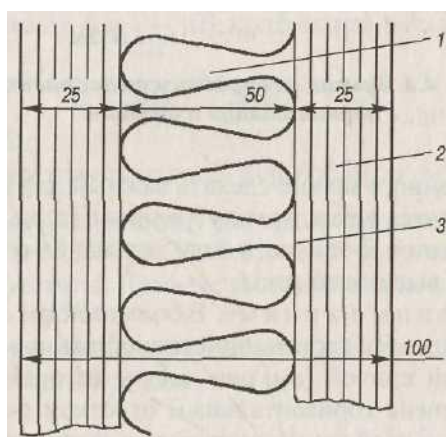


Рис. 4.5. Двойная перегородка:

1 — минеральное волокно; 2 — панель; 3 — зашивка

На очень низких частотах каждая панель колеблется как мембрана под воздействием звукового давления. При этом воздушная подушка между панелями будет действовать как жесткая пружина, передающая колебание от одной панели другой, так что обе они будут колебаться синхронно. Это значит, что в акустическом отношении эти панели будут действовать как одна, но масса ее будет равна их суммарной массе.

Для очень низких частот затухание должно определяться по закону массы.

Однако на более высоких частотах из-за упругих свойств воздушной подушки колебание второй панели уже не будет синхронно с первой, и на определенной частоте f_D в системе «панель — воздушная подушка — панель» может возникнуть резонанс, так что вибрация второй панели может значительно усилиться. На частотах, расположенных в непосредственной близости к этой резонансной частоте, звукоизоляция перегородки будет меньше.

Резонансная частота f_D , Гц, приблизительно может быть рассчитана по формуле

$$f_D = 60 \sqrt{\frac{\rho_{s_1} + \rho_{s_2}}{\rho_{s_1} \rho_{s_2} d}}, \quad (4.21)$$

где ρ_s , ρ_s — поверхностная плотность каждой панели, кг/м²; d — расстояние между панелями, м.

На рис. 4.6 показаны типовые частотные характеристики звукоизоляции различных перегородок.

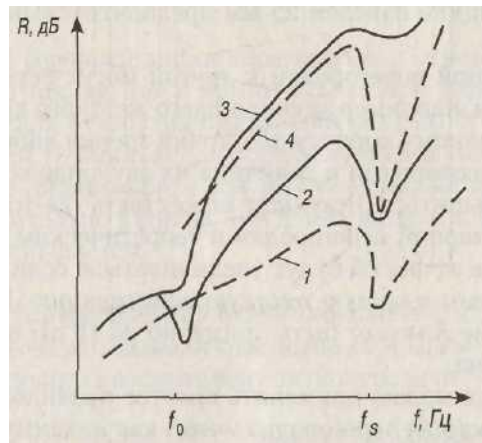


Рис. 4.6. Типовые частотные характеристики звукоизоляции перегородок:

1 — одинарная перегородка; 2 — двойная перегородка без звукопоглощающего материала между панелями; 3 — двойная перегородка со звукопоглощающим материалом в промежутке; 4 — звукоизоляция двух одинарных перегородок

На более высоких частотах могут возбуждаться стоячие волны между панелями, если расстояние между ними будет кратно половине длины звуковой волны. Это может иметь место на частотах

$$f_n = \frac{nc}{2d}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (4.22)$$

где c — скорость звука, м/с;
 d — расстояние между панелями, м.

На этих частотах звукоизоляция R также будет уменьшаться. Возмещение потерь эффективности звукоизоляции конструкции на резонансе обычно осуществляется за счет использования явления поглощения энергии. Это может быть достигнуто при размещении в воздушном промежутке минерального волокна. При этом отрицательное влияние резонанса будет значительно уменьшено.

Желательно, чтобы частота f_D находилась на возможно более низких частотах. Это достигается увеличением расстояния между панелями или повышением их поверхностной массы. При расстоянии 5 см между двумя панелями толщиной 25 мм резонанс будет на частоте приблизительно 80 Гц, а при расстоянии 2,5 см — 120 Гц. Поэтому при толщине панелей 25 мм предпочтительнее расстояние 5 см.

Если от одной перегородки к другой могут передаваться изгибающие усилия, например за счет общего жесткого крепления по периметру к основному корпусу, то с точки зрения вибрации эти панели являются связанными и величина их звукоизоляции может значительно уменьшиться. Результат может быть где-то между величиной R для одинарной перегородки и теоретическим R для двойной. Отрицательные эффекты будут увеличиваться, если панели с обеих сторон скреплены в общую жесткую конструкцию. В таких перегородках значение R может быть примерно на 10 дБ ниже теоретического максимума.

На практике можно применять простое правило, заключающееся в том, что двойная перегородка может как максимум дать суммарную звукоизоляцию ($R_1 + R_2$), равную звукоизоляции двух отдельных

перегородок.

Комбинированные перегородки. Количество звуковой энергии, падающей на пластину, пропорционально ее площади. Для перегородки, составленной из нескольких пластин, имеющих различные

коэффициенты звукопередачи x и площадь S , результирующий коэффициент передачи

$$\tau = \frac{1}{S} (\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \dots + \tau_i S_i), \quad (4.23)$$

где $S = S_1 + S_2 + \dots + S_i$ — общая площадь.

Пример 1. Перегородка общей площадью 4 м^2 состоит из двух частей по 2 м^2 каждая. Звукоизоляция этих частей $R_1 = 40 \text{ дБ}$ и $R_2 = 20 \text{ дБ}$ соответственно. Коэффициент передачи звука $\tau_1 = \frac{1}{10\,000}$ и $\tau_2 = \frac{1}{100}$.

Результирующий коэффициент звукопередачи

$$\tau = \frac{1}{4} \left(2 \left(\frac{1}{10\,000} \right) + 2 \left(\frac{1}{100} \right) \right) = \frac{101}{20\,000} \approx 0,005.$$

Общая звукоизоляция

$$R = 100 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right) = 23 \text{ дБ}$$

(а не 30 дБ, потому что R — величина логарифмическая).

Отверстия. Звукоизоляция перегородок с отверстиями рассчитывается точно так же, как в примере 1, но при этом коэффициент звукопередачи для отверстия принимают равным 1. Это справедливо с достаточной точностью для составляющих шума среднего и высокочастотного диапазонов и для не очень малых отверстий. Если отверстие значительно меньше, чем длина волны, коэффициент звукопередачи уменьшается.

Пример 2. В перегородке общей площадью 4 м^2 , которая имела звукоизоляцию 40 дБ, сделали отверстие $10 \times 10 \text{ см}$. Результирующий коэффициент звукопередачи

$$\tau = \frac{1}{4} \left(3,99 \frac{1}{10\,000} + 0,01 \cdot 1 \right) = 0,002599.$$

Результирующее ослабление звука

$$R = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right) = 25,9 \text{ дБ.}$$

Следовательно, вентиляционные отверстия будут значительно уменьшать звукоизоляцию перегородки, если не применены соответствующие защитные акустические конструкции. Это очень важно, об этом следует помнить при проектировании трасс для прокладки кабелей, воздушных каналов, отверстий для отвода воздуха и т. п.

Средства звукоизоляции в зависимости от конструкции подразделяются на:

- звукоизолирующие ограждения зданий и помещений;
- звукоизолирующие кожухи;
- звукоизолирующие кабины;
- акустические экраны, выгородки.

Например, установки, излучающие значительный шум, следует

изолировать кожухами (рис. 4.7) или перегородками. Если по условиям эксплуатации машину, излучающую шум, изолировать нельзя, то для обслуживающего персонала необходимо построить специальную звукоизолирующую кабину (рис. 4.8, а) или экран (рис. 4.8, б), обеспечивающие защиту от шума и пригодные для наблюдения за ходом технологического процесса.

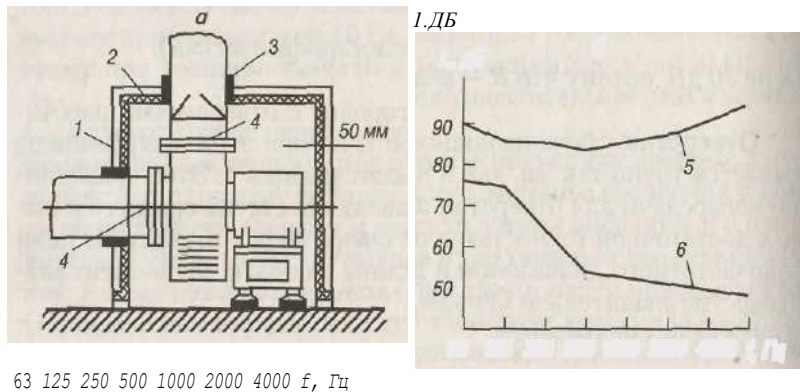


Рис. 4.7. Звукоизолирующий кожух центробежного вентилятора:

а — схема кожуха: 1 — корпус кожуха из листовой стали; 2 — слой звукопоглощающего материала; 3 — уплотнитель из резины; 4 — гибкие вставки; б — спектры шума до (5) и после (6) установки кожуха

Звукопоглощение

Звукопоглощающие материалы. Акустические поглощающие материалы обычно бывают пористыми или волокнистыми. Внутренняя структура материала такова, что падающая звуковая энергия преобразуется там в тепловую за счет трения в порах.

Такие материалы, как минеральное волокно, маты из стекловолна, асбест и т. д., являются хорошими акустическими поглощающими материалами.

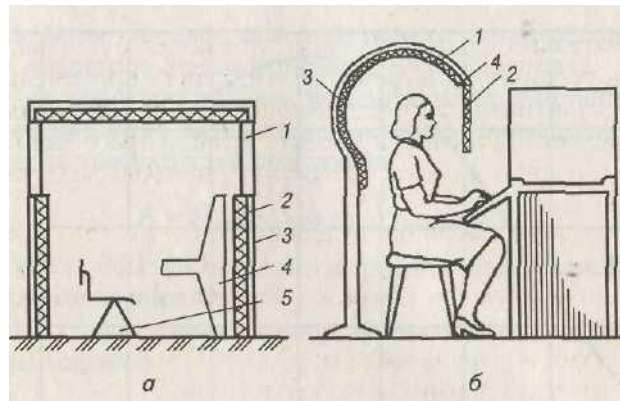
Коэффициент звукопоглощения материала определяется как отношение поглощаемой им звуковой энергии к падающей. (Коэффициент звукопоглощения для открытого окна принимается равным единице, так как в этом случае отражение равно нулю, т. е. вся звуковая энергия как бы уходит через окно.)

Коэффициенты звукопоглощения материалов различных марок указываются для определенного диапазона частот в зависимости от их толщины и особенностей установки (с воздушным промежутком или без него). Таблицы и диаграммы с акустическими характеристиками вместе с материалом поставляются изготовителями.

На рис. 4.9 приведен для примера график коэффициента звукопоглощения конструкции, закрепленной на переборке. Конструкция состоит из слоя минерального волокна толщиной 5 см (3), защищенного полиэтиленовой пленкой толщиной 0,035 мм (1) и перфорированным листом (2) с коэффициентом перфорации 15%.

Обычно коэффициент звукопоглощения имеет более высокие значения на средних частотах и быстро падает на частотах ниже 500 Гц.

Рис. 4.8. Защита от шума на рабочих местах:



a — схема устройства звукоизолирующей кабины: 1 — органическое стекло; 2 — звукоизолирующая облицовка; 3 — металлический лист; 4 — пульт управления; 5 — стул; *б* — звукоизолирующий экран-колпак: 1 — перфорированный звукопоглотитель; 2 — стекло; 3 — корпус; 4 — шарнир

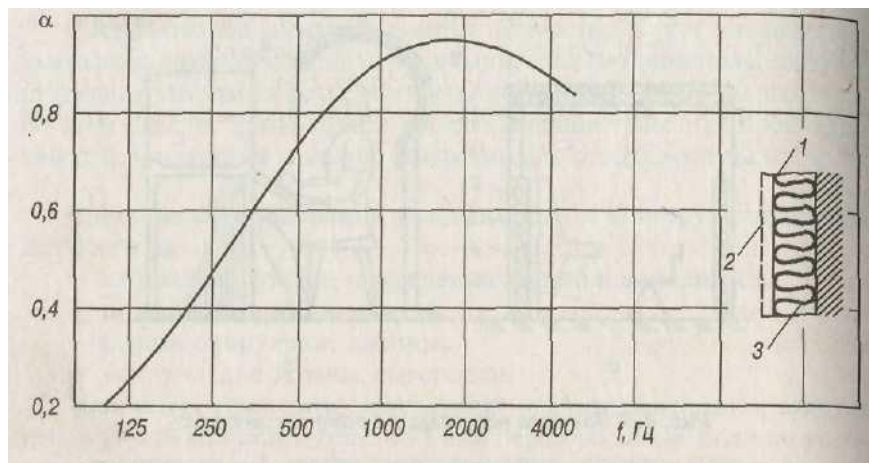


Рис. 4.9. Коэффициент звукопоглощения минерального волокна с защитной полиэтиленовой пленкой

Повышение коэффициента звукопоглощения на более низких частотах может быть получено путем увеличения толщины поглощающего материала.

На средних и высоких частотах увеличение толщины более чем на 5—10 см дает незначительное приращение α .

Улучшение поглощения в диапазоне низких частот можно добиться с помощью перфорированного покрытия с определенными коэффициентом перфорации и толщиной защитной пластины. Однако при этом поглощение в диапазоне высоких частот уменьшится.

При использовании поглощающего материала должны учитываться и такие его свойства, как огнестойкость, маслостойкость, механическая прочность.

Влияние звукопоглощения на уровень звукового давления.

Если звук интенсивностью I , Вт/м², в одной октавной полосе падает на поверхность площадью S , м², то поток звуковой энергии, Вт, воспринимаемый ею, равен

$$W = IS. \quad (4.24)$$

Если поверхность способна поглощать звук с коэффициентом поглощения α , то поток звуковой энергии, Вт, в той же октаве уменьшится на величину

$$W_a = IS\alpha. \quad (4.25)$$

Произведение Sa дает значение общего звукопоглощения поверхности площадью S с коэффициентом поглощения a .

Общее звукопоглощение в помещении, которое принято обозначать как число Сэбин, находится сложением произведений Sa всех поглощающих поверхностей помещения:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots \quad (4.26)$$

Величина A обычно называется площадью эквивалентного поглощения в помещении.

Средний коэффициент звукопоглощения a в помещении находится по выражению

$$a = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots} = \frac{A}{S}, \quad (4.27)$$

где S — сумма всех поверхностей.

Мебель, оборудование и люди создают дополнительное поглощение; оно также определяется в квадратных метрах (иногда встречаются значения в квадратных футах). Значения дополнительного поглощения приведены в табл. 4.3 и могут быть использованы для приближенных расчетов.

Таблица 4.3

Объекты дополнительного поглощения	Поглощение, м ² , на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Сидящий человек	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Стулья, шезлонги, скамейки	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Кресла	0,17	0,23	0,23	0,22	0,19	0,18
Кровати	0,68	0,92	0,92	0,88	0,76	0,72

Среднее значение коэффициента звукопоглощения a зависит от акустических свойств помещения.

Заглушённое	0,40
Полузаглушенное	0,25
Со средним поглощением	0,15
Полугулкое	0,10
Гулкое	0,05

Кинозал является заглушённым помещением. Это тоже применимо к обычным залам заседаний. Бетонные подвалы и стальные отсеки являются гулками помещениями.

Зависимость уровня звукового давления от общего поглощения в помещении иллюстрируется следующим. Шум передается в помещение через стену площадью S , м^2 . Интенсивность звука в помещении (в октавных полосах) — I_s , Вт/м^2 .

Когда звуковая энергия передается в помещение непрерывно, звуковое давление в нем достигает уровня, при котором поглощаемая энергия равна энергии поступающей. Если звуковое давление в помещении равно p , то интенсивность звука, падающего на ограждающие его поверхности, будет

$$I = \frac{p^2}{4\rho_0 c}, \quad (4.28)$$

где

p — звуковое давление в помещении, Па;
 $\rho_0 = 1,293$ — плотность воздуха, кг/м^3 ; $c = 340$ — скорость звука в воздухе, м/с.

Поскольку поглощаемая энергия равна поступающей, имеем

$$I_s A = I_s S$$

$$I_s A = I_s S \quad (4.29)$$

или

$$p^2 = 4\rho_0 c I_s S,$$

$$p^2 = 4\rho_0 c I_s S \quad (4.30)$$

Если эквивалентная площадь поглощения в помещении увеличивается с A_1 до A_2 , то звуковое давление уменьшится:

$$\frac{p_1^2}{2} = \frac{A_2}{A_1} p_2^2 \quad (4.31)$$

где

Уменьшение уровня звукового давления, дБ, определится по выражению

$$\Delta L = L_1 - L_2$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} \quad (4.32)$$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} \quad (4.32)$$

Предположим, что первоначально общая площадь поглощения была 10 м^2 . Путем покрытия поглощающим материалом потолка она

была увеличена до 100 м^2 . Уровень звукового давления, дБ, тогда уменьшится:

$$L_2 = L_1 - 10 \lg\left(\frac{100}{10}\right) = L_1 - 10,$$

т. е. уменьшение составит 10 дБ.

Если величина A увеличивается от 100 до 200 м^2 посредством облицовки стен, уровень звукового давления, дБ, равен

$$L_3 = L_2 - 10 \lg\left(\frac{200}{10}\right) = L_2 - 3.$$

Таким образом, дополнительная облицовка стен дает сравнительно малый эффект. Это объясняется тем, что конечный результат зависит от величины поглощения в помещении до внесения изменений.

Время реверберации. Время реверберации в помещении — это параметр, который часто используется для оценки эффективности звукопоглощения. Оно означает время, за которое уровень шума в этом помещении уменьшается на 60 дБ при прекращении действия сильного источника шума.

Время реверберации T , с, определяется по формуле Сэбина

$$T = 0,161 \frac{V}{A}, \quad (4.33)$$

где V — объем помещения, м^3 ;

A — эквивалентная площадь поглощения, м^2 .

Время реверберации измеряется специальной аппаратурой.

Величина A и средний коэффициент звукопоглощения α для ограждающих поверхностей помещения могут быть рассчитаны по измеренному времени реверберации:

$$A = \alpha S = 0,161 \frac{V}{T}, \quad (4.34)$$

где S — общая площадь поверхности.

Формула Сэбина не совсем точна, но она широко используется в соответствии с рекомендациями ISO R 354.

Между величиной A и временем реверберации T в помещении имеется определенная зависимость. Поэтому снижение уровня звукового давления можно выразить через время реверберации до и по-

еле внесения дополнительного поглощения (соответственно Γ , и Γ^1 .)

(mX

Уменьшение уровня звукового давления, дБ, будет равно $10 \lg \frac{I}{I_0}$

Резонансные поглотители. На рис. 4.10 показан резонатор, воздух в горле которого может колебаться подобно грузу, подвешенному к спиральной пружине. Закрытый объем воздуха V будет действовать как пружина, когда воздух внутри и непосредственно снаружи горла резонатора движется вверх и вниз. Резонансная частота, Гц, может быть рассчитана по формуле

$$(4.35) \quad f_r = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{r^2}{V \left(l + \frac{r^2}{2} \right)}}$$

где c — скорость звука, м/с;

r — радиус горла

резонатора, м; V — объем воздуха, м³; /

— длина горла колбы, м.

Если длина горла резонатора мала или равна нулю, то формула упростится:

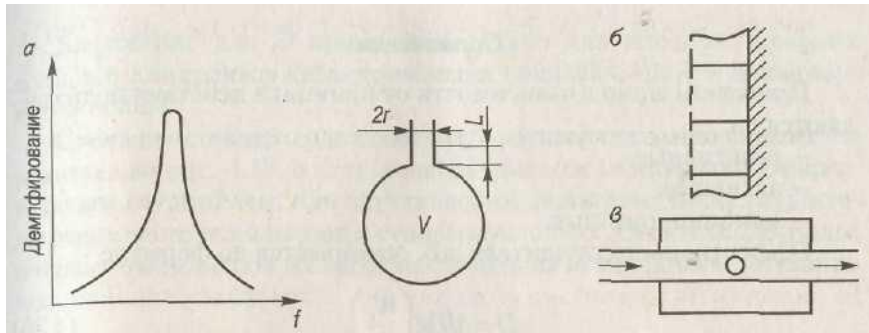
$$f_r = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{2r}{V}}$$

Емкость с каналом к открытому пространству часто называют резонатором Гельмгольца.

Когда звуковые волны с частотой, равной собственной частоте резонатора, падают снаружи на отверстие, в нем будут возбуждаться резонансные колебания воздуха. Из-за затрат энергии на возбуждение этих колебаний резонатор будет действовать как поглотитель колебательной энергии на этой частоте. На других частотах резонатор имеет малое поглощение (см. рис. 4.10, а).

Этот эффект используется в конструкциях, где перед слоем поглощающего материала размещается перфорированная пластина. Отверстия вместе с воздушным пространством за пластиной образуют резонатор Гельмгольца. При соответствующем выборе диаметра отверстий, коэффициента перфорации и толщины пластины может быть увеличен коэффициент поглощения на низких частотах вследствие снижения резонансных частот. Из приведенной выше формулы видно, что резонансная частота снижается при увеличении толщины перфорированной пластины и уменьшении коэффициента перфорации.

Рис. 4.10. Резонатор Гельмгольца:



а — кривая затухания и принципиальная схема; б — поверхность с отверстиями для ослабления шума; в — глушитель шума выхлопа

Однако следует иметь в виду, что уменьшение коэффициента перфорации будет снижать поглощение на высоких частотах. Эффект затухания в резонаторах используется также в глушителях. На рис. 4.10 показано несколько примеров резонаторных конструкций.

Средства звукопоглощения в зависимости от конструкции подразделяются на:

- звукопоглощающие облицовки (рис. 4.11);
- объемные (штучные) поглотители звука.

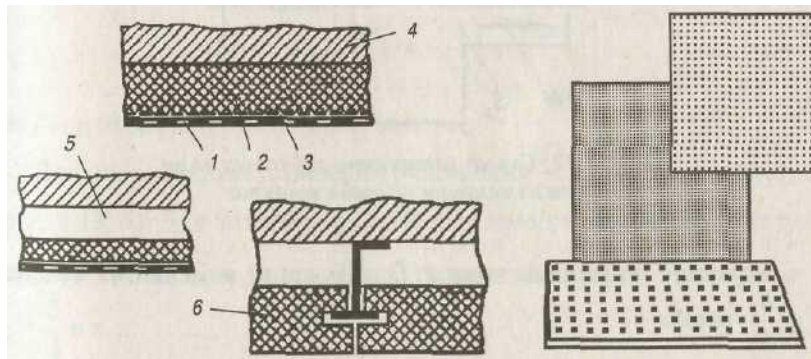


Рис. 4.11, Звукопоглощающие облицовки:

1 — защитный перфорированный слой; 2 — звукопоглощающий материал; 3 — защитная стеклоткань; 4 — стена или потолок; 5 — воздушный промежуток; 6 — плита из звукопоглощающего материала

Глушители

Глушители шума в зависимости от принципа действия подразделяются на:

- реактивные;
- активные;
- комбинированные.

Эффективность глушителя, дБ, оценивается по формуле

$$D = 10 \lg \left(\frac{W_i}{W_o} \right), \quad (4.36)$$

где W_i, W_o — звуковая мощность на входе в глушитель и на выходе из него, Вт.

Реактивные глушители. Глушители реактивного типа используют отражение звуковой волны в обратном направлении при изменении сечения тракта. На этом принципе базируются простейшие реактивные так называемые расширительные глушители (рис. 4.12).

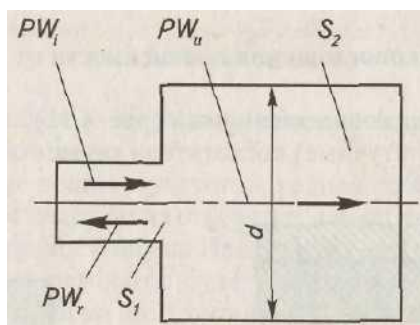


Рис. 4.12. Схема затухания звуковых волн при изменении сечения тракта

Затухание звуковой волны D , дБ, при изменении сечения равно

$$D \approx 10 \lg \left(\frac{1}{1 - R^2} \right), \quad (4.37)$$

где $R = \frac{m - 1}{m + 1}$.

Выражение для D применимо только для плоских звуковых волн, т. е. для трактов диаметром менее чем $0,75\lambda$, где λ — длина звуковой волны.

Схема простейшего однокамерного расширительного глушителя показана на рис. 4.13, а. Эту конструкцию часто называют отражательным глушителем, или акустическим фильтром. Такие глушители очень часто используют в судовых условиях. Они технологичны, и подбором размеров их легко настроить на необходимое затухание заданной полосы частот.

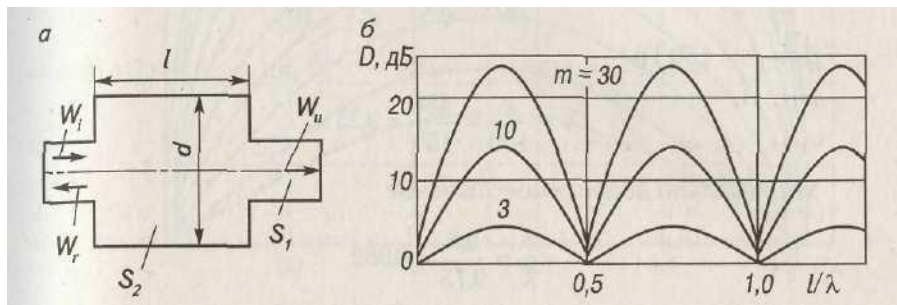


Рис. 4.13. Схема расширительного глушителя (а) и его эффективность (б)

Величина затухания в расширительном глушителе может быть рассчитана по формуле

¹²

$$(4.38) \quad D = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{2} \left(m - \frac{1}{m} \right) \sin^2 \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right) \right],$$

где l — длина расширительной камеры.

Для определенных значений отношения $\frac{l}{\lambda}$ затухание равно нулю (рис. 4.13, б). Для значения $m = 10$, например, максимальное затухание $D \approx 14$ дБ. Это получается (теоретически) при $\frac{l}{\lambda} = \frac{1}{4}$; $\frac{l}{\lambda} = \frac{3}{4}$; $\frac{l}{\lambda} = \frac{5}{4}$ и т. д.

Формула применима для глушителей, поперечные размеры которых (например, диаметр для круглых глушителей) значительно меньше длины звуковой волны примерно до $\frac{\lambda}{4}$.

Пример. Глушитель должен давать затухание 10 дБ в частотном диапазоне $f = 50 \text{ -- } 150$ Гц. Температура газа — около 320 °С. Длина расширительной части — $0,8$ м.

Решение. Скорость звука c при данных условиях:

$$c = 20,05 \sqrt{(273 + 320)} = 488 \text{ м/с.}$$

Для $f = 50$ Гц

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{488}{50} = 9,75 \text{ м.}$$

Для $f = 150$ Гц

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{488}{150} = 3,25 \text{ м.}$$

Минимально допустимое значение

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{0,8}{9,75} = 0,082.$$

Наибольшее значение

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{0,8}{3,25} = 0,24.$$

Из номограммы на рис. 4.14 находим среднее значение $m = 14$.

Расчетная и измеренная эффективность небольшого расширительного глушителя показана на рис. 4.15.

Реактивные глушители часто конструируются в виде серии расширительных камер, соединенных короткими трубками. Такой глушитель, как и обычный однокамерный расширительный, является акустическим фильтром.

Глушитель может быть представлен эквивалентной моделью электрических фильтров. Схема, показанная на рис. 4.16, представляет собой низкочастотный фильтр. Ниже определенной граничной частоты звуковая энергия проходит более или менее беспрепятственно ($D = 0$), выше этой частоты начинается затухание.

Величина D зависит не только от собственно глушителя, но и от акустических характеристик соседних с глушителем звеньев. Эти факторы должны учитываться при расчетах глушителей.

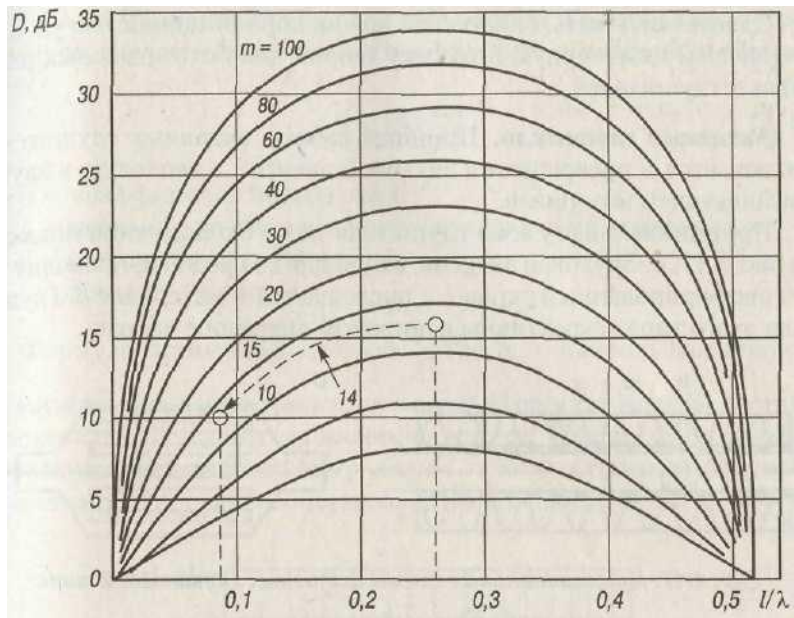


Рис. 4.14. Номограмма расчета расширительных однокамерных глушителей

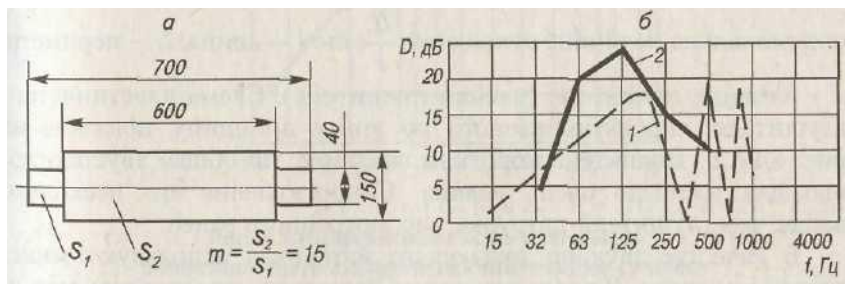


Рис. 4.15. Расчетная (а) и измеренная (б) эффективность расширительного глушителя

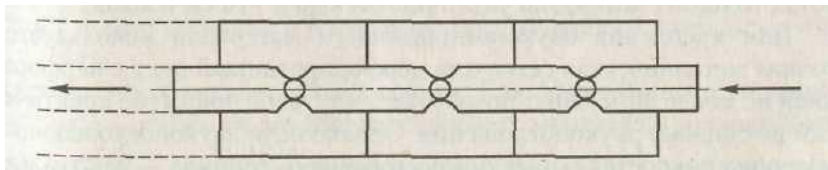


Рис. 4.16. Многокамерный реактивный глушитель

Следует отметить, однако, что до сих пор нет полностью удовлетворяющей инженерную практику теории для более сложных реактивных глушителей.

Активные глушители. Принцип работы активных глушителей заключается в превращении звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале.

Принципиальная схема глушителя патрубкового типа показана на рис. 4.17, а. Звуковая энергия, входящая со средой *a*, проходит через перфорированный экран *c* и поглощается в материале *d*. Глушители этого типа эффективны в широком диапазоне частот.

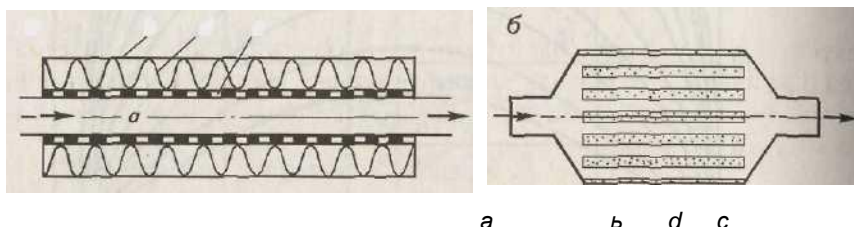


Рис. 4.17. Принципиальные схемы активных глушителей типа:

a — патрубкового; *б* — пластинчатого

Для звукопоглощающего материала, имеющего определенный коэффициент звукопоглощения α , затухание увеличивается пропорционально величине отношения $\frac{L}{F}$, где L — длина; F — сечение глушителя (ячейки глушителя).

Схема пластинчатого глушителя, спроектированного по этому принципу, показана на рис. 4.17, б. Глушитель короткий по длине, но общая звукопоглощающая площадь очень велика. Сопротивление его несколько выше, чем глушителя-патрубка, рассмотренного ранее.

В качестве звукопоглощающего материала используют минеральное волокно. В последнее время начинают использовать металлический «войлок». Толщина звукопоглощающего материала порядка 2,5—3,0 см. Для улучшения звукопоглощения на низких частотах толщина материала увеличивается до 8—10 см и выше.

Для крепления звукопоглощающего материала используется тонкая металлическая сетка или перфорированный лист с перфорацией не менее 30%. Опыт показывает, что такое покрытие практически не снижает звукопоглощение. Однако если звукопоглощающий материал покрывается остатками несгоревшего топлива — коксом или сажей, поглощение может резко снизиться.

Расчет. Часто для приближенного расчета и выбора параметров активного глушителя используется формула, в которой затухание,

$$D \approx 15\alpha \frac{L}{F} l, \quad (4.39)$$

где α — коэффициент поглощения;

l — периметр по сечению звукопоглощающего материала, м; F — сечение глушителя, м²; L — длина глушителя, м.

Формула применима для $\lambda \geq \frac{b}{2}$, где b — наибольшая ширина глушителя. Для высокочастотного шума (короткие волны) простой одноканальный глушитель малоэффективен. На рис. 4.18 показано затухание звука в дБ на метр длины такого глушителя размером 33 x 33 см, облицованного минеральным волокном.

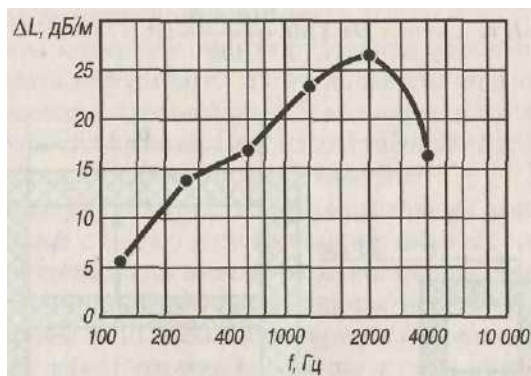


Рис. 4.18. Эффективность активного одноканального глушителя квадратного сечения

На частоте $f = 2000$ Гц, где $\lambda = 17$ см, затухание максимально ($\lambda \approx \frac{b}{2}$). При меньших и более высоких значениях λ затухание снижается. Это объясняется следующим. Для эффективного поглощения звука толщина звукопоглощающего материала должна быть равной около полуволны заглушаемого звука, т. е. $\frac{\lambda}{2}$, что практиче-

ски для низких частот осуществить трудно. Поэтому в низкочастотной области спектра затухание звуковой энергии в активных глушителях обычно падает. На высоких частотах длина волн много меньше поперечных размеров тракта (глушителя) и концентрированный пучок звуковых волн проходит в центре глушителя без поглощения на более или менее длительном расстоянии, поэтому затухание падает также и на высоких частотах.

Формула для затухания энергии, дБ, в глушителе цилиндрической формы имеет вид

$$D \cong 1,5\alpha \frac{2\pi r}{\pi r^2} l = 3\alpha \frac{l}{r}, \quad (4.40)$$

где r — радиус трубы, м.

Затухание энергии в глушителе, имеющем сечение, показанное на рис. 4.19, определяется по формуле

$$D \cong 1,5\alpha \frac{6(a+b)}{3ab} l. \quad (4.41)$$

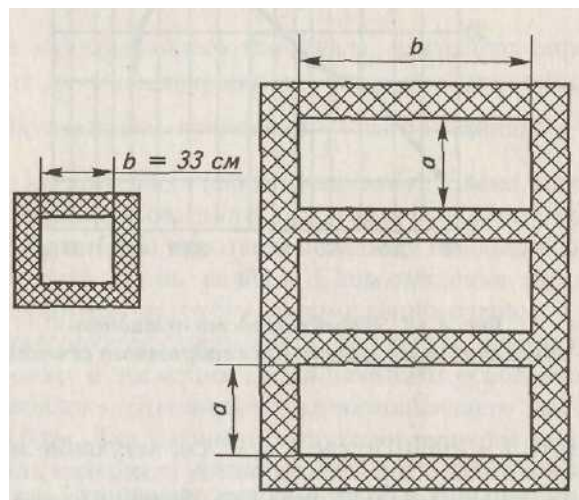


Рис. 4.19. Трехканальный глушитель активного типа

Глушитель имеет несколько каналов, и их высота меньше, чем у одноканального таких же размеров глушителя. Поэтому этот глу-

шитель эффективно используется для снижения высокочастотного шума (малая X).

Организационно-технические методы защиты от шума

Организационно-технические методы защиты от шума включают в себя:

- применение малошумных технологических процессов (изменение технологии производства, способа обработки и транспортирования материала и др.);
- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
 - применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц;
 - совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;
 - использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

Все способы модернизации оборудования, уменьшающие уровни шума, указать невозможно, их очень много. Они определяются типом оборудования, требованиями к величине допускаемого уровня шума на рабочих участках, производственными возможностями и т. п. В частности, сюда могут быть отнесены:

- а) изменение упругости или массы отдельных конструктивных элементов машин с целью изменения собственных частот колебаний, что даст возможность вывода их из состояния резонанса;
- б) обеспечение плотного прилегания в местах связи сопрягаемых деталей путем использования амортизирующих материалов, таких как резина, асбест, картон, пробка и т. п., или пружинных амортизаторов, а также применения рациональных способов крепления отдельных элементов к корпусу машины;
- в) замена металлов материалами типа пластмассы, текстолита, фибролита и т. п., хромирование, а также покрытие поверхности деталей различного рода лаками и красками;
- г) покрытие вибрирующих со значительной амплитудой поверхностей оборудования демпфирующими материалами с большими коэффициентами внутреннего трения — битумом, резиной, толем, фетром, асбестом, специальными мастиками при условии плотного их прилегания к вибрирующей поверхности. Модернизация оборудования, как правило, увеличивает срок службы машин и улучшает их технико-эксплуатационные данные.

Средства индивидуальной защиты человека от шума

Средства индивидуальной защиты человека от шума в зависимости от конструктивного исполнения подразделяются на:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы.

Применение средств индивидуальной защиты от интенсивных шумов является эффективным, если они рационально выбраны и систематически используются.

Исследования, проведенные с помощью современных физиологических методов, показали, что индивидуальные средства значительно защищают организм от раздражающего действия шума, обеспечивая предупреждение различных глубоких функциональных нарушений и расстройств. Однако использование средств индивидуальной защиты не решает проблемы борьбы с шумом в целом. Только правильно разработанный комплекс описанных выше мероприятий может полностью предотвратить вредные воздействия шума на организм работающих.

Нормирование шума в жилых помещениях и мероприятия по защите от шума в жилом секторе и окружающей среде

Нормирование шума в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки происходит в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (табл. 4.4).

Мероприятия по защите от шума в жилом секторе и окружающей среде. От источников техногенного шума основным направлением защиты является увеличение расстояния от источников шума до защищаемого объекта. Эффективным методом снижения шума в жилом секторе от автомагистралей является установление звукоизолирующих экранов вдоль транспортной магистрали. Малошумный дренажный асфальт в первые два года эксплуатации дает снижение шума от автомобилей до 5 дБА, а затем этот эффект исчезает, что связано с уменьшением числа дренажных пор в результате попадания воды, льда, различных частиц и т. п.

Таблица 4.4

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки (извлечения)

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука ДВА	Максимальные уровни звука L _{max} ДБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	с 7 до 23 ч.	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		с 23 до 7 ч.	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
2	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23 ч.	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		с 23 до 7 ч.	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
3	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч.	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
4	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч.	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
		с 23 до 7 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука $X_{д, \wedge}$, дБА	
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000			8000
i	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Примечания:

1. Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливаются при условии обеспечения нормативной вентилирующей помещений (для жилых помещений, палат, классов — при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон).

2. Эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта, в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать «а 10 дБА выше (поправка Д = +10 дБА), указанных в позициях 9 и 10 табл. 4.4.

3. Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и другим инженерно-технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБА ниже (поправка А - -5 дБА), указанных в табл. 4.4 (поправку для тонального и импульсного шума в этом случае принимать не следует).

4. Для тонального и импульсного шума следует принимать поправку — 5 дБА.

Защита от вибрации

На современном этапе развития техники и технологии все большую социальную и гигиеническую значимость приобретает борьба с вибрацией, неблагоприятно воздействующей на организм человека. Это вызвано тем, что улучшение технико-экономических показателей машин и технологического оборудования осуществляется за счет увеличения мощностей и рабочих скоростей при одновременном снижении их материалоемкости, что сопровождается нежелательным побочным эффектом — усилением вибрации.

Воздействие вибрации на организм человека приводит не только к преждевременному утомлению, снижению производительности труда, но и во многих случаях к развитию профессиональной и росту общей заболеваемости. В связи с этим важное значение имеет обеспечение вибробезопасных условий труда.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИИ

Вибрация — это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам. Вибрация аналогична шуму по физической природе.

Термином «вибрация» чаще всего пользуются там, где колебания имеют относительно малую амплитуду и не слишком низкую частоту. Например, едва ли можно применить термин «вибрация», говоря о колебаниях маятника или о раскачивании людей.

Вибрация представляет собой кинетическую энергию, передаваемую машине или человеку. Причинами ее возникновения являются неуравновешенные силовые воздействия, источниками которых служат:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки и др.);
- неуравновешенные вращающиеся массы (например, ручные электрические шлифовальные машины).

В отдельных случаях вибрации могут создаваться также ударами деталей (зубчатые зацепления, подшипниковые узлы).

Неуравновешенные силы появляются в результате дисбаланса, причиной которого может быть неоднородность материала вращающегося тела, несовпадение центра массы тела и оси вращения и др.

Основными понятиями теории вибрации являются:

- 1) вибратционные параметры: виброперемещение, виброскорость и виброускорение;
- 2) механический импеданс;
- 3) собственная частота.

Вибрации, встречающиеся в технике, как правило, имеют характер, близкий к гармоническому, а имеющие место в ряде случаев периодические процессы можно легко представить как наложение гармонических колебаний, т.е. колебаний, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону синуса (косинуса).

Для гармонических колебаний величина отклонения колеблющейся точки от положения равновесия (виброперемещение x) определяется по формуле:

$$x = x_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где X_j — амплитуда виброперемещения; φ — начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота; f — частота колебаний.

Виброскорость (v) и виброускорение (a) являются соответственно первой и второй производной по времени от виброперемещения, в связи с чем определяются из следующих соотношений:

$$v = \omega x_T \cos(\omega t + \varphi) = v_T \cos(\omega t + \varphi);$$

$$a = -\omega^2 x_T \sin(\omega t + \varphi) = -a_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где v_T , a_T — максимальные значения соответственно виброскорости и виброускорения колеблющейся точки.

Абсолютные значения параметров, характеризующих вибрацию, изменяются в очень широких пределах, поэтому в практике используется понятие уровня параметров. Уровни виброскорости (L_v) и виброускорения (L_a) определяются по формулам:

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{v}{v_0};$$

$$L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{a_0},$$

где v и a — соответственно средние квадратичные значения виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с²); $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ — опорное значение виброскорости, м/с; $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ — опорное значение виброускорения, м/с².

Средние квадратичные значения величины v или a — это значения, равные корню квадратному из усредненной за определенный промежуток T времени суммы квадратов мгновенных значений $v(t)$ или $a(t)$ (рис. 8.1).

$$a_{\text{скз}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

Для исследований вибраций весь диапазон частот (так же как и для шума) разбивается на октавные диапазоны.

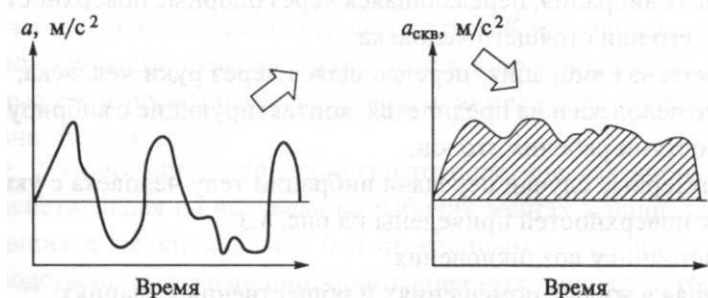


Рис. 8.1. Среднеквадратичное значение вибрации

Механический импеданс (Z) определяется как отношение вынуждающей силы (F), приложенной к системе, к результирующей колебательной скорости v в точке приложения силы

v

Собственная частота — это частота свободных колебаний системы, т.е. колебаний без переменного внешнего воздействия и поступления энергии.

Собственная частота колебаний системы (f_0), представленной на рис.

8.2, определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{где } K \text{ — жесткость пружины; } M \text{ — масса груза.}$$

При равенстве собственной частоты колебаний системы частоте вынужденных колебаний возникает явление резонанса, приводящее к резкому увеличению амплитуды колебаний.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИБРАЦИЙ

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» вибрация, воздействующая на человека, классифицируется следующим образом.

По способу передачи:

- общая вибрация, передающаяся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальная вибрация, передающаяся через руки человека, на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов.

Характерные случаи передачи вибрации телу человека с указанием опорных поверхностей приведены на рис. 8.3 По источнику возникновения:

- общая в жилых помещениях и общественных зданиях:
 - >■ от внешних источников (городского рельсового транспорта и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок);
 - >■ от внутренних источников (инженерно-технологического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, холодильники и т.д.); встроенных предприятий торговли и др.);
- общая на производстве:
 - >■ 1 категории — транспортная вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и доро-

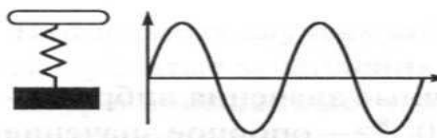


Рис. 8.2. Собственная частота колебаний

<p>Человек-оператор</p>	<p>Автомобили, строительные машины, сельскохозяйственные машины, поезда, самолеты, суда</p>	<p>Человек-оператор</p>	<p>Металлообрабатывающие машины, текстильные машины, виброплатформы, металлургические машины</p>
<p>Человек-оператор</p>	<p>Ручные машины</p>	<p>Пассажир</p>	<p>Транспортные средства</p>

Рис. 8.3. Характерные случаи передачи вибрации телу человека

гам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы с/х и промышленные, самоходные с/х и промышленные машины, автомобили грузовые, снегоочистители.

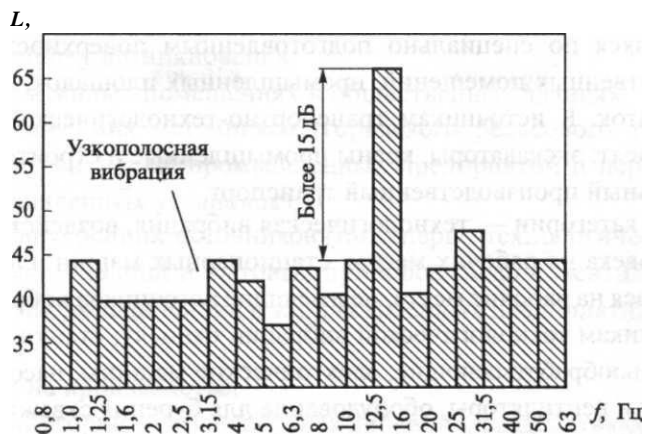


Рис. 8.4. Узкополосная вибрация

>- 2 категории — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы, краны промышленные и строительные, напольный производственный транспорт.

>• 3 категории — технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, электрические машины, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин и др.

Общая вибрация категории 3 по месту действия подразделяется на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) на рабочих местах в помещениях заводууправления, конструкторских бюро, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

• локальная на производстве:

>■ локальная вибрация, передающаяся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

>- локальная, передающаяся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей);

По характеру спектра (рис. 8.4-8.5):

• Узкополосная, у которой контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более, чем на 15 дБ превышают значения в соседних третьоктавных полосах (см. рис. 8.4.);

• Широкополосная — с непрерывным спектром более одной октавы. По направлению действия: в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат (x, y, z) (рис. 8.6 и 8.7).

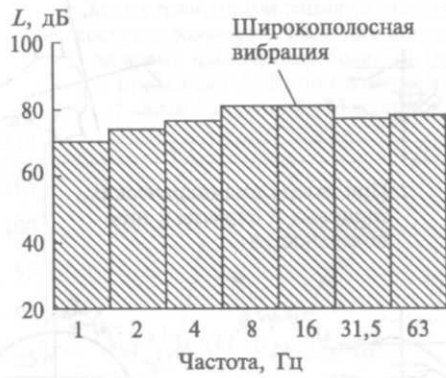


Рис. 8.5. Широкополосная вибрация

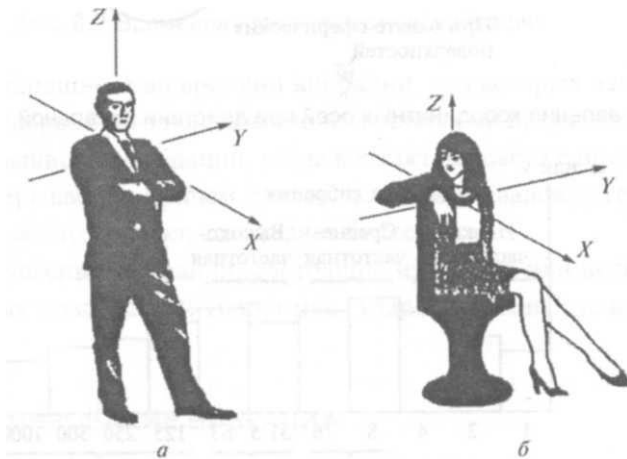


Рис. 8.6. Направление координатных осей при действии общей вибрации: *a* — положение стоя; *б* — положение сидя

По частотному составу (рис. 8.8):

- Низкочастотная (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1-4 Гц для общих вибраций, 8-16 Гц — для локальных вибраций).
- Среднечастотная (8-16 Гц — для общих вибраций, 31,5-63 Гц — для локальных вибраций).
- Высокочастотная (31,5-63 Гц — для общих вибраций, 125-1000 Гц — для локальных вибраций).

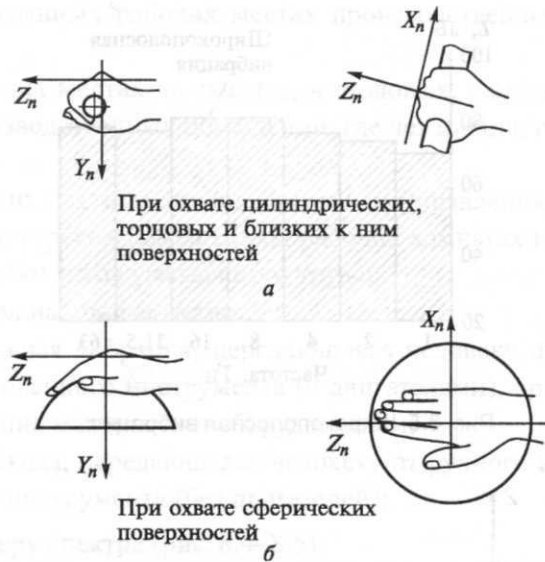


Рис. 8.7. Направление координатных осей при действии локальной вибрации



Рис. 8.8. Характеристика вибрации по частотному составу

По временным характеристикам (рис. 8.9):

- Постоянная вибрация, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем на 6 дБ за время наблюдения.
- Непостоянная — величина нормируемых параметров

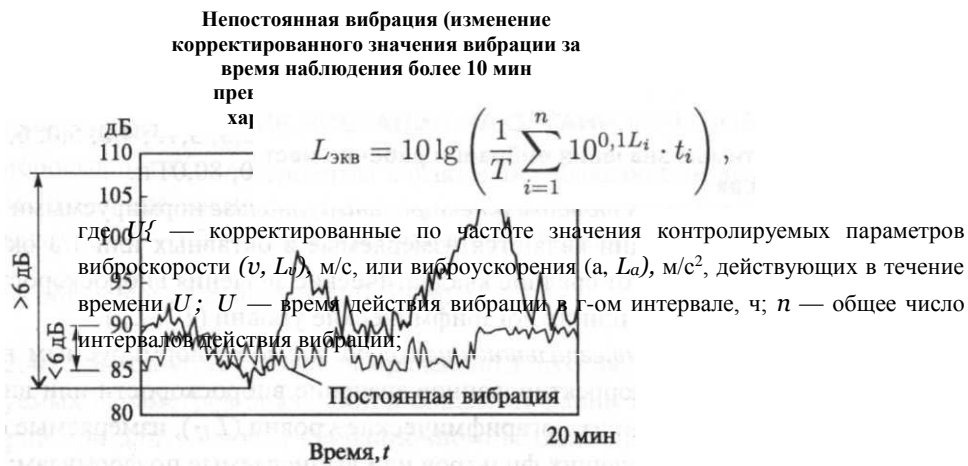


Рис. 8.9. Временная характеристика вибрации

- а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;
- б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с источником вибрации прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;
- в) импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ

Нормирование производственной вибрации осуществляется на основании СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации в соответствии с указанным нормативным документом может производиться тремя методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Локальная вибрация нормируется в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц; общая вибрация — в октавных или 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами вибрации являются измеряемые в октавных или 1/3 октавных полосах частот средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни (L_v, L_a).

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром является скорректированное значение виброскорости или виброускорения (U) или их логарифмические уровни (L_u), измеряемые с помощью корректирующих фильтров или вычисляемые по формулам:

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i K_i)^2};$$

$$L_U = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{U_i} + L_{K_i})},$$

где U_i, L_{U_i} — средние квадратические значения виброскорости или виброускорения или их логарифмические уровни в Γ -й частотной полосе; n — число октавных полос в нормируемом частотном диапазоне; L_{K_i} — весовые коэффициенты для Γ -й частотной полосы соответственно для абсолютных значений или их логарифмических уровней. Значения весовых коэффициентов приведены для локальной и общей вибраций с учетом направления действия (Z_o, X_o, Y_o) в СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

При интегральной оценке вибрации с учетом времени ее воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемым параметром является эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения ($C_{\text{ЭКВ}}$) или их логарифмический уровень ($X_{\text{ЭКВ}}$), измеренное или рассчитанное по формуле:

$$U_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 t_i}{T}};$$

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

общее время действия вибрации, ч.

В СН 2.2.4/2.1.8.566-96 установлены предельно допустимые величины нормируемых параметров локальной и общей вибрации 1, 2 и 3 (а, б, в) категорий при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч). В качестве примера в табл. 8.1 и 8.2 приведены предельно допустимые величины параметров локальной и технологической вибрации (категории 3а).

Т а б л и ц а 8.1

Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_L , Y_L , Z_L			
	Виброускорения		Виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Таблица 8.2

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 — «технологической а»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0 , Y_0 , Z_0							
	Виброускорения				Виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	в 1/3 октаве	в 1/1 октаве	в 1/3 октаве	в 1/1 октаве	в 1/3 октаве	в 1/1 октаве	в 1/3 октаве	в 1/1 октаве
1,6	0,089		99		0,89		105	
2,0	0,079	0,14	98	103	0,63	1,30	102	108
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	95	100	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,10	95	100	0,11	0,22	87	93
10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089		99		0,11		87	
16,0	0,110	0,20	101	106	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180		105		0,11		87	
31,5	0,220	0,40	107	112	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350		111		0,11		87	
63,0	0,450	0,79	113	118	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		115		0,11		87	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,10		100		0,20		92

ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Вибрационная патология в настоящее время стоит на втором месте среди профессиональных заболеваний.

Клиническая картина вибрационной болезни, обусловленная общей или локальной вибрацией, складывается из:

- нейрососудистых нарушений;
- поражений нервно-мышечной системы;
- опорно-двигательного аппарата;
- изменений обмена веществ.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вегетативная неустойчивость, нарушения зрительной функции, снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности и другие отклонения в состоянии здоровья.

Частота и особенности клинических проявлений заболеваний, вызванных воздействием вибрации, зависят главным образом от:

- спектрального состава вибрации;
- продолжительности воздействия;
- индивидуальных особенностей человека;
- направления вибрационного воздействия;
- места приложения;
- явлений резонанса;
- условий воздействия вибрации (факторов производственной среды, усугубляющих вредное воздействие вибрации на организм человека).

Выраженность воздействия вибрации определяется, прежде всего, частотным спектром и его распределением в пределах максимальных уровней энергии.

Так, воздействие низкочастотной общей вибрации приводит к поражению преимущественно нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата. Такая форма вибрационной патологии встречается, например, у формовщиков, бурильщиков и др. Средне- и высокочастотная вибрация вызывает, в первую очередь, различные по степени тяжести сосудистые и костно-суставные нарушения. Например, серьезные

сосудистые нарушения наблюдаются при работе со шлифовальными машинами, являющимися источниками высокочастотной вибрации.

Колебания высоких частот вызывают спазм сосудов. В некоторых случаях сосудистые нарушения при вибрационной болезни могут привести к постепенному развитию хронической недостаточности мозгового кровообращения.

Патология со стороны опорно-двигательного аппарата объясняется тем, что общая вибрация приводит к прямому микротравмирующему действию на позвоночник (особенно толчкообразная вибрация) вследствие нагрузок на межпозвоночные диски, которые ведут себя как фильтры низких частот.

Подобное воздействие приводит к развитию дегенеративно-дистрофических нарушений позвоночника (остеохондрозу).

Влияние общей вибрации на обменные процессы в организме человека проявляется в изменении углеводного обмена, биохимических показателей крови, характеризующих нарушения белкового, ферментативного, а также витаминного и холестерина обмена. Наблюдаются также нарушения окислительно-восстановительных процессов, изменения показателей азотистого обмена и др.

Низкочастотная вибрация ведет также к изменению морфологического состава крови: лейкоцитозу, эритроцитопении; к снижению уровня гемоглобина.

Воздействию локальной вибрации подвергаются главным образом люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью, что способствует развитию профессионального заболевания (например, синдрома, связанного с побелением пальцев рук). Кроме сосудистой патологии, возникают и невротические расстройства, а воздействие локальной вибрации на мышечные и костные ткани приводит к снижению кожной чувствительности, отложению солей в суставах пальцев, деформации и уменьшению подвижности суставов.

Между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Это объясняется явлением резонанса человеческого тела, отдельных органов, возникающем при

	Части тела	Резонансные частоты, Гц
1	Глаза	12–27
2	Горло	6–27
3	Грудная клетка	2–12
4	Ноги, руки	2–8
5	Голова	8–27
6	Лицо и челюсти	4–27
7	Поясничная часть позвоночника	4–14
8	Живот	4–12

Рис. 8.10. Резонансные частоты человека в положении сидя при вертикальных вибрациях



совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Резонансные колебания в органах человека могут возникнуть при повышении частоты колебаний более 0,7 Гц. Резонансные частоты человека в положении сидя при вертикальных вибрациях приведены на рис. 8.10.

Усугубляющими вредное воздействие вибрации являются факторы производственной среды, такие как чрезмерные мышечные и нервно-эмоциональные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия, шум высокой интенсивности. В частности, охлаждение рук приводит к усилению сосудистых реакций и, как следствие, к более интенсивному развитию вибрационной болезни. При совместном действии шума и вибрации наблюдается взаимное усиление эффекта в результате его суммации, а возможно и потенцирования. Сопутствующие факторы могут увеличить риск вибрационной болезни в 5... 10 раз.

Показатели заболеваемости вибрационной болезнью среди основных виброопасных профессий за последние годы и средние значения латентного (скрытого) периода представлены в табл. 8.3.

Влияние вибрации на производительность труда работников показано с помощью графиков зависимости границы снижения производительности труда от усталости от виброускорения, приведенных на рис. 8.11.

Таблица 8.3

Данные по заболеваемости вибрационной болезнью

Профессиональная группа	Коэффициент заболеваемости в виброопасных профессиях (на 1000 чел)	Латентный период (годы)
Обрубщик литья	5,4	10,8 ± 0,3
Наждачник	2,6	12,1 ± 0,7
Вальщик леса	4,0	14,4 ± 0,4
Заточник	3,9	14,7 ± 1,0
Слесарь механосборочных работ	0,3	16,8 ± 0,6
Горнорабочий очистного забоя	2,2	17,8 ± 0,5
Бурильщик	5,9	17,9 ± 0,8
Проходчик (телескопы)	23,4	17,9 ± 0,9

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ

Контроль за соответствием параметров вибрации требованиям действующих санитарных норм осуществляется на основании ГОСТ 12.1.012-90(96).

Согласно этому нормативному документу контроль вибрации осуществляется на производстве при аттестации рабочих мест и периодически: локальная вибрация должна контролироваться не реже двух раз в год, а также после периодического ремонта оборудования, общая — ежегодно. Оценка вибрации проводится также по требованию санитарных служб и технической инспекции профсоюзов.

Контроль нормируемых параметров вибрации должен производиться в реальных условиях производства при типовых условиях эксплуатации оборудования или

машин, при которых в соответствии с областью их применения на работающего воздействует максимальная вибрация.

Измерение вибрации проводится с использованием виброизмерительных приборов, состоящих из:

- вибропреобразователей (как правило, пьезокристаллических);
- виброметров;

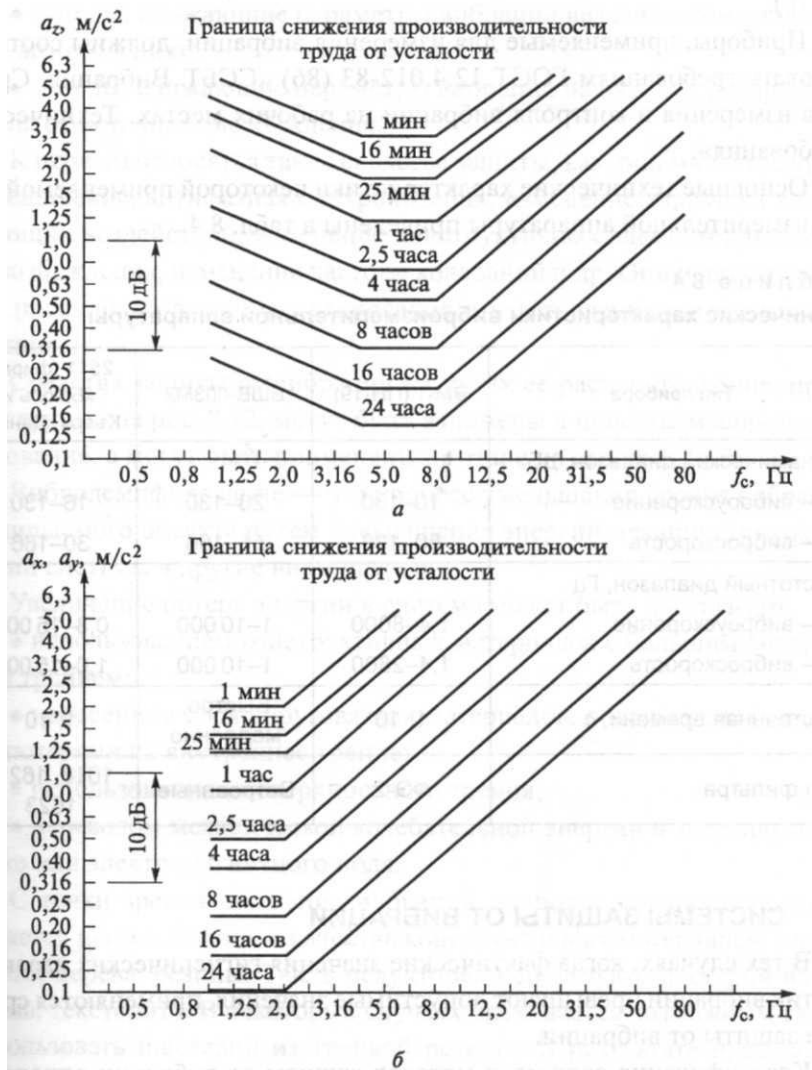


Рис. 8.11. Снижение производительности труда при воздействии вертикальной (а) и горизонтальной вибрации (б) на человека

- полосовых фильтров;
- вспомогательных приборов (самописцев уровня, магнитофонов и т. п.).

Приборы, применяемые для измерения вибрации, должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.012-83 (86) «ССБТ. Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования».

Основные технические характеристики некоторой применяемой виброизмерительной аппаратуры приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Технические характеристики виброизмерительной аппаратуры

Тип прибора	ВМ-1 (ПН-19)	ВШВ-003М2	2511 (фирма «Брюль и Кьер», Дания)
Динамический диапазон, дБ:			
— виборускорение	10–130	20–130	16–130
— виброскорость	50–136	55–166	30–166
Частотный диапазон, Гц			
— виброускорение	1,4–8000	1–10 000	0,3–15 000
— виброскорость	1,4–2800	1–10 000	1,0–15 000
Постоянная времени, с	1; 10	Быстро, медленно	1; 10
Тип фильтра	ФЭ-2	Встроенные	1618, 1621, 1623

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

В тех случаях, когда фактические значения гигиенических характеристик вибрации превышают допустимые значения, применяются средства защиты от вибрации.

Классификация средств и методов защиты от вибрации определена ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация».

Средства защиты от вибрации по организационному признаку делятся на коллективные и индивидуальные.

По отношению к источнику возбуждения вибрации методы коллективной защиты подразделяются на:

- методы, снижающие параметры вибрации воздействием на источник возбуждения;
- методы, снижающие параметры вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения.

К первым относятся такие средства защиты, как динамическое уравнивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий, изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний и др. Они используются, как правило, на этапе проектирования и изготовления источников вибрации.

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения, представленные на рис. 8.12, могут быть заложены в проекты машин и оборудования, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

Вибродемпфирование — это процесс уменьшения уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний системы в другие виды энергии.

Увеличение потерь энергии в системе может быть достигнуто:

- использованием конструктивных материалов с большим внутренним трением;

- нанесением слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение;
- использованием поверхностного трения;
- переводом механической колебательной энергии в энергию токов Фуко или электромагнитного поля.

С точки зрения снижения вибраций наиболее предпочтительным является использование в качестве конструктивных материалов: пластмассы, дерева, резины. Так, в редукторах используют шестерни из капрона, текстолита. В некоторых случаях оказывается возможным также использовать шестерни из твердой резины. В результате происходит снижение вибраций оснований и фундаментов машин, а, следовательно, снижается вибрация рабочих мест.

В настоящее время начат выпуск ручного механизированного инструмента в корпусах из полимерных материалов. Это в значительной мере ослабляет воздействие вибраций на руки работающих. На многих



Рис. 8.12. Классификация методов и средств защиты от вибрации

видах оборудования внедряется постановка в подшипниковые узлы вибродемпфирующих втулок, что значительно снижает уровень вибраций.

Кроме того, установка таких подшипниковых узлов значительно повышает срок их службы (иногда в 10 раз).

Использование в качестве конструкционных материалов пластмасс позволяет снизить уровень вибрации по виброскорости на 8-10 дБ.

В том случае, когда применение полимерных покрытий в качестве конструктивных не представляется возможным, для снижения вибраций используют вибродемпфирующие покрытия. Действие покрытий основано на ослаблении вибраций путем перевода колебательной энергии в тепловую при деформациях покрытий. Эффективное действие покрытий наблюдается на резонансных частотах элементов конструкций агрегатов и машин.

Действие жестких покрытий проявляется главным образом на низких и средних частотах, мягких — на высоких. В качестве жестких покрытий используются вязкоупругие материалы (твердые пластмассы, битуминизированный войлок, различные полимерные смеси). В качестве мягких — мягкие пластмассы, материалы типа резины, пенопла-сты, поливинилхлоридные пластики. Хорошо демпфируют колебания смазочные материалы. Например, консистентные смазки в подшипниковых узлах, а также масляные ванны в редукторах.

Под виброгашением понимают уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем введения в систему дополнительных реактивных импедансов, т.е. сопротивлений упругого или инерционного типа.

Чаще всего виброгашение реализуется путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты (рис. 8.13). Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала 0,1-0,2 мм, а для особо ответственных сооружений — 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту.

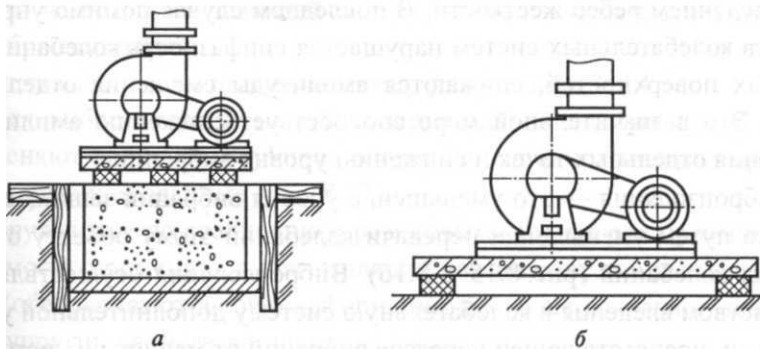
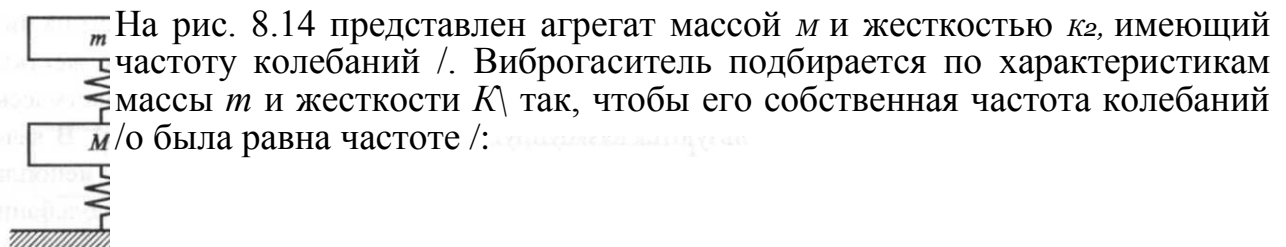


Рис. 8.13. Установка агрегатов на виброгасящем основании:
а — на фундаменте и грунте; б — на опорной плите

Кроме такого способа, изменение реактивного сопротивления системы может быть достигнуто путем установки виброгасителей. Динамические виброгасители представляют собой дополнительную колебательную систему.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_1}{m}}$$

Виброгаситель жестко крепится на вибрирующем агрегате, поэтому в ней в каждый момент времени возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями агрегата. Недостатком виброгасителя является то, что он действует только при определенной частоте, соответствующей его резонансному режиму

колебаний.

Виброгашение связано с ослаблением колебаний посредством присоединения к системе дополнительных реактивных импедансов. Поэтому оно может быть осуществлено также путем изменения упругих характеристик колебательной системы. Увеличение жесткости системы достигают соответствующим изменением конструкции и, в частности, введением ребер жесткости. В последнем случае помимо упругих свойств колебательных систем нарушается синфазность колебаний отдельных поверхностей, снижаются амплитуды смещения отдельных точек. Это в значительной мере способствует снижению амплитуды смещения отдельных точек и снижению уровня вибрации.

Виброизоляция — это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний этому объекту от источника колебаний (рис. 8.15 и 8.16). Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от машины — источника колебаний — к основанию или смежным элементам конструкции; эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека, либо на защищаемый агрегат.

Виброизоляция достигается путем установки агрегатов на специальные упругие устройства (опоры), обладающие малой жесткостью.

Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи, который имеет физический смысл отношения силы, действующей на основание при наличии упругой связи, к силе, действующей при

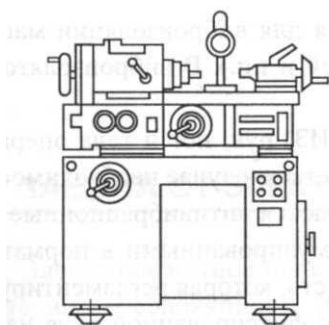


Рис. 8.15. Виброизоляция станка

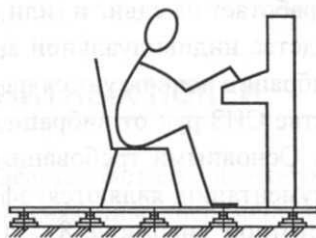


Рис. 8.16. Виброизоляция рабочего места

жесткой связи. Чем это отношение меньше, тем лучше виброизоляция. Хорошая виброизоляция достигается при КП = 1/8-1/15.

Коэффициент передачи может быть рассчитан по формуле:

$$\text{КП} = \frac{1}{(f/f_0)^2 - 1},$$

где f — частота возмущающей силы; f_0 — собственная частота системы на виброизоляторах.

Оптимальное соотношение между f и f_0 равно 3.. 4.

Для виброизоляции машин с вертикальной возмущающей силой применяют виброизолирующие опоры 3-х типов: резиновые, пружинные и комбинированные (рис. 8.17).

Пружинные по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ. Они могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот (обеспечивают любую деформацию), дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хоро

шо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что будучи спроектированы на низкую частоту, они пропускают более высокие.

Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы (электродвигателей и т.п.). В виброизоляторах резина работает на сдвиг и (или) сжатие.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) рук, ног и тела оператора от вибрации используются на производстве в случае необходимости. В качестве СИЗ рук от вибрации применяются антивибрационные рукавицы. Основными требованиями, сформулированными в нормативной документации, являются: эффективность, которая регламентируется в частотном диапазоне 8...2000Гц при фиксированной силе нажатия 50... 200 Н; максимальная толщина упругодемпфирующего материала 5... 10 мм. В зависимости от области применения средства защиты ног подразделяются на обувь, подметки и наколенники. В них используются специальные вибродемпфирующие материалы, которые ослабляют вибрацию в диапазоне частот 11... 90 Гц. Для защиты тела оператора используются нагрудники, пояса и специальные костюмы. Все виды защиты снижают вибрацию максимум на 10 дБ.

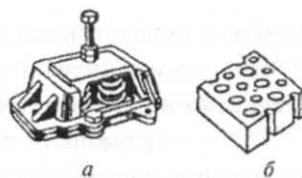


Рис. 8.17. Виброизолирующие опоры:
а — пружинные; б — резиновые

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Электромагнитное поле (ЭМП) представляет собой особую форму материи — совокупность двух взаимосвязанных переменных полей: электрического и магнитного и распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн (ЭМВ). Человек различает только видимый свет, который занимает лишь узкую полосу спектра ЭМВ. Глаз человека не различает ЭМП, длина волны которых больше или меньше длины световой волны, поэтому мы не видим излучений милицейского радара, передающей телевизионной башни, радиоантенны или линии электропередач. Все эти устройства, как и многие другие, использующие электрическую энергию, создают ЭМП, которые вместе с естественными полями Земли и Космоса создают сложную электромагнитную обстановку.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ

Классификация электромагнитных полей, принятая в гигиенической практике, приведена в табл. 9.1.

В табл. 9.2 приведено применение электромагнитных излучений в различных технологических процессах и отраслях.

Электромагнитный спектр включает в себя две основные зоны: ионизирующее и неионизирующее излучение, которые, в свою очередь, подразделяются на отдельные виды излучения (см. табл. 9.1).

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

К неионизирующим электромагнитным излучениям и полям относят ЭМИ радиочастотного и оптического диапазонов, а также условно статические

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

Т а б л и ц а 9.1
Классификация ЭМП

Название ЭМП	Название ЭМИ		Диапазон частот	Диапазон длин волн
Статические	—		0	—
Радиочастотные	Крайне низкие	КНЧ	3...30 Гц	100...10 Мм
	Сверхнизкие	СНЧ	30...300 Гц	10...1 Мм
	Инфранизкие	ИНЧ	0,3...3 кГц	1000...100 км
	Очень низкие	ОНЧ	3...30 кГц	100...10 км
	Низкие	НЧ	30...300 кГц	10...1 км
	Средние	СЧ	0,3...3 МГц	1...0,1 км
	Высокие	ВЧ	3...30 МГц	100...10 м
	Очень высокие	ОВЧ	30...300 МГц	10...1 м
	Ультравысокие	УВЧ	0,3...3 ГГц	1...0,1 м
	Сверхвысокие	СВЧ	3...30 ГГц	10...1 см
	Крайне высокие	КВЧ	30...300 ГГц	10...1 мм
	Гипервысокие	ГВЧ	0,3...3 ТГц	1...0,1 мм
Оптические	Инфракрасные		3...3,75 × 10 ² ТГц	100...0,8 мкм
	Видимые		3,75 · 10 ² ... 7,5 · 10 ² ТГц	0,8...0,4 мкм
	Ультрафиолетовые		7,5 · 10 ² ТГц ... 3 · 10 ² ПГц	400...1 нм
Ионизирующие	Рентгеновское излучение		3 · 10 ² ... 5 · 10 ⁴ ПГц	1000...6 пм
	Гамма-излучение		> 5 · 10 ⁴ ПГц	< ...6 пм

В данной главе рассматриваются электромагнитные поля и излучения радиочастотного диапазона, статические электрические и постоянные магнитные поля.

Физические причины существования ЭМП связаны с тем, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает магнитное поле, а изменяющееся магнитное — вихревое электрическое: обе компоненты — напряженность электрического поля E и напряженность магнитного поля H непрерывно изменяясь, возбуждают друг друга. Этот феномен был описан в 1865 г. Дж. К. Максвеллом в четырех уравнениях, которые известны как уравнения Максвелла.

Т а б л и ц а 9.2

Применение электромагнитных излучений

Частотно-волновая характеристика		Применение: технологический процесс, установка, отрасль
Частоты	Длины волн	
> 0 до 300 Гц	Свыше 1000 км	Электроприборы, в том числе бытового назначения, высоковольтные линии электропередачи, трансформаторные подстанции, радиосвязь, научные исследования, специальная связь
0,3...3 кГц	1000...100 км	Радиосвязь, электропечи, индукционный нагрев металла, физиотерапия
3...30 кГц	100...10 км	Сверхдлинноволновая радиосвязь, индукционный нагрев металла (закалка, плавка, пайка), физиотерапия, УЗ-установки, видеодисплейные терминалы (ВДТ)
30...300 кГц	10...1 км	Радионавигация, связь с морскими и воздушными судами, длинноволновая радиосвязь, индукционный нагрев металлов, электрокоррозионная обработка, ВДТ, УЗ-установки
0,3...3 МГц	1...0,1 км	Радиосвязь и радиовещание, радионавигация, индукционный и диэлектрический нагрев материалов, медицина
3...30 МГц	100...10 м	Радиосвязь и радиовещание, международная связь, диэлектрический нагрев, медицина, установки ЯМР, нагрев плазмы
30...300 МГц	10...1 м	Радиосвязь, телевидение, медицина (физиотерапия, онкология), диэлектрический нагрев материалов, установки ЯМР, нагрев плазмы
0,3...3 ГГц	100...10 см	Радиолокация, радионавигация, радиотелефонная связь, телевидение, микроволновые печи, физиотерапия, нагрев и диагностика плазмы
3...30 ГГц	10...1 см	Радиолокация, спутниковая связь, метеолокация, радиорелейная связь, нагрев и диагностика плазмы, радиоспектроскопия
330...300 ГГц	10...1 мм	Радары, спутниковая связь, радиометеорология, медицина (физиотерапия, онкология)

Переменное электромагнитное поле распространяется в виде электромагнитных волн. *Электромагнитные волны* представляют собой взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, составляющих единое электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью. Термин «излучение» означает энергию, переданную волнами.

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

Частота f определяется как количество полных изменений электрического или магнитного поля за секунду и выражается в герцах (Гц). Длина волны λ — это

расстояние между двумя последовательными гребнями или впадинами волны (максимумами или минимумами).

Скорость электромагнитной волны в свободном пространстве равна скорости света, а скорость в материалах и различных средах зависит от электрических характеристик материала и среды, то есть, от диэлектрической проницаемости ϵ и магнитной проницаемости μ , характеризующих соответственно взаимодействие материала с электрическим и магнитным полями.

Биологические субстанции имеют диэлектрическую проницаемость, существенно отличающуюся от этого показателя для свободного пространства (воздуха) и зависящую от длины волны (особенно в диапазоне радиочастот) и типа ткани. Магнитная проницаемость биологических субстанций эквивалентна проницаемости свободного пространства.

Длина волны и частота колебаний связаны соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r \mu_r}},$$

где c — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме (воздухе), $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость среды, для воздуха равна 1; μ_r — относительная магнитная проницаемость среды, для воздуха равна 1.

Распространение электромагнитной волны в свободном пространстве проиллюстрировано на рис. 9.1.

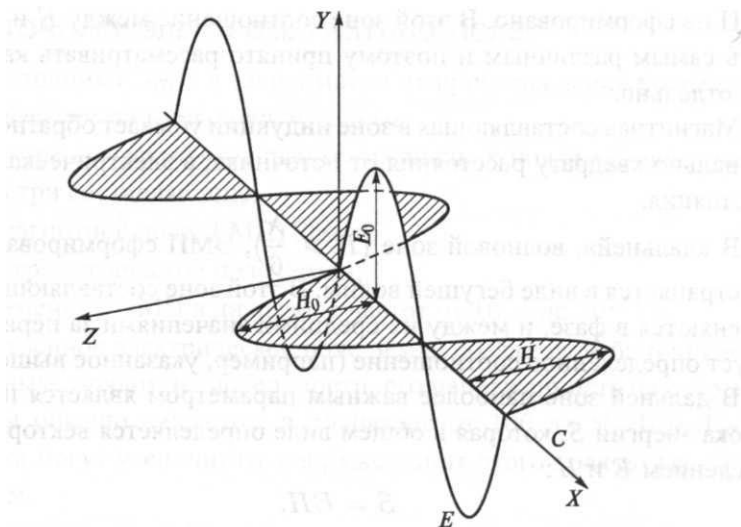


Рис. 9.1. Плоская электромагнитная волна, распространяющаяся со скоростью света в направлении «X»

В электромагнитной волне векторы напряженности электрического E и магнитного H полей всегда колеблются в одинаковых фазах, перпендикулярны друг другу и направлению распространения.

Значения E и H в любой точке связаны соотношением:

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H,$$

где ε_0 и μ_0 — соответственно электрическая и магнитная постоянные, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; ε и μ — соответственно электрическая и магнитная проницаемости среды.

В вакууме и воздухе между E и H существует соотношение:

$$E = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \cdot H = 377 \cdot H.$$

$$R \leq \frac{\lambda}{2\pi} \approx \frac{\lambda}{6}$$

Важной особенностью ЭМИ является деление его на «ближнюю» и «дальнюю» зоны.

В «ближней» зоне, или зоне индукции, находящейся на расстоянии от источника излучения (точечного, т.е. источника, геометрические размеры которого много меньше длины волны излучения)

ЭМП не сформировано. В этой зоне соотношение между E и H может быть самым различным и поэтому принято рассматривать каждую из них отдельно.

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

В «дальней», волновой зоне, ЭМП сформировано и распространяется в виде бегущей волны. В этой зоне составляющие E и H изменяются в фазе, и между их средними значениями за период существует определенное соотношение (например, указанное выше).

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

На практике, как правило, при частотах ниже 300 МГц оцениваются напряженность электрического поля (E , В/м) и напряженность магнитного поля (H , А/м). И то, и другое поле является векторным, то есть характеризуется величиной и направлением в каждой точке. Для низкочастотного спектра магнитное поле часто выражается в терминах магнитной индукции B , единица измерения — тесла (Тл). Когда речь идет о полях в повседневном окружении, то удобно использовать более мелкую единицу — микротесла (мкТл). Перевод А/м в теслы (для полей в воздухе) осуществляется по формуле:

$$1 \text{ [А/м]} \approx 1,25 \text{ [мкТл]}.$$

При частотах выше 300 МГц оценивается плотность потока энергии s (Вт/м²).

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

Постоянные магнитные поля создаются постоянными магнитами, электромагнитами, системами постоянного тока. Основными физическими

параметрами, характеризующими ПМП, являются: напряженность H (А/м) и магнитная индукция B (Тл).

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

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

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

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

Естественное электрическое поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности, его напряженность на открытой местности обычно находится в диапазоне от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличивать напряженность этого поля до десятков -сотен кВ/м.

Геомагнитное поле Земли состоит из основного постоянного поля (его вклад 99%) и переменного поля (1%). Существование постоянного магнитного поля объясняется процессами, протекающими в жидком металлическом ядре Земли. В средних широтах его напряженность составляет примерно 40 А/м, у полюсов 55,7 А/м.

Переменное геомагнитное поле порождается токами в магнитосфере и ионосфере. Например, сильные возмущения магнитосферы могут быть вызваны магнитными бурями, многократно увеличивающими амплитуду переменной составляющей геомагнитного поля. Магнитные бури являются результатом проникновения в атмосферу летящих от Солнца со скоростью 1000... 3000 км/с заряженных частиц, так называемого солнечного ветра, интенсивность которого обусловлена солнечной активностью (солнечными вспышками и др.).

Свой вклад в формирование естественного электромагнитного фона Земли вносит грозовая активность (0,1... 15 кГц). Электромагнитные колебания на частотах 4... 30 Гц существуют практически всегда. Можно предположить, что они могут служить синхронизаторами некоторых биологических процессов, поскольку являются резонансными частотами для ряда из них.

В спектр солнечного и галактического излучения, достигающего Земли, входят ЭМИ всего радиочастотного диапазона, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, видимый свет, ионизирующие излучения.

Человеческий организм излучает ЭМП с частотой выше 300 ГГц с плотностью потока энергии $0,003$ Вт/м². Если общая площадь поверхности среднего человеческого тела $1,8$ м², то общая излучаемая энергия приблизительно $0,0054$ Вт.

В настоящее время впервые в мире российскими учеными выполнена разработка гигиенических рекомендаций, регламентирующих воздействие на человека ослабленных геомагнитных полей. Поводом для подобных исследований послужили жалобы на ухудшение самочувствия и состояния здоровья лиц, работающих в специализированных экранированных сооружениях, в силу своих конструктивных

особенностей препятствующих проникновению внутрь них ЭМИ естественного происхождения.

Ослабленные естественные ГМП могут создаваться также в подземных сооружениях метрополитена (уровни естественных ГМП снижены в 2...5 раз), в жилых зданиях, выполненных из железобетонных конструкций (в 1,5 раза), в салонах легковых автомобилей (в 1,5... 3 раза), а также в самолетах, банковских хранилищах и т.д.

При нахождении человека в условиях дефицита естественных ЭМП возникает ряд функциональных изменений в ведущих системах организма: возникает дисбаланс основных нервных процессов в виде преобладания торможения, дистонии мозговых сосудов, развиваются изменения со стороны сердечно-сосудистой и иммунной систем и др.

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

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

К первой группе относятся, в первую очередь, все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередач — трансформаторные подстанции, электростанции, системы электропроводки, различные кабельные системы); офисная электро- и электронная техника, транспорт на электроприводе: железнодорожный транспорт и его инфраструктура, городской — метро, троллейбусный, трамвайный.

Протяженность ЛЭП в нашей стране составляет более 4,5 млн км. Источником излучения энергии в окружающее пространство являются провода ЛЭП. Несмотря на то, что электромагнитная энергия поля промышленной частоты (50 Гц) в значительной мере поглощается почвой, напряженность поля под проводами и вблизи них может быть значительной и зависит от класса напряжения ЛЭП, нагрузки, высоты подвески, расстояния между проводами, растительного покрова, рельефа под линией.

Источниками ЭМП в диапазоне 3 кГц... 300 ГГц являются передающие радиочастоты, радиостанции НЧ, СЧ, КВЧ диапазонов, радиостанции FM (87,5... 10⁸ МГц), мобильные телефоны, радиолокационные станции (метеорологические, аэропортов), установки СВЧ-нагрева, ВДТ и персональные компьютеры и др.

Воздействию высоких уровней ЭМИ, создаваемых, например, передающими радиочастотами (ПРЦ) во многих случаях подвергаются не только служащие ПРЦ, но и люди, находящиеся в прилегающих домах. ПРЦ включают в себя одно или несколько технических зданий, в которых находятся радиопередатчики и антенные поля, на которых располагаются до нескольких десятков антенно-фидерных систем. Размещение ПРЦ может быть различным, например, в Москве характерно размещение в непосредственной близости или среди жилой застройки (например, Октябрьский ПРЦ).

Радиолокационные станции имеют высокую мощность и оснащены, как правило, остронаправленными антеннами кругового обзора, что приводит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает на местности зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии. Наиболее неблагоприятные условия отмечаются в жилых районах городов, в черте которых размещаются аэропорты — Иркутск, Сочи, Ростов-на-Дону и др.

В настоящее время в России несколько миллионов человек пользуются сотовой связью. Сотовая связь состоит из сети базовых станций и ручных персональных радиотелефонов. Базовые станции расположены на расстоянии от 1 до 15 км друг от

друга, образуя между собой так называемые «соты» посредством радиорелейной связи. Они обеспечивают связь с персональными радиотелефонами на частотах 450, 800, 900 и 1800 МГц. Мощность передатчиков находится в диапазоне от 2,5 до 320 Вт (как правило, 40 Вт).

Антенны базовых станций располагаются на высоте 15-50 м от поверхности Земли, в основном, на крышах зданий. При их расположении на крышах общественных, административных или жилых зданий осуществляется контроль электромагнитной обстановки, однако они не рассматриваются как потенциальные источники опасности, поскольку излучение боковых лепестков базовых антенн имеет небольшое значение.

Ручные радиотелефоны сотовой связи имеют мощность 0,2...7Вт. Выходная мощность коррелируется с частотой: чем выше частота, тем меньше выходная мощность.

Для уменьшения последствий рекомендуется не прижимать телефон к уху, или прикладывать его во время разговора то к одному, то к другому уху и непрерывно говорить не более 2... 3 минут. Некоторые ученые предлагают изменить конструкцию радиотелефона так, чтобы антенна была направлена вниз относительно уха, а еще лучше в сторону от говорящего.

Источниками ЭМП в широком диапазоне частот являются *ВДТ и персональные компьютеры*. На рабочих местах пользователей компьютеров с мониторами на базе электронно-лучевых трубок фиксируются достаточно высокие уровни ЭМП, что говорит об опасности их биологического действия, а распределение полей сложно и неодинаково на различных рабочих местах. Спектральная характеристика поля на рабочем месте пользователя компьютера и типичная карта электромагнитной обстановки приведены на рис. 9.2-9.4.

В промышленности высокочастотные ЭМИ используются для индукционного и диэлектрического нагрева материалов (закалка, плавка, напыление металлов, нагрев пластмасс, склейка пластиков, термообработка пищевых продуктов и др.).

Например, вблизи промышленных генераторов для высокочастотной закалки металлов, сушки древесины и т.п. напряженность электрического поля на рабочих местах может достигать нескольких сот вплоть до тысячи В/м, а напряженность магнитного поля — десятков А/м.

Источниками постоянных магнитных полей на рабочих местах являются: электромагниты и соленоиды постоянного тока, импульс-

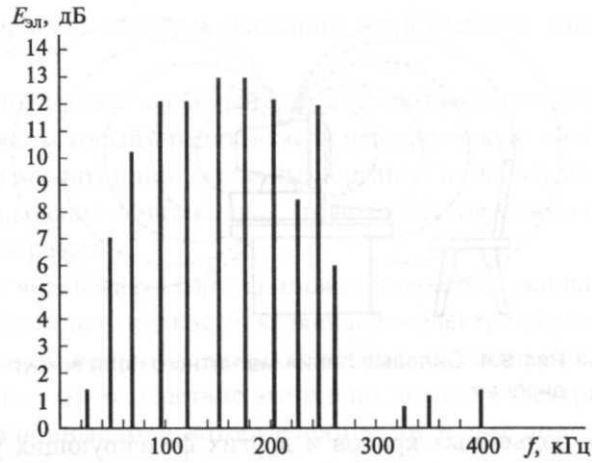


Рис. 9.2. Спектральная характеристика переменного электрического поля на рабочем месте пользователя. Монитор СМ-102, Тайвань

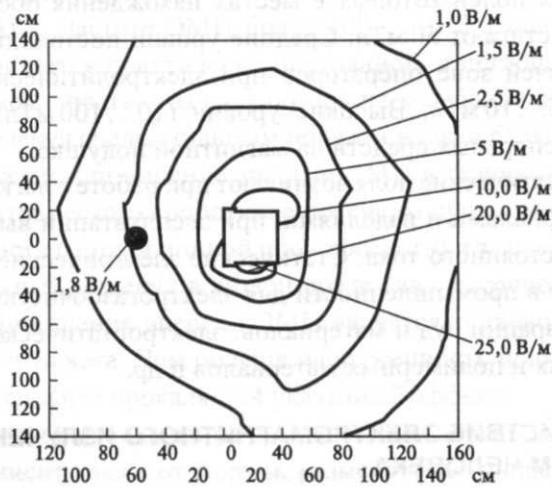


Рис. 9.3. Пример распределения переменного электрического поля на рабочем месте пользователя

ные установки полупериодного и конденсаторного типа, магнитопроводы в электрических машинах и аппаратах, литые и металлокерамические магниты, используемые в радиотехнике. Постоянные магниты и электромагниты широко используются в приборостроении, в магнит

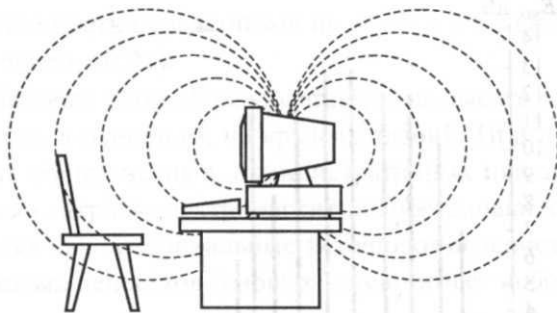


Рис. 9.4. Силовые линии магнитного поля вокруг дисплея

ных шайбах подъемных кранов и других фиксирующих устройствах, в устройствах для магнитной обработки воды, установках ядерного магнитного резонанса и др. Мощными источниками постоянного магнитного поля являются магнитогидродинамические генераторы, уровни магнитных полей которых в местах нахождения обслуживающего персонала достигают 50 мТл. Средние уровни постоянных магнитных полей в рабочей зоне операторов при электролитических процессах составляют 5...10 мТл. Высокие уровни (10... 100 мТл) создаются в салонах транспортных средств на магнитной подушке.

Электростатические поля возникают при работе с легко электризующимися материалами и изделиями, при эксплуатации высоковольтных установок постоянного тока. Статические электрические поля широко используются в промышленности для электрогазоочистки, электростатической сепарации руд и материалов, электростатического нанесения лакокрасочных и полимерных материалов и др.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

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

- размер, форма, анатомическое строение тела;
- электрические и магнитные свойства тканей (электрическая и магнитная проводимость и проницаемость);

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

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

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

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает общее тепловыделение организма. Избыточная теплота отводится до определенного предела путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции. При интенсивности ЭМИ более 10 мВт/см², называемой тепловым порогом, организм не справляется с отводом образующейся теплоты, и температура тела повышается.

Наиболее чувствительны к облучению органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией (мозг, глаза, почки и др.). Перегревание тканей и органов ведет к их заболеваниям, а повышение температуры тела на 1°C и выше может привести к необратимым изменениям.

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

Воздействие ЭМИ приводит к различным морфологическим и функциональным изменениям в организме человека. При кратковременном воздействии ЭМИ незначительной интенсивности эти изменения, как правило, являются обратимыми,

однако при больших интенсивностях облучения или при систематическом облучении с малыми, но превышающими ПДУ интенсивностями — наоборот

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

В последнее время опубликован ряд работ о возможности развития под влиянием ЭМП аутоиммунитета, являющегося серьезной патологией иммунной системы. Аутоиммунитет основан на том, что в организме образуются антитела, направленные против собственных тканей, клеток и их составных частей, обладающие повреждающим действием.

Существуют также данные о связи ЭМИ с онкологической заболеваемостью, причем это касается как микроволнового, так и сверхдлинного диапазонов. Например, установлена более высокая частота онкологических заболеваний у военнослужащих, обслуживающих радары. Считается, что одной из причин возникновения лейкозий у детей также являются ЭМИ.

Субъективные критерии отрицательного воздействия ЭМП — головные боли, повышенная утомляемость, раздражительность, нарушения сна, одышка, ухудшение зрения, повышение температуры тела.

НОРМИРОВАНИЕ ЭМП

Для предупреждения заболеваний, связанных с систематическим воздействием ЭМП, СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» устанавливают предельно допустимые уровни ЭМП, а также требования к проведению контроля уровней ЭМП на рабочих местах, методам и средствам защиты работающих.

Нормирование геомагнитного поля

Временные допустимые уровни ослабления геомагнитного поля (ГМП) предусматривают оценку его интенсивности внутри помещения и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту его расположения, с последующим расчетом коэффициента ослабления ГМП.

Интенсивность ГМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля (Н) в А/м или в единицах магнитной индукции (В) в Тл.

Коэффициент ослабления интенсивности ГМП равен отношению интенсивности ГМП открытого пространства (H_0 или H_o) к его интенсивности внутри помещения (H , или H_B):

$$K = |H_0| : |H_B|,$$

где $|H_0|$ — модуль вектора напряженности магнитного поля в открытом пространстве; $|H_B|$ — модуль вектора напряженности магнитного поля на рабочем месте в помещении.

Временный допустимый коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля на рабочих местах персонала в помещениях в течение смены не должен превышать 2.

Нормирование электростатических полей

Нормирование электростатических полей (ЭСП) осуществляется на основании СанПиН 2.2.4.1191-03 и ГОСТ 12.1.045-84 (2001) «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Предельно допустимая величина напряженности ЭСП на рабочих местах устанавливается в зависимости от времени воздействия в течение рабочего дня. Напряженность электростатического поля на рабочих местах обслуживающего персонала не должна превышать следующих величин:

- при воздействии до 1 часа — 60 кВ/м;
- при воздействии свыше 1 часа за смену величина $E_{\text{факт}}$ определяется по формуле:

где t — время воздействия (ч).

В диапазоне напряженностей 20... 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты ($t_{\text{доп}}$) определяется по формуле:

где $E_{\text{факт}}$ — измеренное значение напряженности ЭСП (кВ/м). 228

При напряженностях ЭСП, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается.

При напряженностях ЭСП менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

Нормирование постоянных магнитных полей

Оценка и нормирование ПМП осуществляется по уровню магнитного поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия. Уровень ПМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля (Н) в А/м или в единицах магнитной индукции (В) в мТл. ПДУ напряженности ПМП за 8-часовой рабочий день не должен превышать 8 кА/м при общем воздействии и 12 кА/м при локальном.

Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты (ЭМП ПЧ)

Промышленная частота токов в нашей стране составляет 50 Гц. Поскольку соответствующая частоте 50 Гц длина волны равна 6000 км, человек подвергается воздействию ЭМП в ближней зоне. В связи с этим гигиеническая оценка ЭМП ПЧ осуществляется отдельно по электрическому и магнитному полям.

Нормируемым параметром электрического поля является напряженность электрического поля (E) в кВ/м, магнитного поля — напряженность магнитного поля (Н) в А/м или индукция магнитного поля (B) в мкТл. В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002-99 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» и СанПиН 2.2.4.1191-03 ПДУ ЭП ПЧ для полного рабочего дня составляет 5 кВ/м, а максимальный ПДУ для воздействия не более 10 мин — 25кВ/м. В интервале

Таблица 9.4

ПДУ энергетических экспозиций за рабочий день

Параметр	ЭЭ _{ПДУ} в диапазонах частот (МГц)			
	0,03...3	3,0...30	30,0...300	300...300 000
ЭЭ _Е , (В/м) ² ч	20 000	7000	800	—
ЭЭ _Н , (А/м) ² ч	200	Не разработаны	Не разработаны	—
ЭЭ _{ПДУ} , (мкВт/см ²)ч	—	—	—	200

интенсивностей 5...20кВ/м допустимое время пребывания (ч) определяется по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2$$

Допустимое время пребывания в электрическом поле может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность электрического поля E не должна превышать 5 кВ/м.

Предельно допустимые уровни напряженности периодических (синусоидальных) магнитных полей в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего и локального (на конечности) воздействия приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Предельно допустимые уровни МП ПЧ

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

Нормирование ЭМП радиочастот (РЧ)

Основными нормативными документами, регламентирующими допустимые уровни воздействия ЭМП РЧ, в настоящее время являются:

- ГОСТ 12.1.006-99 «ССБТ. ЭМП радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
- СанПиН 2.2.472.1.8.055-96 «ЭМИ радиочастотного диапазона»;
- СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

В диапазоне частот 10... 30 кГц основными нормируемыми параметрами являются напряженность электрического (E) и магнитного (H) полей, временной фактор учитывается в меньшей степени. ПДУ воздействия ЭМП соответственно составляют: 500 В/м и 50 А/м для полного рабочего дня и 1000 В/м и 100 А/м — для воздействия до 2-х часов за рабочий день.

В диапазоне частот свыше 30 кГц используется энергетический подход. Наряду с параметрами E , H , ППЭ (плотность потока энергии) нормируется энергетическая экспозиция за рабочий день (табл. 9.4). Энергетическая экспозиция выражается в диапазоне частот до 300 МГц произведением квадрата E или H на время воздействия на организм; в диапазоне частот выше 300 МГц — произведением ППЭ излучения на время воздействия:

$$\mathcal{E}E = E^2 T, \text{ (В/м)}^2 \text{ч};$$

$$\mathcal{E}H = H^2 T, \text{ (А/м)}^2 \text{ч};$$

$$\mathcal{E}PPЭ = PPЭ T, \text{ (Вт/м)}^2 \text{ч}.$$

Предельно допустимые уровни интенсивности ЭМИ РЧ (.Еццу, #пду, ППЭццу) в диапазоне частот 30кГц-300ГГц определяются в зависимости от времени воздействия T , исходя из предельно допустимой энергетической экспозиции — ЭЭццу:

$$E_{пду} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}E_{пду}}{T}};$$

$$H_{пду} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{пду}}{T}};$$

$$PPЭ_{пду} = \frac{\mathcal{E}PPЭ_{пду}}{T}.$$

Таблица 9.6

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц... 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц... 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц... 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц... 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

При этом в любом случае они не должны превышать значений, установленных в качестве максимально допустимых (табл. 9.5).

Таблица 9.5

Максимально допустимые уровни напряженности и плотности потока энергий электромагнитных полей

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)			
	0,03... 3	3,0... 30	30,0... 300	300... 300 000
E , (В/м)	500	300	80	—
H , (А/м)	50	Не разработаны	Не разработаны	—
ППЭ, мкВт/см ²	—	—	—	1000 5000*

*Для условий локального облучения кистей рук

Нормирование ЭМП, создаваемых ВДТ, ПЭВМ и системами сотовой связи

Особенности спектральной характеристики излучений ВДТ, ПЭВМ (представлен достаточно широкий спектр частот) и условия использования радиотелефонов с максимальным приближением к голове пользователя вызвали необходимость разработки для них отдельных гигиенических регламентов.

В соответствии с требованиями ГН 2.1.8/2.2.4.019-94 «Временные допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи» для пользователей телефонами сотовой связи ПДУ ЭМИ составляет 100 мкВт/см² (1 Вт/м²).

ПДУ ЭМП, создаваемых ПЭВМ установлены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (табл. 9.6).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЭМП

Основные требования к проведению контроля уровней ЭМИ РЧ установлены в СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «ЭМИ радиочастотного диапазона». Гигиеническая оценка

облучаемости лиц, подвергающихся воздействию ЭМИ РЧ, проводится на основании определения двух параметров:

- интенсивности ЭМИ;
- времени воздействия ЭМИ.

Интенсивность ЭМИ определяется путем измерения напряженности электрического и магнитного полей в диапазоне частот ниже 300 МГц и плотности потока энергии ЭМИ в диапазоне частот выше 300 МГц.

Время воздействия излучения определяется на основании документов, регламентирующих профессиональные обязанности работников: технологических журналов и карт, а в случае необходимости — с помощью специальных хронометражных исследований.

Контроль уровней ЭМИ на рабочих местах производится не реже одного раза в год, а также при вводе в действие новых установок, при внесении изменений в конструкцию и режим работы действующих установок, после проведения ремонтных работ, при внесении изменений в средства защиты от ЭМИ, при организации новых рабочих мест.

Измерения уровней ЭМИ проводятся для всех рабочих режимов установки при максимальной используемой мощности. Измерения выполняются на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала на расстояниях от источников ЭМП, соответствующих нахождению тела работающих, на нескольких уровнях от поверхности пола или земли с определением максимального значения напряженности или плотности потока энергии для каждого рабочего места.

Контроль уровней ЭМИ необходимо проводить приборами, прошедшими государственную поверку и занесенными в государственный реестр средств измерения.

Для измерения уровней ЭМИ в диапазоне частот до 300 МГц используются приборы, предназначенные для измерения среднеквадратического значения напряженности электрического и магнитного полей, а для измерений в диапазоне частот выше 300 МГц — средних значений плотности потока энергии. Краткие сведения о некоторых наиболее распространенных приборах представлены в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Средства измерения электромагнитных полей радиочастот

Наименование прибора	Измеряемый диапазон частот	Пределы измерений	Погрешность
Измеритель напряженности ближнего поля NFM-1	ЭП: 0,06...300 МГц МП: 0,1...10 МГц	ЭП: 2...1500 В/м МП: 1...10 А/м	±20%
Измеритель напряженности поля ПЗ-16 (ПЗ-15; ПЗ-17)	ЭП: 0,01...300 МГц МП: 0,01...30 МГц	ПЗ-16 ЭП: 1...1000 В/м МП: 0,5...16 А/м ПЗ-15, ПЗ-17 ЭП: 1...3000 В/м МП: 0,5...500 А/м	±3 дБ
Измеритель плотности потока энергии ПЗ-9	0,3...37,5 ГГц	0,3...8600 мкВт/см ²	±40%
Измеритель плотности потока энергии ПЗ-18	0,3...39,65 ГГц	(0,5...5) мкВт/см ² — (5...10) мкВт/см ²	±2 дБ

По конструктивному исполнению различают приборы двух типов:

- приборы направленного действия (с антеннами, требующими учета поляризации поля);
- приборы с изотропными датчиками, не требующими учета направления поля.

При использовании приборов первого типа (NFM-1, ПЗ-9) антенну в точке измерения поворачивают до получения максимального отсчета по шкале. Для измерения напряженности электрического поля используют датчик в виде антенны — диполя. Переменное магнитное поле измеряется с помощью замкнутой рамки, состоящей из ряда витков тонкого провода. Под действием переменного магнитного поля в рамке по закону электромагнитной индукции наводится электродвижущая сила, значение которой фиксируется измерительным устройством.

Приборы направленного действия не пригодны для оценки сложных полей, в том числе создаваемых несколькими источниками. Средства измерения ЭМИ с изотропными датчиками (ПЗ-15; ПЗ-16; ПЗ-17; ПЗ-18) лишены этого недостатка и могут применяться для оценки дальних и ближних полей, в том числе создаваемых несколькими источниками.

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМП

При несоответствии требованиям норм интенсивности ЭМП на рабочих местах в зависимости от диапазона частот, характера выполняемых работ, уровня облучения применяются различные системы защиты, которые можно разделить на две группы: пассивные и активные.

К пассивным системам защиты от ЭМИ относятся:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- рациональное размещение установок в рабочем помещении;
- выделение зон излучения;
- применение средств предупреждающей сигнализации (световая, звуковая);

- установление рациональных режимов эксплуатации установок и работы обслуживающего персонала.

К активным системам защиты от ЭМИ относятся:

- уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике излучения;

- экранирование источника излучения;
- экранирование рабочего места;
- применение средств индивидуальной защиты.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в рабочей зоне и применяется обычно в тех случаях, когда нет возможности снизить интенсивность облучения до допустимых значений другими способами. Допустимое время пребывания в поле зависит от интенсивности облучения, что заложено непосредственно в санитарных нормах.

Защита расстоянием применяется, когда невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае увеличивают расстояние между источником излучения и обслуживающим персоналом. Этот метод защиты основан на быстром уменьшении интенсивности поля с расстоянием.

Для ЭМП радиочастот в дальней зоне плотность потока энергии s (Вт/м²) определяется по формуле:

$$S = \frac{P}{4\pi R^2},$$

где P — мощность источника, Вт; R — расстояние до источника, м. В ближней зоне $E \propto R^{-3}$, $H \propto R^{-2}$.

Рациональное размещение установок в рабочем помещении используется, в первую очередь, для источников высокочастотных полей.

Электромагнитная энергия, излучаемая отдельными элементами установок при неполном экранировании или отсутствии экранов распространяется в помещениях, отражаясь от стен и перекрытий, частично проходит сквозь них и в небольшой степени рассеивается. Отраженная энергия увеличивает плотность ЭМП в помещениях.

На основании того, что E и H в зоне индукции заметно ослабевают с расстоянием, установлено, например, что на каждую действующую установку, расположенную в отдельном помещении, должно приходиться не менее 25 м² при мощности до 30 кВт и не менее 40 м² при большей мощности. В помещении не должны находиться посторонние металлические предметы, чтобы не увеличивать напряженности полей за счет отражения.

Для защиты пользователей компьютеров от ЭМИ СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлено, что площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки должна составлять не менее 6 м², с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) — 4,5 м². Расстояние между боковыми поверхностями соседних мониторов должно составлять не менее 1,2 м, а между тыльной поверхностью одного монитора и экраном другого — не менее 2,0 м. Наиболее рациональным является размещение компьютеров по периметру помещения.

Выделение зон излучения производится на основании инструментальных замеров интенсивности ЭМИ. Источники ЭМИ ограждают или отмечают границу зоны яркой краской на полу помещения.

Например, охранная зона для ЛЭП промышленной частоты, отсчитываемая от проекции крайних фаз, составляет для ВЛ 220 кВ — 25 м, 750 кВ — 40 м.

Установление рационального режима работы персонала и источников ЭМИ. Например, одним из способов снижения уровня излучаемой энергии является правильный выбор

генератора, т.е. для определенного технологического процесса с конкретной мощностью необходимо использовать источник соответствующей мощности, а не завышенной, включение установок производить лишь на время работы и т. д.

Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А — работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом; группа Б — работа по вводу информации, группа В — творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов (табл. 9.8).

Т а б л и ц а 9.8

Время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, час	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	До 20 000	До 15 000	До 2,0	50	80
II	До 40 000	До 30 000	До 4,0	70	110
III	До 60 000	До 40 000	До 6,0	90	140

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

Если характер работы требует постоянного взаимодействия с ПЭВМ без переключения на другие виды деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов на 10... 15 минут через каждые 45... 60 минут работы.

Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 час.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 часов), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличить на 30%.

Уменьшение параметров излучения непосредственно в самом источнике достигается за счет применения согласованных нагрузок и поглотителей мощности.

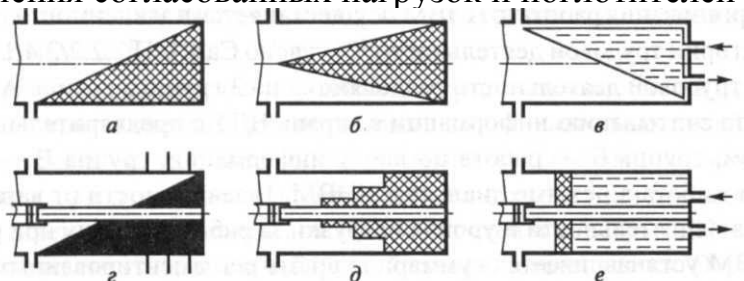


Рис. 9.5. Конструкции поглотителей мощности для волноводов и коаксиальных линий: скошенные (а, з); клинообразные (б, в); ступенчатые (д); в виде шайбы (е)

Поглотители мощности ослабляют электромагнитное излучение в 10^5 и более раз. Они представляют собой коаксиальные или волновод-ные линии. Поглотителем энергии служат графитовые или специальные углеродистые составы, пластмассы и другие материалы, в которых энергия электромагнитных излучений преобразуется в тепловую. Для охлаждения поглотителей мощности применяют охлаждающие ребра (рис. 9.5, з) или проточную воду (рис. 9.5, в, е).

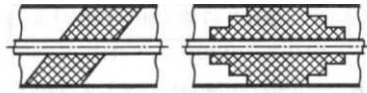


Рис. 9.6. Постоянные аттенюаторы

Уровень мощности до необходимого значения можно снизить с помощью аттенюаторов, которые бывают переменными или постоянными (рис. 9.6, 9.7).

Аттенюаторы работают по принципу поглощения электромагнитных колебаний материалами с большим коэффициентом поглощения (резина, полистирол и др.). В постоянных аттенюаторах степень ослабления мощности является постоянной величиной, а в переменных может изменяться. Переменные аттенюаторы ножевого и пластинчатого типов изготавливают из диэлектрика, покрытого металлической пленкой, и

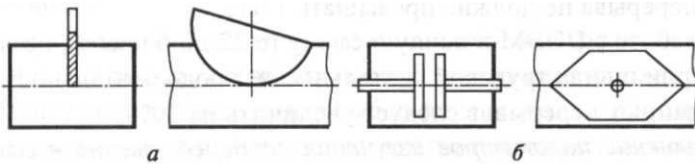


Рис. 9.7. Переменные аттенюаторы: а — ножевого типа; б — пластинчатого типа

помещают параллельно электрическим силовым линиям ЭМП. Регулировка величины ослабления мощности производится путем изменения положения «ножа» или пластин.

Наиболее эффективным и распространенным методом защиты от воздействия ЭМП является экранирование самого источника или рабочего места.

Эффективность экранирования определяется структурой ЭМП и конструкцией экрана, прежде всего его толщиной и материалом.

Качество экранирования оценивается с помощью функций экранирования k и обратного действия b , определяемых по приведенным ниже формулам:

$$K = \frac{E^+}{E} \quad \text{и} \quad K = \frac{H^+}{H};$$

$$B = \frac{E^-}{E} \quad \text{и} \quad B = \frac{H^-}{H},$$

где E, H — соответственно напряженность электрического и магнитного полей в рассматриваемой точке при отсутствии экрана; E^+, H^+ — напряженность электрического и магнитного полей в той же точке при наличии экрана; E^-, H^- — напряженность отраженного электрического и магнитного полей.

Прохождение гармонической электромагнитной волны сквозь плоский экран бесконечной длины схематично показано на рис. 9.8.



Рис. 9.8. Экранирование электромагнитных волн плоским экраном: а — прохождение волны сквозь экран; б — примерный амплитудный баланс

На практике эффективность экранирования оценивают, как правило, в децибелах и определяют по формулам:

$$3 = 201g \text{---}, \quad 3 = 201g \text{---}, \quad 3 = 201g$$

где s, s^+ — плотность потока энергии ЭМП в данной точке соответственно при отсутствии и наличии экрана. Экраны делятся на две группы:

- отражающие;
- поглощающие.

Защитное действие отражающих экранов основано на том, что воздействующее ЭМП создает в экране вихревые токи, наводящие в нем вторичное поле, по амплитуде почти равное, а по фазе противоположное экранируемому полю. Результирующее поле, возникающее при сложении этих двух полей быстро убывает в экране, проникая в него на незначительную глубину.

Отражающие экраны изготавливают из хорошо проводящих материалов — стали, меди, латуни, алюминия.

Глубина проникновения ЭМП высоких и сверхвысоких частот очень мала (десятые и сотые доли миллиметра), поэтому толщину экрана выбирают в этом случае по соображениям прочности.

Конструкция замкнутого экрана, его размеры и форма, как правило, определяются экранируемым объектом. Наиболее распространенными типами экранов являются сферические, цилиндрические и плоские.

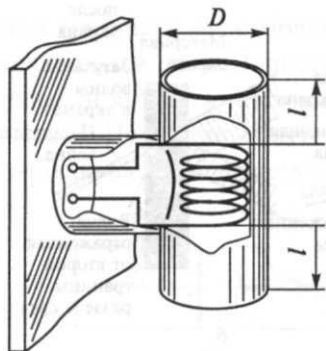


Рис. 9.9. Экранирование индуктора

В качестве примера на рис. 9.9 приведено экранирование полым металлическим цилиндром (толщиной не менее 0,5 мм) индуктора, являющегося мощной (8...200кВт) электротермической установкой, широко используемой для нагрева и плавки металлов и работающей в диапазоне частот 60 кГц... 5,4 МГц.

В ряде случаев для экранирования высокочастотных полей применяют металлические сетки, обладающие значительно более низкими экранирующими

свойствами, чем сплошные экраны. Они позволяют ослабить плотность потока энергии максимум на 20... 30 дБ (в 100... 1 000 раз). Однако их использование дает возможность производить осмотр и наблюдение экранируемых установок, вентиляцию и освещение экранированного пространства.

Высокая эффективность экранирования достигается при использовании сотовых решеток, вид которых и способ установки на окна приведен на рис. 9.10 и 9.11.

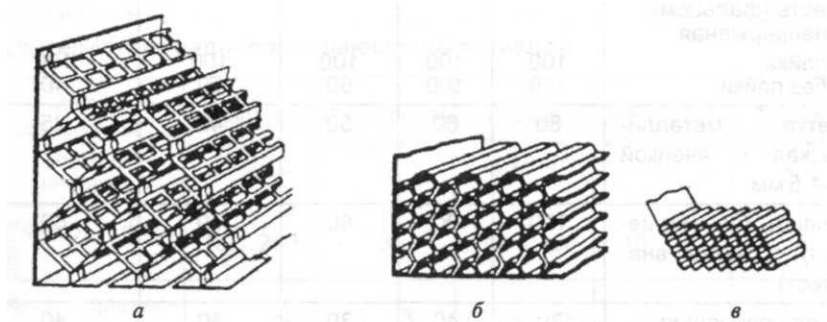


Рис. 9.10. Сотовые решетки, применяемые для экранирования ЭМП в частотных диапазонах:
a — до 1 ГГц; *б* — до 10 ГГц; *в* — до 35 ГГц

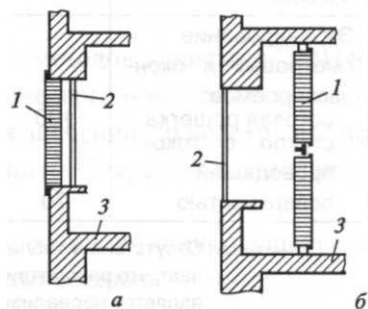


Рис. 9.11. Установка сотовых решеток на окна:
a — с наружной стороны; *б* — с внутренней стороны; 1 — сотовая решетка; 2 — оконное стекло; 3 — пол

Для экранирования применяют также токопроводящие краски и материалы с металлизированной поверхностью (например, цинком). Токопроводящие краски создают на основе пленкообразующего материала с добавлением проводящих составляющих, пластификатора, отвердителя. В качестве токопроводящих элементов используют коллоидное серебро, графит, сажу, оксиды металлов, порошки меди, алюминия.

Эффективность экранирования источников ЭМП экранами различной конструкции приведена в табл. 9.9.

Т а б л и ц а 9.9

Эффективность экранирования различных экранов, дБ

Материал, конструкция экрана	Диапазон частот, МГц				
	0,15...3	3...30	30...300	300...3000	3000...10 000
Сталь листовая: сварка непре- рывным швом листы, скреп- ленные болтами (шаг 50 мм)	100	100	100	100	100
	75	60	—	—	—
Жесть (фальцем): непрерывная пайка без пайки	100	100	100	100	100
	100	100	60	50	40
Сетка металли- ческая с ячейкой 1–1,5 мм	80	60	50	40	25
Фольга (алюминие- вая) (склейка вна- хлест)	100	80	80	70	60
Токопроводящая краска (сопротивле- ние 6 Ом)	70	40	30	40	40
Металлизация (расход металла 0,3 кг/м ²)	100	80	60	50	40
Экранирование смотровых и окон- ных проемов: сотовая решетка стекло с токо- проводящей поверхностью	100	100	100	—	—
	70	30	—	30	30

Примечание: Отсутствие в таблице цифровых значений для отдельных экранов означает, что рассматриваемый вариант применять не рекомендуется или он является нереализуемым.

В конструктивном отношении экранирующие устройства могут представлять собой также камеры или шкафы, в которые помещают передающую аппаратуру, кожухи, ширмы, защитные козырьки, перегородки и др. 242

Отражающий экран обязательно должен быть заземлен.

Экраны, поглощающие электромагнитное излучение, изготавливают в виде тонких резиновых ковриков, эластичных или жестких листов поролона или волокнистой древесины, пропитанной определенным составом, ферромагнитных пластин. В последнее время все более широкое распространение получают керамико-металлические композиции. Коэффициент отражения указанных материалов не превышает 1... 3%. Характеристики некоторых радиопоглощающих материалов приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.10

Характеристики радиопоглощающих материалов

Марка поглотителя, основной материал	Диапазон рабочих волн, см	Отраженная мощность, %	Размер пластины, м·10 ⁻³	Масса 1 м ² материала, кг	Толщина материала, мм
СВЧ-068, феррит	15...200	3	100 × 100	18...20	4
«Луч», древесное волокно	15...150	1...3	600 × 1000	—	—
В2Ф2, резина	0,8...4	2	345 × 345	4...5	11...14
«Болото», поролон	0,8...100	1...2	—	—	—

Если применение рассмотренных выше методов защиты от ЭМП не позволяет снизить напряженность электрического и магнитного полей, плотность потока энергии до нормативных значений, то необходимо использование индивидуальных средств защиты. К средствам индивидуальной защиты от ЭМП относятся:

- комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, осуществляющие защиту человека по принципу сетчатого экрана;
- защитные очки с металлизированными стеклами, например, со стеклами, покрытыми бесцветной прозрачной пленкой диоксида олова, которая дает ослабление энергии до 30 дБ.

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ионизирующие излучения — это любые излучения, которые создаются при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении ядерных частиц в веществе и способны прямо или косвенно вызывать ионизацию среды — образование заряженных атомов или молекул — ионов.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОРАЖЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Человек подвергается воздействию ионизирующих излучений от природных источников космического и земного происхождения, при эксплуатации и обслуживании радиоизотопных, ядерно-энергетических и ядерно-силовых установок, перевозках радионуклидов и т.п. Источники ионизирующего излучения представляют потенциальную угрозу здоровью и жизни людей.

Степень поражения организма человека ионизирующим излучением определяется многими факторами, основными из которых являются:

- вид ионизирующего излучения;
- доза облучения;
- путь воздействия ионизирующего излучения на человека (внутреннее или наружное облучение);
- поведение радионуклида в организме человека, орган накопления радионуклида.

Виды ионизирующего излучения

Все ионизирующие излучения по своей природе подразделяются на корпускулярные [альфа-частицы, бета-частицы, нейтроны, протоны (ядра водорода), дейтроны (ядра тяжелого водорода — дейтерия), тяжелые ионы (ядра других элементов)] и электромагнитные (гамма-, рентгеновское).

Альфа-частицы представляют собой поток ядер гелия, состоящих из двух протонов и двух нейтронов, испускаемых веществом при радиоактивном распаде или при ядерных реакциях. Альфа-частицы вылетают из радиоактивного ядра со скоростью 14 000... 20 000 км/с. Энергия этих частиц не превышает нескольких МэВ, в среднем 4... 5,5 МэВ ($1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{Дж}$). Альфа-излучение обладает высокой ионизирующей способностью (в воздухе на 1 см пути образует несколько десятков тысяч пар ионов) и малой проникающей способностью. Например, пробег альфа-частиц достигает в воздухе 8... 9 см, в живой ткани — несколько десятков микрометров. Альфа-частицы поглощаются листом бумаги.

Бета-частицы — электроны или позитроны, вылетающие из ядра при радиоактивном распаде со скоростью, близкой к скорости света (250 000... 270 000 км/с).

Энергия бета-частиц не превышает нескольких МэВ. Они имеют проникающую способность в сотни раз большую, чем альфа-частицы, так как обладают значительно меньшей массой и при одинаковой с альфа-частицами энергии меньшим зарядом. Ионизирующая способность бета-частиц значительно меньше (примерно на два порядка), чем у альфа-частиц.

Типичными процессами взаимодействия альфа- и бета-частиц с веществом являются отрыв электрона от атома (ионизация) или перевод электрона с более глубокой, т.е. ближе расположенной к ядру оболочки, на более удаленную (возбуждение атома). Примерно половина энергии, переданной ионизирующим излучением веществу, в процессе взаимодействия расходуется на ионизацию, а половина — на возбуждение.

Альфа- и бета-частицы, проходя через вещество, взаимодействуют преимущественно с электронами атомов и молекул среды, отталкивая или притягивая электроны атомов или молекул в зависимости от их заряда. Вероятность взаимодействия с ядром существенно меньше, поскольку поперечные размеры ядра примерно в 10... 100 тысяч раз меньше поперечного размера атома.

Для ионизации атому необходимо сообщить энергию, превышающую силы электростатического притяжения электрона к ядру. Для атомов различных химических элементов она варьируется от 4 до 25 эВ (для электронов, находящихся на внешней орбите, эта энергия минимальных металлов, например, вольфрама или платины), испытывая на нем резкое торможение.

Характеристическое рентгеновское излучение — это электромагнитное излучение с линейчатым спектром, возникающее после ионизации атома с выбрасыванием электрона с одной из его внутренних оболочек, при столкновении атома с быстрой заряженной частицей или при поглощении им кванта электромагнитного излучения. Например, при выбивании электрона гамма-квантом из одной из внутренних оболочек атома, освободившееся место заполняется электронами из вышележащих оболочек, что сопровождается характеристическим рентгеновским излучением. Характеристическое излучение испускается также и анодом в рентгеновской трубке при достаточно большой энергии бомбардирующих анод электронов.

В отличие от гамма-лучей, происходящих из атомных ядер, X-лучи возникают из взаимодействия электронов.

Рентгеновское излучение обладает малой ионизирующей и большой проникающей способностью.

Гамма- и рентгеновское излучения, представляющие собой поток фотонов, относятся к классу косвенно ионизирующего излучения. Фотон, как известно, не обладает зарядом, поэтому непосредственно ионизации не производит. В процессе прохождения через вещество он взаимодействует в основном с электронами атома, передавая им часть или всю свою энергию. Образованные, так называемые, вторичные электроны в последующих процессах взаимодействия производят ионизацию. Таким образом, ионизация происходит не в первичных актах взаимодей-

ствия фотонов с веществом, а как результат передачи энергии веществу вторичными заряженными частицами.

Фотоны рентгеновских и гамма-лучей взаимодействуют с веществом и вызывают ионизацию по меньшей мере четырьмя различными способами.

1. Фотоэлектрический эффект (наиболее вероятный тип взаимодействия с веществом фотонов низких энергий).

2. Эффект Комптона (присущий, прежде всего, фотонам средних энергий).

3. Возникновение электронно-позитронной пары частиц (возможно только для фотонов с энергией, превышающей 1,02 МэВ).

4. Ядерный фотоэффект — выброс из ядра одного из нуклонов, чаще всего нейтрона (возможен только в том случае, если энергия фотона превышает энергию связи нуклонов в ядре (7... 8 МэВ)).

Нейтроны — нейтральные частицы, входящие в состав всех атомных ядер. Образование свободных нейтронов возможно только в результате ядерных реакций (например, при бомбардировке атомных ядер бериллия, лития, бора альфа-частицами, при расщеплении урана).

Нейтроны, являясь электрически нейтральными частицами, не испытывают кулоновского отталкивания и поэтому могут легко проникать через электронные оболочки атомов в ядра, вызывая разнообразные ядерные превращения.

Характер ядерных реакций под действием нейтронов, их проникающая способность, зависит от их энергии и состава атомов вещества, с которым они взаимодействуют.

Нейтроны любых энергий взаимодействуют с ядрами атомов среды, напоминая столкновение бильярдных шаров. Ядра атомов, получившие в результате такого взаимодействия часть кинетической энергии нейтрона (ядра отдачи) выскакивают из электронной оболочки, и, будучи положительно заряженными, при своем движении в веществе производят ионизацию. Ядра отдачи — это лишь один из результатов взаимодействия нейтронов с веществом, который присущ, в первую очередь, нейтронам, обладающим большой энергией (больше 200 кэВ), так называемым быстрым нейтронам. Кроме того, при взаимодействии нейтронов с веществом возможны ядерные реакции, сопровождаемые вылетом заряженных частиц различного типа и фотонов, производящих в дальнейшем ионизацию, возможно также деление ядра. При расщеплении тяжелое ядро поглощает нейтрон и распадается на два более легких ядра, почти всегда радиоактивных.

Открытие явления деления ядра урана под воздействием нейтронов позволило осуществить неконтролируемую (ядерная бомба) и контролируемую (ядерный реактор) ядерные реакции, что обусловило возможность практического использования атомной энергии.

Дозы облучения

Ионизирующее излучение, распространяясь в среде, передает ей свою энергию, которая затрачивается на ионизацию и возбуждение атомов и молекул вещества. Поэтому для характеристики меры воздействия ионизирующего излучения на вещество принимается величина поглощенной энергии в единице массы вещества, называемая *поглощенной дозой D*.

$$D = \frac{dW}{dm}$$

где dW — средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, Дж; dm — масса вещества, кг.

Единицей поглощенной дозы ионизирующего излучения в Международной системе единиц является грей (Гр).

Изменение дозы излучения в единицу времени называется *мощностью дозы D*:

$$D = \frac{dW}{dm}$$

В системе СИ единица мощности поглощенной дозы — 1 Гр/с.

Биологическое действие ионизирующего излучения тем больше, чем больше происходит в веществе актов ионизации под воздействием излучения, т.е. чем больше величина поглощенной дозы. При однократном облучении всего тела человека зависимость «биологический эффект — поглощенная доза» определяется следующим образом:

- до 0,25 Гр — видимых нарушений нет;
- 0,25... 0,50 Гр — незначительные быстро проходящие изменения в составе крови, медицинского вмешательства не требуется;
- 0,50... 1,0 Гр — изменения в составе крови, нарушение трудоспособности;
- 1,0...2,0 Гр — появление начальных признаков лучевой болезни, выживание вполне вероятно;
- 3,0... 5,0 Гр — возникновение острой лучевой болезни (50% смертельный исход);
- 6,0 Гр и более — 100% смертельный исход (выживание невозможно даже при применении самой современной терапии).

Поглощенная доза в полной мере не отражает действия ионизирующего излучения на живой организм, так как биологический эффект зависит не только от величины поглощенной энергии, но и от ряда других параметров, обусловленных характером и условиями облучения (равномерность распределения в организме, плотность ионизации и др.).

При воздействии малых доз возможный ущерб здоровью, проявляемый в виде отдаленных последствий, зависит прежде всего от *линейной* полной энергии (ЛПЭ) L , равной отношению средней энергии $d\bar{e}$, переданной веществу заряженной частицей вследствие столкновений на элементарном пути dl , к длине этого пути:

$$L = \frac{d\bar{e}}{dl},$$

где $d\bar{e}$ означает полную энергию, теряемую частицей во всех столкновениях с электронами. Единица ЛПЭ — кэВ/мкм.

В целях обеспечения радиационной безопасности, когда реализуются условия облучения в малых дозах, введена дозиметрическая величина — эквивалентная доза H_{TR} , позволяющая оценить возможный ущерб здоровью человека при хроническом воздействии ионизирующего излучения различного состава.

Эквивалентная доза H_{TR} равна произведению средней поглощенной дозы D_{TR} , созданной данным видом излучения в органе или ткани T , на взвешивающий коэффициент w_R (являющийся функцией ЛПЭ) для излучения R :

$$H_{TR} = W_R D_{TR}.$$

Значения w_R для различных видов излучения приведены в табл. 10.1.

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{TR}.$$

Единицей эквивалентной дозы в системе СИ является зиверт (Зв).

Из представленных данных следует, что биологическая эффективность, например, альфа-частиц в 20, а тепловых нейтронов в 5 раз больше, чем бета-частиц и гамма-излучения. Следовательно, возможный ущерб здоровью человека, соответствующий эквивалентной дозе в 1 Зв, будет реализован при поглощенной дозе 1 Гр для бета-

Т а б л и ц а 10.1

Значения коэффициентов W_R для отдельных видов излучений

Вид излучения	W_R
Фотоны любых энергий	1,0
Электроны и мюоны любых энергий	1,0
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ (тепловые)	5,0
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2,0 МэВ	20
от 2,0 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны (кроме протонов отдачи) с энергией более 2,0 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

частиц и гамма-излучения, при поглощенной дозе 0,2 Гр для тепловых нейтронов ($w_r = 5$) и поглощенной дозе 0,05 Гр — для альфа-частиц.

В ряде случаев облучению подвергается не все тело, а один или несколько органов (например, при внутреннем облучении). В силу того, что органы и ткани человека обладают различной радиочувствительностью, то для оценки эффекта облучения всего организма или отдельных его органов используется понятие эффективной дозы E , которая также применима только для хронического облучения в малых дозах.

Эффективная доза E — основная дозиметрическая величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека или отдельных органов с учетом их радиочувствительности. E равна сумме произведений эквивалентной дозы в органе или ткани H_T на соответствующий взвешивающий коэффициент w_T для данного органа или ткани:

$$E = \sum_T W_T H_T.$$

Единица эквивалентной дозы зиверт (Зв).

Значения взвешивающих коэффициентов W_T приведены в табл. 10.2.

Из представленных данных следует, что при облучении, например, только щитовидной железы ($W_T = 0,05$) эффект по отдаленным последствиям будет составлять всего 5% от того эффекта, который может быть реализован при облучении всего тела в той же дозе.

Путь воздействия ионизирующего излучения на человека

Человек может подвергаться внешнему и внутреннему облучению.

Уровень внешнего воздействия существенно зависит от времени пребывания в зоне воздействия излучения. По мере удаления от источника интенсивность потока излучения уменьшается.

Внешнее облучение альфа- и бета-частицами возможно при контакте открытых участков тела, при загрязнении кожных покровов радиоактивными веществами. В этом случае облучению подвергается эпидермис.

При внутреннем облучении радиоактивные вещества поступают в организм человека ингаляционно или перорально.

После попадания в легкие радиоактивные вещества током крови разносятся по всему организму. Крупные частицы (до 0,1 мкм) оседают в трахеобронхиальной области, а меньшие частицы — в пространстве легочных альвеол, откуда через кровь поступают в различные органы и ткани организма. Из верхних дыхательных путей радионуклиды через определенный промежуток времени удаляются из организма в результате очистительных процессов. Скорость перехода радиоактивных веществ из легких в другие системы организма тем больше, чем лучше растворимость вдыхаемых аэрозолей в физиологических жидкостях организма, в

Таблица 10.2

Значения коэффициентов W_T для различных органов и тканей

Орган или ткань	W_T
Гонады	0,20
Красный костный мозг, легкие, толстый кишечник, желудок	0,12
Молочные железы женщин, щитовидная железа, печень, пищевод, мочевого пузыря	0,05
Клетки костных поверхностей, кожа	0,01
Прочие органы	0,05
$\sum W_T = 1$	

частности в лимфе крови.

При пероральном поступлении радиоактивные вещества попадают в желудок, откуда всасываются в кровь и разносятся по различным органам и тканям. Чем меньше растворимость радионуклида, тем большее его количество проходит транзитом и выводится из организма.

Поведение радионуклидов в организме человека

Различные химические элементы в зависимости от их роли в физиологических процессах имеют тенденцию преимущественно накапливаться в определенных органах. Например, йод накапливается в щитовидной железе, цезий — в мышцах, полоний — в селезенке, почках, натрий — равномерно по всему организму, радий, стронций, фосфор — в костной ткани. Радионуклиды данного химического элемента ведут себя в организме человека аналогичным образом, т.е. поступив в кровь из легких или ЖКТ радионуклид накапливается преимущественно в том органе, где депонируется его нерадиоактивный аналог (табл. 10.3).

Время нахождения того или иного химического элемента в организме зависит от того, насколько интенсивно он участвует в обменных

процессах. Например, такие химические элементы как радий, стронций практически остаются в организме в течение всей жизни, а йод, полоний, цезий довольно быстро выводятся из организма.

Для радионуклидов время уменьшения их содержания в организме определяется эффективным периодом полувыведения $T_{эф}$ (время, в течение которого количество радионуклида в организме уменьшится вдвое):

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2}T_6}{T_{1/2} + T_6},$$

где T_6 — период биологического полувыведения, т.е. время, в течение которого количество данного элемента уменьшается вдвое вследствие физиологических процессов; $T_{1/2}$ — период полураспада, т.е. время, за которое исходное число радиоактивных ядер уменьшится вдвое в результате естественного радиоактивного превращения ядер, происходящего самопроизвольно (периоды полураспада для радиоактивных элементов колеблются от десятимиллионных долей секунды до многих миллиардов лет).

В табл. 10.4 приведены значения эффективного периода полувыведения для ряда радионуклидов.

Таблица 10.3

Органы накопления различных радионуклидов

Наименование радионуклида	Вид излучения	Орган накопления
Йод-131	Бета, гамма	Щитовидная железа, легкие, ЖКТ
Церий-144	Бета, гамма	Кость, легкие, печень
Стронций-90	Бета, гамма	Кость, легкие, ЖКТ
Цезий-137	Бета, гамма	Все тело, печень, селезенка, мышцы
Плутоний-239	Альфа, гамма	Легкие, костная ткань, ЖКТ
Америций-241	Альфа, гамма	Почки, кость, легкие, ЖКТ
Кюрий-245	Альфа, гамма	Кость, легкие
Уран-235	Альфа, гамма	Почки, кость, легкие
Торий-232	Альфа, гамма	Кость, почки, легкие, ЖКТ

Роль различных органов в поддержании нормальной жизнедеятельности организма различна. Поэтому при попадании в организм степень лучевого поражения будет зависеть не только от величины дозы, но и от того, в каком органе преимущественно произошло накопление радионуклида.

Если радиоактивный распад данного радионуклида сопровождается альфа- или бета-излучением, вся энергия излучения будет поглощена в том органе, где накоплен радионуклид, и другие органы не будут подвергаться лучевому воздействию. Если радиоактивный распад сопровождается гамма-излучением, то облучаться будут и другие органы и ткани организма. Однако доза излучения, создаваемая гамма-излучением, будет мала по сравнению с дозой, создаваемой альфа- и бета-частицами.

Таблица 10.4

Эффективные периоды полувыведения из различных органов для некоторых радионуклидов

Радионуклид	Орган накопления	$T_{эф}$, сут	$T_{1/2}$, сут	$T_б$, сут
Тритий	Все тело	12	$4,5 \cdot 10^3$	12
Натрий-24	Все тело	11	0,63	0,6
Йод-131	Щитовидная железа	138	8,0	7,6
Цезий-137	Мышцы	140	$1,1 \cdot 10^4$	140
Церий-144	Все тело	563	290	191
Полоний-210	Селезенка	60	138,4	42

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Источник ионизирующего излучения — радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать ионизирующее излучение.

Согласно НРБ-99 и ОСПОРБ-99 на рис. 10.1 приведена классификация источников ионизирующего излучения, в соответствии с которой из

Тип	Класс	Определение
Искусственный	Изъятый	Источник, создающий при любых условиях обращения с ним тривиальные ущербы (дозы)
	Техногенный	Источник ионизирующего излучения специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности, на который распространяется действие Норм и Правил
Природный	Природный (нетехногенный)	Источник ионизирующего излучения природного происхождения, на который распространяется действие Норм и Правил
	Изъятый	Источник, создающий при любых условиях обращения с ним тривиальные ущербы (дозы)
	Исключенный	Источник, облучением которого невозможно управлять

Рис. 10.1. Классификация источников ионизирующего излучения (выделена область регулирования радиационной безопасности)

множества природных и искусственных источников выделены четыре категории. Определения природного и техногенного источников даны НРБ-99, а понятия исключенного и изъятого из области регулирования источника неявно присутствуют в п. 1.4. Нормы полностью соответствуют международным определениям. Отнесение источников к определенному классу зависит от управляемости и потенциальной опасности источника, опасности облучения при выходе такого источника из-под контроля. В соответствии с приведенной классификацией требования НРБ-99 и ОСПОРБ-99 не распространяются на источники ионизирующего излучения, облучением которых невозможно управлять и источники, создающие при любых условиях обращения с ними тривиальные ущербы.

Природные (не техногенные) источники ионизирующего излучения существуют с момента образования планеты. К ним относятся космическое излучение и естественно-радиоактивные нуклиды (ЕРН), содержащиеся в земной коре и объектах окружающей среды.

Эффективная доза, создаваемая космическими излучениями на уровне моря, составляет 0,32 мЗв в год.

Есть основания полагать, что на заре формирования нашей планеты в земной коре имелись радионуклиды практически всех химических элементов, но до настоящего времени сохранились в заметных количествах те радионуклиды, которые обладают большими периодами полураспада, в первую очередь, такие как калий-40 ($T_{1/2} = 1,3$ млрд лет), уран-238 ($T_{1/2} = 4,5$ млрд лет), уран-235 (0,7 млрд лет) и торий-232 (14 млрд лет).

Основной вклад во внешнее облучение людей излучением естественных радионуклидов, содержащихся в почве, вносят калий-40, а также радий и его радиоактивные продукты распада.

Для 95% населения земного шара годовая эффективная доза внешнего облучения, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов, составляет в среднем 0,35 мЗв. Мощность эффективной дозы от природных источников на территории России находится в пределах 0,05-0,12 мкЗв/ч.

Эффективная доза внутреннего облучения, формируемая естественными радионуклидами (калием-40, полонием-210, радием и продуктами его распада), составляет примерно 0,33 мЗв.

В процессе использования той или иной технологии человеком возможно локальное изменение распределения естественных источников

радиации, что повышает уровень облучения (*природные (техногенные) источники излучения*). Такое повышенное облучение возникает:

- при полетах на самолете;
- в результате выбросов естественных радионуклидов при сжигании каменного угля и природного газа;
- при использовании фосфорных удобрений в сельском хозяйстве и продуктов переработки фосфоритов в промышленности (фосфориты содержат продукты распада урана-238).

Дополнительное облучение от рассмотренных источников в глобальных масштабах пока еще невелико и составляет около 2% от годовой эффективной дозы, обусловленной естественным радиационным фоном. Однако при некоторых видах человеческой деятельности этот вклад может стать существенным по сравнению с естественным фоном. В частности, это касается увеличения применения фосфатных

удобрений, использования фосфогипса в строительстве, отвалов урановой руды в дорожном строительстве и т.д.

Дополнительное облучение человека наблюдается также вследствие его пребывания в помещении. Основным радиоактивным элементом, накапливающимся

Продолжение табл. 10.5

Виды работ	Перечень задач	Источник излучения	Регистрируемое излучение
Геофизические исследования нефтегазовых скважин	Комплекс промыслово-геофизических исследований для получения информации о разрезе путем измерений уровней и спектров излучений Наладка ядерно-геофизической аппаратуры	^{210}Po , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{226}Ra , нейтроны, бериллиевый и радий-бериллиевый источники	α , β , γ , нейтроны
		Искусственные источники гамма-излучения: ^{75}Se , ^{170}Tm , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co	γ
		Изотопные нейтронные источники, генераторы нейтронов, ядерный реактор	нейтроны, γ

в помещении, является радон, поступающий из почвы, из используемой воды и природного газа. Эффективная доза, обусловленная накоплением радона в помещениях, составляет 1,6 мЗв в год.

Искусственные (техногенные) источники излучения — это источники ионизирующего излучения, созданные самим человеком (рентгеновские аппараты, ускорители, ядерные реакторы, термоядерные установки, искусственно-радиоактивные радионуклиды). По мере расширения масштабов использования атомной энергии число таких источников и их мощность растут.

Что касается такого глобального техногенного источника радиации, как радионуклиды (в основном цезия-137, стронция-90), выпадающие на поверхность Земли из стратосферы, где они накопились в результате испытаний атомного оружия, то их вклад в настоящее время составляет 1... 2% от естественного фона. В период интенсивных испытаний атомного оружия в воздухе эквивалентная доза, обусловленная глобальными выпадениями достигала 0,6... 0,7 мЗв/год. Снижению роли этого фактора способствовало запрещение в 1963 г. испытаний атомного оружия в трех средах (атмосфере, под водой и в космосе).

После Чернобыльской катастрофы особое внимание уделяется такому техногенному источнику, как атомные электростанции. Однако опыт эксплуатации АЭС показывает, что при нормальной работе атомных реакторов радиоактивные выбросы настолько малы, что даже вблизи АЭС практически невозможно обнаружить повышенные, по сравнению с естественным фоном, уровни радиации. Источники ионизирующих излучений применяются не только при производстве ядерной энергии и ядерного оружия, но и для решения многих научных и производственных задач. Применение некоторых из них в отдельных отраслях промышленности указано в табл. 10.5.

В качестве примера на рис. 10.2 приведена модель воздействия естественных и искусственных источников ионизирующего излучения на

работников при добыче и подготовке нефти в нефтегазодобывающем управлении (на площадке установки подготовки нефти и площадке насосов и труб поддержания пластового давления).

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

10.3.1. Механизм действия ионизирующего излучения

Биологическое действие ионизирующего излучения можно условно разделить на:

1. Первичные физико-химические процессы, возникающие в молекулах живых клеток.

2. Нарушение функций целого организма как следствие первичных процессов.

Первичные процессы обусловлены поглощением энергии ионизирующего излучения в живой ткани, воздействие которого на организм человека может быть

Таблица 10.5

Источники ионизирующих излучений, применяемые в некоторых отраслях промышленности

Виды работ	Перечень задач	Источник излучения	Регистрируемое излучение
Машино-, аппаратно- и приборостроение	Дефектоскопия и рентгено-структурный анализ	Ускорители, ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{170}Tm Бетатроны с энергией от 6 до 35 МэВ	X-лучи, β , нейтроны
Эксплуатация строительных машин, строительство трубопроводов	Исследование износа деталей машин, выявление дефектов при сварке, контроль плотности строительных конструкций. Определение влажности грунтов и стройматериалов	^{45}Ca , ^{210}Po , ^{82}Br , ^{32}P , ^{59}Fe , ^{125}Sn , ^{51}Cr , ^{187}W , ^{204}Tl , ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{137}Cs и др.	α , β , γ , X-лучи
Бурение нефтяных и газовых скважин	Контроль за движением бурового раствора по колонне и цемента в затрубном пространстве, исследовательские работы, обнаружение трещин и раковин в оборудовании и др.	Искусственные источники α и β излучений: ^{210}Po , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{226}Ra Радиоактивные изотопы ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{239}Pu и др.	α , β α , β , γ

прямым и косвенным.

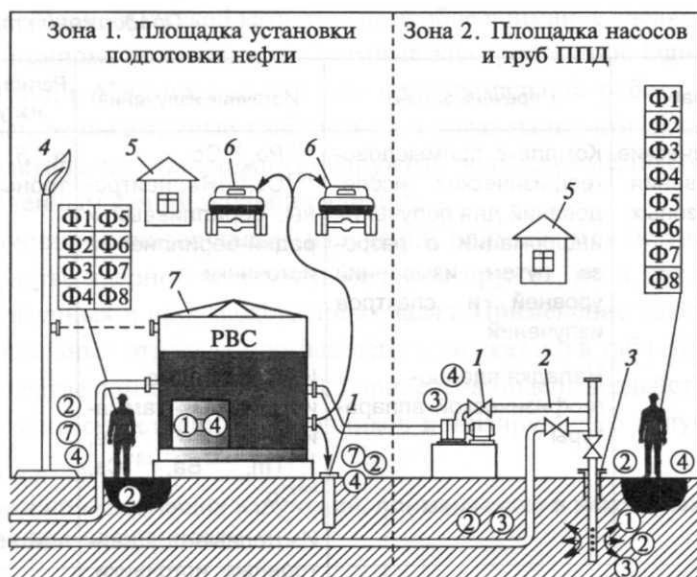


Рис. 10.2. Модель воздействия радионуклидов на работников при добыче и подготовке нефти:

Оборудование, здания и сооружения обозначены цифрами: / — колодец промышленного стока; 2 — насос поддержания пластового давления (ППД); 3 — скважина ППД; 4 — трубопровод ППД; 5 — производственное помещение; 6 — транспортно-технологические машины; 7 — отстойник (PBC).

Цифрами в сером кружке обозначен механизм накопления и перераспределения радионуклидов: 1 — выделение радионуклидов из пластовой воды; 2 — попадание радионуклидов в грунт в местах протечки пластовой воды, россыпи нефтешлама, местах размещения в земляных амбарах (в прошлые годы); 3 — образование отложений, содержащих радионуклиды на стенках трубопроводов, насосов, арматуры; 4 — выделение радона из отложений, нефтешлама, грунта, пластовой воды, попутного газа; 5 — образование консистентных нефтешламов в емкостном оборудовании с малым содержанием радионуклидов; 6 — образование сыпучих нефтешламов в емкостном оборудовании с повышенным содержанием радионуклидов; 7 — россыпь сыпучих и пролив консистентных нефтешламов на грунт, осаждение аэрозолей.

Радиационный фактор: Ф1 — внешнее гамма-облучение от нефтешлама через стенки оборудования; Ф2 — внешнее гамма-облучение от загрязненного грунта площадки; Ф3 — внешнее гамма-облучение в производственном помещении с повышенным фоном; Ф4 — внешнее гамма-облучение от открытого нефтешлама при зачистке и ремонте оборудования; Ф5 — внешнее бета-облучение от открытого нефтешлама; Ф6 — внутреннее альфа-, бета- и гамма-облучение радоном, тороном и их дочерними продуктами; Ф7 — внутреннее альфа-, бета- и гамма-облучение радионуклидами от вдыхаемой пыли; Ф8 — внутреннее альфа-, бета- и гамма-облучение радионуклидами через загрязненные руки

Прямое воздействие излучения заключается в процессах ионизации и возбуждения атомов и молекул. В возбужденном состоянии молекула может находиться $10^{-13} \dots 10^{-14}$ с. В течение этого времени энергия возбуждения может трансформироваться в колебательную и сконцентрироваться на одной из химических связей, что приведет к развалу молекулы и отрыву от нее какого-либо фрагмента. Следствием акта ионизации является быстрое изменение электромагнитного поля молекулы, приводящее к разрыву 10... 15 химических связей. Прямое действие ионизирующего излучения может вызвать расщепление молекул белка, разрыв наименее прочных связей, отрыв радикалов.

Под косвенным действием ионизирующего излучения понимают радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды (из которой на 60... 70% по массе состоит тело человека), образующими свободные радикалы H^* и OH^* . В присутствии кислорода образуется также свободный радикал гидропероксида HO_2^* и пероксида водорода, являющихся сильными окислителями.

Свободные радикалы обладают высокой химической активностью. Они вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, в результате чего нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму — токсины. Индуцированные свободными радикалами химические реакции развиваются и вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением. Это приводит к нарушению деятельности отдельных функций или систем организма в целом.

Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение. Например, при дозе излучения, вызывающей гибель живого организма, эквивалентная величина тепловой энергии не больше энергии, заключенной в стакане горячего чая.

Для человека крайне тяжелая степень лучевой болезни при общем остром облучении гамма-излучением соответствует поглощенной энергии 6 Грей или 420 Дж на все тело (70 кг). Если эту энергию подвести в виде тепла, то она повысит температуру тела не более чем на 0,01 °С.

Под действием первичных процессов в клетках возникают функциональные изменения, подчиняющиеся уже биологическим законам жизни и гибели клеток, наиболее важными из которых являются:

- повреждение механизма деления и хромосомного аппарата облученной клетки;
- блокирование процессов обновления и дифференцирования клеток;
- блокирование процессов и последующей физиологической регенерации тканей.

Изменения на клеточном уровне, гибель клеток приводят к таким нарушениям в тканях, в функциях отдельных органов, которые вызывают различные негативные последствия для организма или его гибель.

Эффекты облучения

При оценке опасности облучения, которой могут подвергаться отдельные контингенты людей, радиационные эффекты принято дифференцировать на соматические и генетические.

К соматическим (телесным) эффектам относятся те изменения в состоянии здоровья, которые произошли у данного индивидуума в результате облучения. Соматические эффекты проявляются в виде:

- детерминированных эффектов, возникающих через сравнительно короткий промежуток времени (часы, дни);
- вероятностных (стохастических) эффектов, проявляющихся не сразу, в отдаленные сроки жизни.

К детерминированным относятся такие клинически выявляемые вредные биологические эффекты, как, например, лучевая болезнь различной тяжести, локальные лучевые повреждения отдельных органов и тканей и др.

Для детерминированных эффектов характерно наличие связи между уровнем облучения и реакцией организма. Они имеют порог, ниже которого эффект отсутствует, а выше — тяжесть эффекта зависит от дозы.

Детерминированные эффекты проявляются при достаточно высоком или аварийном облучении всего тела или отдельных органов. Порог эффекта зависит от органа или ткани.

При однократном облучении всего тела в дозе до 0,5 Зв детерминированные эффекты не проявляются — нельзя обнаружить какие-либо изменения в состоянии здоровья человека, а также изменение крови, которая, в первую очередь, реагирует на лучевое воздействие. Различные формы лучевой болезни развиваются при дозах выше 1 Зв. Крайне тяжелая форма лучевой болезни,

приводящая к смертельному исходу в 100% случаев наблюдается при дозе, превышающей 6 Зв. Причиной смерти являются инфицированные заболевания и кровоизлияния.

При систематическом облучении в дозах, не вызывающих острой лучевой болезни, но значительно превышающих предельно допустимый уровень, может развиваться хроническая лучевая болезнь, наиболее характерными признаками которой являются изменения в составе крови (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие) и некоторые симптомы со стороны нервной системы.

Реакция организма на облучение может проявиться и в отдаленные сроки — через 10...20 лет (стохастические эффекты). Такими реакциями могут быть лейкозы, злокачественные опухоли различных органов и тканей, сокращение продолжительности жизни (старение, ведущее к преждевременной смерти, не связанное с какой-либо определенной причиной).

Стохастические эффекты облучения не имеют дозового порога возникновения, пропорциональна дозе только вероятность их возникновения, а тяжесть их проявления от дозы не зависит. Так, например, не исключается образование злокачественных новообразований, индуцированных излучением, и при малых дозах облучения.

При воздействии ионизирующего излучения на организм может произойти повреждение наследственных структур, в результате которых неблагоприятные последствия облучения проявляются в последующих поколениях. Это так называемые генетические эффекты. Генетические эффекты также как и стохастические, не исключаются при малых дозах и условно не имеют порога.

Под воздействием ионизирующего излучения могут возникать стойкие нарушения половых клеток, приводящие к мутациям, т.е. к появлению у облученных людей потомства с другими признаками. Такие изменения признаков могут быть как полезными, так и вредными. Большинство мутаций являются вредными.

Генетические эффекты появляются не всегда. Так, например, не обнаружено генетических последствий у 70 тыс. детей, родители которых пережили атомную бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки.

Накопленные к настоящему времени данные дают основание полагать, что удвоение числа генетических нарушений у новорожденных может наблюдаться при дозе 1 Зв. Вероятность выхода генетических последствий на единицу дозы примерно в 3 раза меньше, чем соматических.

НОРМИРОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Допустимые уровни облучения людей при различных аспектах использования атомной энергии в виде основных пределов доз регламентированы Законом РФ «О радиационной безопасности населения» и «Нормами радиационной безопасности» НРБ-99. Приведенные в указанных документах нормативы базируются на рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите, изложенных в Публикациях 60 и 61 и принятых в 1990 г.

Регламентируемые НРБ-99 значения устанавливаются для двух категорий облучаемых лиц:

- 1) персонал (группы А и Б);
- 2) население.

К персоналу группы А относятся лица, которые непосредственно работают с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. К персоналу группы Б — лица, которые в процессе производственной деятельности непосредственно не работают с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, но по размещению рабочих мест могут подвергаться радиационному воздействию.

Для указанных категорий облучаемых лиц установлено три класса нормативных требований к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях:

1) основные пределы доз, приведенные в табл. 10.6;

2) допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, одного пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: допустимые среднегодовые объемные активности и среднегодовые удельные активности, допустимая среднегодовая плотность потока и др.;

3) контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.) устанавливаются администрацией учреждения по согласованию с органами Госсанэпиднадзора. Их значения учитывают достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивают условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 10.6

Основные пределы доз облучения в нормальных условиях эксплуатации источника излучения

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	Персонал (группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

* — допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам. ** — Основные пределы доз персонала группы В равны 1/4 значений для персонала группы А.

Основные пределы доз не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 10.6.

В НРБ-99 регламентируется только годовой предел дозы, т.е. не накладывается ограничений на уровень облучения за рабочий день, неделю, квартал. Это значит, что разрешается и одноразовое облучение в дозе равной годовому пределу. Накладывается ограничение лишь на облучение женщин в возрасте до 45 лет в течение календарного года в целях уменьшения вероятности генетических последствий. Эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно превышать 1/20 предела годового поступления для персонала.

Таблица 10.7

Параметры для определения значений нормируемых эквивалентных доз облучения отдельных органов и тканей

Нормируемая величина	Параметр чувствительной области облучаемого органа или ткани
Эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	Тонкий слой, расположенный на глубине 300 мг/см ² под поверхностью органа
Эквивалентная доза облучения кожи	При облучении кожи всего тела за исключением кожи ладоней — плоский слой с площадью сечения в 1 см ² и толщиной 5 мг/см ² , расположенный под покровным слоем толщиной 5 мг/см ² . При облучении кожи ладоней — плоский слой с площадью сечения 1 см ² и толщиной 5 мг/см ² , расположенный под покровным слоем толщиной 40 мг/см ² .
Эквивалентная доза облучения на поверхности нижней части области живота женщин	Тонкий слой, расположенный на глубине 1000 мг/см ²

Примечание: Толщина слоя вещества d , через которое проходит излучение, измеряется в г/см² или мг/см²: $d = r\rho$, где r — толщина поглотителя, см; ρ — плотность вещества, мг/см³. Например, если $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$ (биологическая ткань), то значение $d = 300 \text{ мг/см}^2$ эквивалентно толщине слоя в 3 мм.

Нормами регламентируется также эффективная доза для персонала, накопленная за период трудовой деятельности (50 лет) — 1000 мЗв.

НРБ-99 разрешается планируемое повышение облучения персонала в случае необходимости спасения людей или предотвращения их облучения при ликвидации или предупреждении аварии с разрешения территориальных или федеральных органов Госсанэпиднадзора. В случае облучения персонала в условиях планируемого повышенного облучения нормируются дозиметрические величины, представленные в табл. 10.8.

В НРБ-99 установлены также требования к защите от природного облучения в производственных условиях.

Эффективная доза облучения природными источниками всех работников в производственных условиях не должна превышать 5 мЗв в год.

Таблица 10.8

Нормируемые величины планируемого повышенного облучения

Нормируемая величина	Граничное значение, мЗв
Эффективная доза повышенного облучения	200
Эквивалентная доза повышенного облучения:	
хрусталика глаза	600
кожи	2000
кистей и стоп	2000

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Радиационная безопасность — это состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Система законодательного и методического обеспечения радиационной безопасности представлена на рис. 10.3.

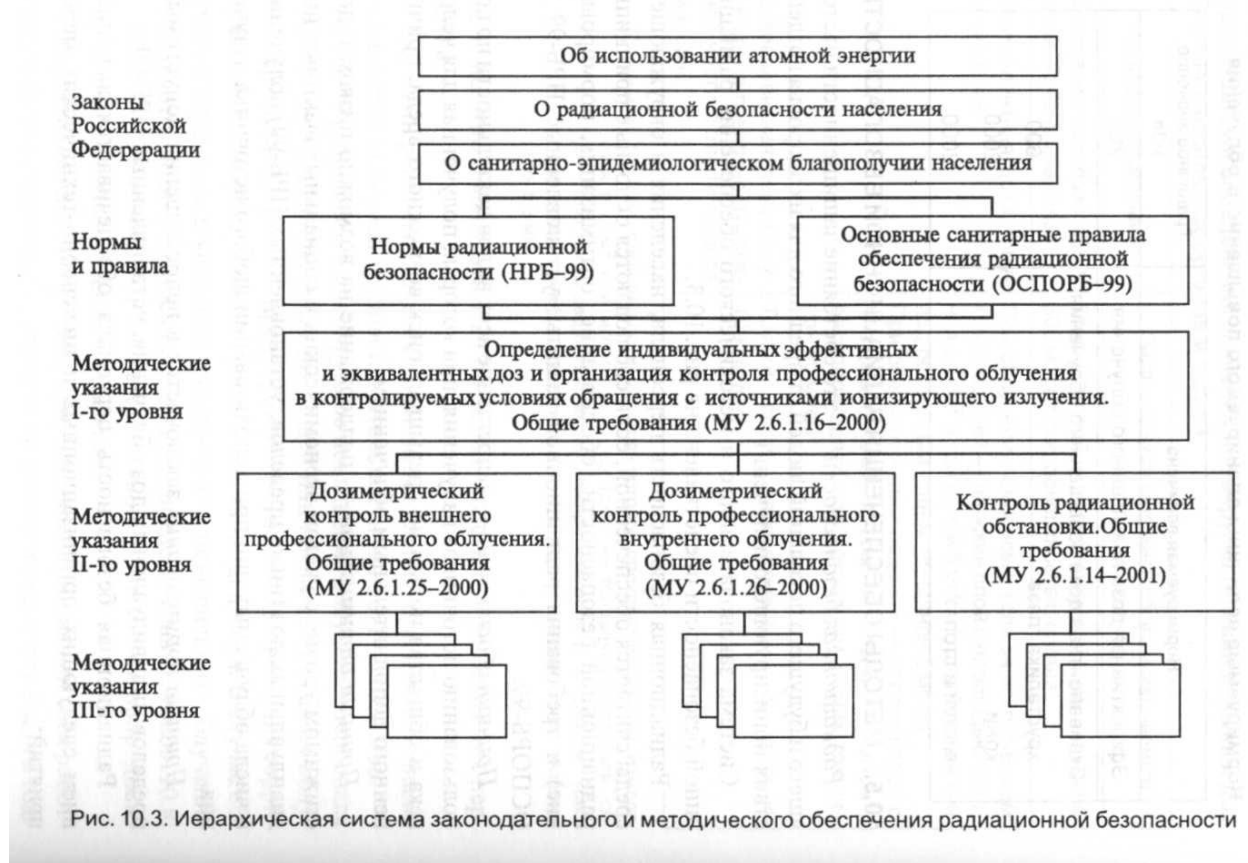
Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные НРБ-99 и ОСПОРБ-99.

Принцип обоснования — запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением.

Принцип оптимизации — поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз (ниже пределов, установленных НРБ-99) облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения.

Принцип нормирования заключается в непревышении допустимых пределов индивидуальных доз облучения, установленных НРБ-99.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается выполнением следующих организационных и инженерно-технических мероприятий:



- применением средств коллективной защиты;
- применением средств индивидуальной защиты;
- ограничением допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другими показателями;
- обучением работников правилам безопасной работы с источниками излучения;
- уменьшением мощности источников до минимальных величин (защита количеством);
- сокращением времени работы с источником (защита временем);
- увеличением расстояния от источников до работающих (защита расстоянием);
- проведением контроля профессионального облучения;
- организацией системы информации о радиационной обстановке;
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае угрозы и возникновения аварии.

Средства защиты от ионизирующего излучения

Для защиты от ионизирующих излучений применяются средства коллективной и индивидуальной защиты.

Классификация средств коллективной защиты от ионизирующего излучения дана в ГОСТ 12.4.120-83 (88) «ССБТ. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования» и приведена на рис. 10.4.

Средства коллективной защиты должны исключать непосредственный контакт персонала с радиоактивными веществами или уменьшать воздействие ионизирующих излучений на работающих до допустимых уровней. Они должны быть устойчивыми к механическим, химическим, температурным и атмосферным воздействиям; обладать стойкостью к применяемым веществам, реактивам, десорбирующим кислотным и щелочным растворам и иметь гладкую поверхность и влагостойкие слабосорбирующие покрытия, облегчающие удаление радиоактивных загрязнений

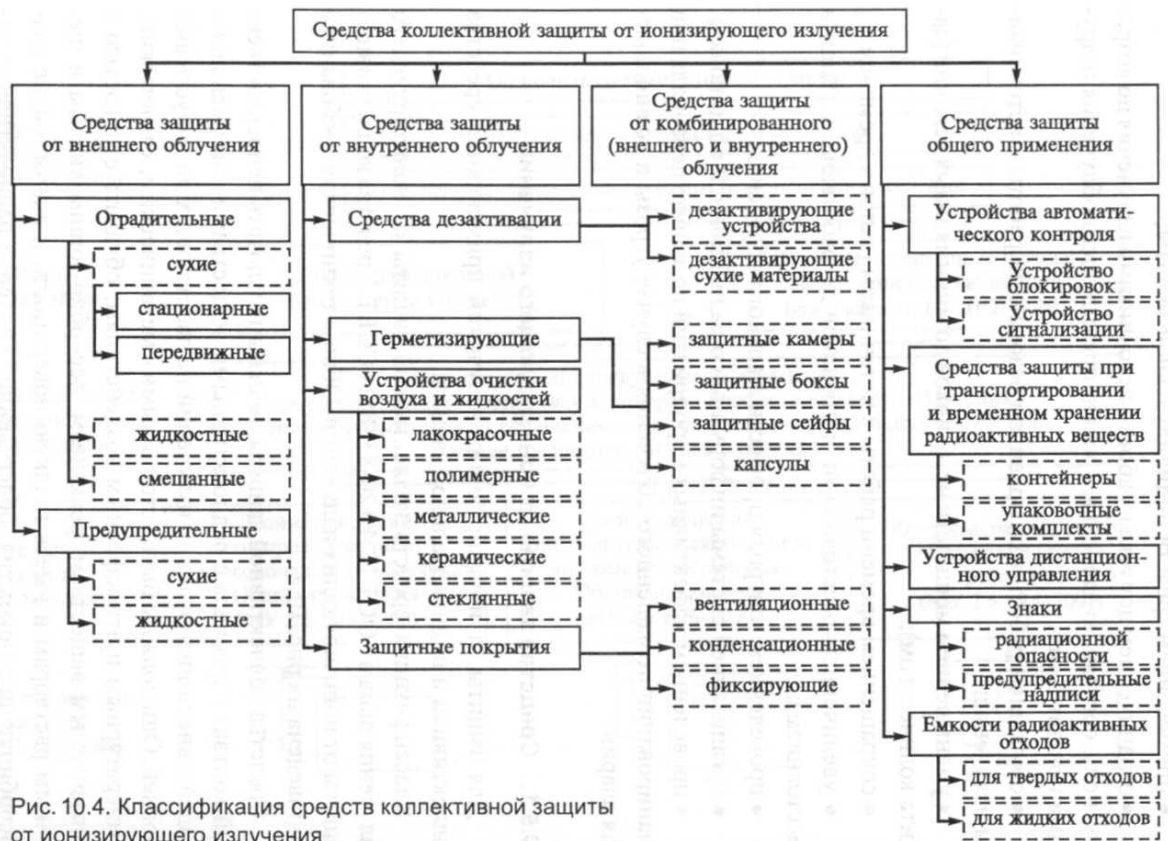


Рис. 10.4. Классификация средств коллективной защиты от ионизирующего излучения

Наиболее широко используемым средством коллективной защиты от ионизирующего излучения является экранирование. Под термином «экран» понимают передвижные или стационарные оградительные устройства (например, щиты), предназначенные для поглощения или ослабления ионизирующего излучения. Экранами служат также стенки сейфов для хранения радиоактивных изотопов, стенки боксов, защитных камер и др.

Эффективность экранов определяется, в первую очередь, материалом, из которого они выполнены, и толщиной.

Выбор материала для защитного экрана производится с учетом защитных и механических свойств, плотности и стоимости.

Защитные свойства экрана определяются, прежде всего, преобладающим видом излучения.

Для защиты от альфа-излучения достаточен слой воздуха в несколько сантиметров, т.е. небольшое удаление от источника. Применяют также тонкую фольгу, лист бумаги, экраны из плексигласа и стекла, толщиной в несколько миллиметров.

Бета-частицы, так же как альфа-частицы, обладая очень высокой плотностью ионизации, теряют свою энергию и поглощаются в сравнительно тонких слоях вещества. Однако они при прохождении через вещество расходуют свою энергию не только на ионизационные, но и радиационные потери, заключающиеся в торможении бета-частиц внешним полем ядер или электронов поглотителя, приводящим к образованию тормозного излучения. В связи с этим экраны для защиты от бета-излучения изготавливают из материалов с малой атомной массой (например, алюминия), которые дают наименьшее тормозное излучение.

Защитные свойства материалов от нейтронного излучения определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации.

Быстрые нейтроны наиболее эффективно замедляются веществами с малым атомным номером. К таким материалам относятся графит, а также водородосодержащие вещества (легкая и тяжелая вода, пластмассы, полиэтилен, парафин). Защита из воды конструктивно выполняется в виде секционных баков из стали и других материалов.

Для эффективного поглощения тепловых нейтронов применяются соединения с бором — борная сталь, бораль, борный графит, карбид бора, а также кадмий, бетон (на лимонитовых и других рудах).

Гамма-излучение наиболее эффективно ослабляется материалами с большим атомным номером и высокой плотностью (свинец, сталь, бетон на магнетитовых рудах, свинцовое стекло).

Для комбинированной защиты от нейтронов и гамма-излучения используют смеси тяжелых материалов с водой или водородосодержащими материалами, а также экраны, состоящие из нескольких слоев из тяжелых и легких материалов (свинец-полиэтилен, железо-вода и др.).

Толщина защитных экранов из различных материалов определяется в первую очередь интенсивностью излучения, расстоянием персонала от источника и временем пребывания в зоне воздействия излучения.

Для определения толщины защиты от фотонного излучения на практике

широко применяются универсальные таблицы, построенные на основании расчетных и экспериментальных данных. Входными параметрами этих таблиц являются энергия фотонов E и кратность ослабления K , под которой понимают отношение эквивалентной дозы или мощности эквивалентной дозы при отсутствии защиты к аналогичным величинам за защитным экраном толщиной d (табл 10.9

Продолжение табл. 10.9

k	Энергия гамма-излучения, МэВ					
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	10,0
Свинец ($\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$)						
1,5	0,05	0,2	0,8	1,2	1,2	0,9
10	0,3	1,6	3,8	5,9	6,4	4,2
100	0,5	3,0	7,0	11,3	12,1	8,7
1000	0,7	4,4	10,2	16,5	17,8	13,3
10^5	1,15	7,2	16,5	26,2	28,9	22,9
10^7	1,7	10,1	22,5	35,8	39,9	32,5
Вольфрам ($\rho = 19,3 \text{ г/см}^3$)						
1,5	0,04	0,28	0,70	1,00	0,8	0,5
10	0,21	1,1	2,4	3,8	4,1	2,9
100	0,38	2,1	4,5	7,0	8,0	5,7
1000	0,52	3,0	6,5	10,2	11,9	8,7
10^5	0,83	5,0	10,7	16,6	19,5	14,6
10^7	1,2	7,0	14,9	22,8	27,0	20,5

Таблица 10.9

Толщина защитного экрана d , см, из различных материалов

k	Энергия гамма-излучения, МэВ					
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	10,0
Бетон ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$)						
1,5	2,6	8,2	8,5	8,81	10,0	11,7
10	8,2	25,8	29,9	37,6	47,5	54,0
100	11,5	39,9	50,5	65,7	84,5	105,1
1000	15,5	55,2	70,4	92,7	120,9	155,0
10^5	30,5	82,8	106,8	144,4	191,4	248,9
10^7	64,0	110,3	142,0	194,9	259,4	340,5
Железо ($\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$)						
1,5	0,5	1,8	2,3	2,5	2,5	2,2
10	2,1	6,2	8,5	11,0	12,5	12,0
100	3,8	10,2	14,7	19,7	23,4	23,6
1000	5,0	14,7	20,4	28,0	33,7	35,2
10^5	8,5	22,7	31,8	43,5	53,0	57,7
10^7	11,6	30,5	42,4	58,6	72,8	79,3

Для определения толщины защиты от нейтронов, например, из воды на практике широко применяются номограммы. На рис. 10.5, а показана номограмма первого типа, связывающая мощность данного источника s_0 , расстояние от источника до точки детектирования r и толщину водной защиты d . Номограмма построена для продолжительности облучения 36 часов в неделю и предельно допустимой дозы для персонала, равной 1 мЗв/неделя.

На рис. 10.5, б приведена номограмма второго типа, которая показывает зависимость кратности ослабления k от толщины водной защиты для различных источников нейтронов.

Все лица, работающие с источниками излучения или посещающие участки, где производятся такие работы, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты в соответствии с видом и классом работ.

При работах 1 класса (наиболее опасных) и при отдельных работах второго класса работающие обеспечиваются основным комплектом СИЗ, включающим: спецбелье, носки, комбинезон или костюм (куртка, брюки), спецобувь, шапочку, перчатки, полотенца и одноразовые носовые платки, а также средства защиты органов дыхания.

Фильтрующие средства защиты органов дыхания применяются при работах в условиях возможного аэрозольного загрязнения воздуха помещений радиоактивными веществами (работа с порошками, выпаривание радиоактивных растворов и др.). При работах, когда возможно загрязнение воздуха помещения радиоактивными газами или парами (ликвидация аварий, ремонтные работы и т.п.), или когда применение фильтрующих средств не обеспечивает радиационную безопасность, применяются изолирующие защитные средства: пневмокостюмы, пневмошлемы, а в отдельных случаях — автономные изолирующие аппараты.

При выходе из помещений, в которых проводятся работы с радиоактивными веществами, проверяется чистота спецодежды и других СИЗ, они снимаются и при выявлении радиоактивного загрязнения направляются на дезактивацию, а сам работник моется под душем.

В случаях, когда неизбежно облучение в дозах, превышающих предельно допустимые, осуществляется профилактика методом фармако-химической защиты. Вещества, которые при введении в организм за определенное время до облучения снижают в той или иной степени радиационное поражение, называют радиозащитными или радиопротекторами.

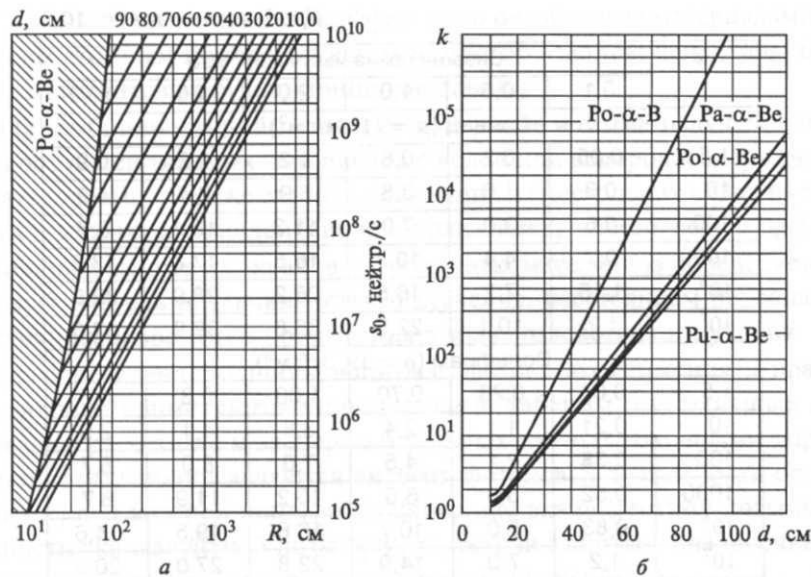


Рис. 10.5. *a* — номограмма для расчета водной защиты от нейтронов Po-α-Be-источника; *b* — номограмма для расчета защиты от нейтронов по кратности ослабления водой для различных источников

Радиопротекторы действуют эффективно, если они введены в организм перед облучением и присутствуют в нем в момент облучения. Например, известно, что йод накапливается в щитовидной железе. Поэтому, если есть опасность попадания в организм радиоактивного йода I^{131} , то заблаговременно вводят йодистый калий или стабильный йод I. Накапливаясь в щитовидной железе, эти нерадиоактивные разновидности йода препятствуют отложению в ней опасного в радиоактивном отношении I^{131} . Для защиты от стронция Cs^{137} , проникающего в костную ткань, рекомендуется употреблять продукты, содержащие кальций (фасоль, молоко и др.).

Существует много других радиопротекторов, имеющих различный механизм действия. Одним из важнейших механизмов, влияющих на радиочувствительность при использовании радиопротекторов, является также кислородный эффект. Под кислородным эффектом понимают усиление лучевого поражения при повышении концентрации кислорода в облучаемой среде во время действия излучения и напротив — ослабление радиационных нарушений при тканевой гипоксии. Наиболее эффективными в качестве радиопротекторов являются серосодержащие вещества (цистамин, цистафос, гаммафос и др.); биологически активные амины (мексамин, индралин и др.).

Препараты, используемые в качестве радиопротекторов, должны обладать следующими основными свойствами:

- быть достаточно эффективными и не вызывать побочного действия;
- действовать быстро и сравнительно продолжительное время;
- быть нетоксичными;
- не вызывать даже кратковременного снижения работоспособности;
- не обладать куммулятивным действием и не снижать устойчивости организма к другим факторам.

КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Профессиональное облучение — это облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Контроль профессионального облучения является одной из главных частей системы обеспечения радиационной безопасности и заключается:

- в получении информации о радиационной обстановке в помещениях и на рабочих местах в организации;
- в получении информации об уровнях доз облучения персонала.

Целью контроля доз профессионального облучения является достоверное определение доз облучения персонала для определения соответствия условий труда требованиям НРБ-99 и подтверждения того, что радиационная безопасность персонала обеспечена должным образом.

Для контроля профессионального облучения применяют:

- групповой дозиметрический контроль, заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работников на основании результатов измерений характеристик радиационной обстановки в рабочем помещении (на рабочих местах) с учетом времени пребывания персонала в этом помещении;
- индивидуальный дозиметрический контроль облучения, заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работника на основании результатов индивидуальных измерений характеристик облучения тела или отдельных органов каждого работника, либо индивидуального поступления радионуклидов в организм каждого работника.

Групповой дозиметрический контроль используется для определения доз облучения персонала только в условиях нормальной эксплуатации источника ионизирующих излучений:

- для определения доз профессионального облучения персонала группы А, если по имеющимся данным значение годовой дозы облучения на рабочих местах не превышает или по прогнозу не может превысить уровня введения индивидуального дозиметрического контроля;
- для определения доз облучения персонала группы Б. Критерии введения индивидуального дозиметрического контроля облучения персонала приведены в табл. 10.10. Уровни введения ИДК устанавливаются равными или выше значений уровня 1, но ниже уровня 2 в соответствии с принципами обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки.

Индивидуальный дозиметрический контроль используется:

- для определения доз облучения персонала группы А в условиях нормальной эксплуатации источника излучения, если по имеющимся данным значение годовой дозы облучения на рабочем месте превышает или по прогнозу может превысить уровень введения индивидуального дозиметрического контроля;

Т а б л и ц а 10.10

Критерии введения индивидуального дозиметрического контроля

Контролируемая величина	Уровень 1, мЗв	Уровень 2, мЗв
Годовая эффективная доза внешнего облучения фотонами	0,5	1
Годовая эффективная доза внешнего облучения любым излучением кроме фотонного	1	5
Годовая эффективная доза внутреннего облучения	1	5
Годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	20	50
Годовая эквивалентная доза облучения кожи, кистей и стоп	20	50
Месячная эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщин в возрасте до 45 лет	0,1	0,2

- для определения доз облучения всех лиц, работающих с источниками ионизирующего излучения в условиях планируемого повышенного облучения.

Проведение индивидуального и группового дозиметрического контроля осуществляется в соответствии с МУ 2.6.1.16-2000, МУ 2.6.1.25-2000, МУ 2.6.1.26-2000 (рис. 10.3).

Для измерения ионизирующего излучения применяются приборы, соответствующие требованиям ГОСТ 29074-91 «Аппаратура контроля радиационной обстановки. Общие требования» и ГОСТ 28271-89 «Приборы радиометрические и дозиметрические носимые. Общие технические требования и методы испытаний».

Технические средства, входящие в состав аппаратуры контроля радиационной обстановки, классифицируются по ряду признаков, в том числе по функциональному назначению, контролируемому радиационному параметру, виду ионизирующего излучения, временному характеру контроля, месту проведения контроля, назначению при эксплуатации и т.д. По назначению по эксплуатации технические средства подразделяются на:

- образцовые (специально разработанные или рабочие средства, аттестованные в качестве образцовых);
- рабочие (измерители, мониторы, измерители-сигнализаторы);
- индикаторные.

По применяемой классификации приборы, измеряющие характеристики ионизирующих излучений, делятся на дозиметры, радиометры и спектрометры.

К дозиметрам относятся приборы для измерения дозы или мощности дозы ионизирующего излучения, переносимой ионизирующим излучением или переданной им человеку, определенному органу или ткани человека, находящимся в поле его действия.

Радиометр — это прибор для измерения содержания радионуклидов в теле, в отдельных тканях и на поверхности кожных покровов человека, на единицу объема или поверхности различных сред (воздуха, воды, пищевых продуктов и др.).

Спектрометр — это прибор или установка для измерения ионизирующих излучений, предназначенные для получения информации о распределении ионизирующего излучения по одному или более параметрам, характеризующим источники и поля излучений.

Спектрометры позволяют не только зарегистрировать потоки альфа-, бета-частиц и гамма-квантов, но определить энергии частиц и фотонов гамма-излучения. По существу спектрометры, используемые при радиационном контроле, являются селективными радиометрами. По спектру излучения, выходящему из источника, можно определить радионуклидный состав пробы. Спектрометры используются для определения содержания радионуклидов в воде, пищевых продуктах, стройматериалах и т.д.

При проведении контроля профессионального облучения используются дозиметры и дозиметры-радиометры.

Дозиметры делятся на два больших класса по назначению: инспекционные и индивидуальные. Инспекционные дозиметры предназначаются для определения дозовых характеристик полей ионизирующего излучения и измеряют дозу, которую получил бы человек, находясь в точке измерения. Индивидуальные дозиметры находятся на теле человека и измеряют дозу, полученную конкретным человеком в поле ионизирующего излучения.

Дозиметры состоят из двух основных частей: детектора и измерительного устройства, которые либо постоянно связаны между собой, либо соединяются на время измерения.

Детекторами называются приборы и устройства для регистрации элементарных частиц (нейтронов, электронов и т.д.), а также рентгеновского излучения и гамма-квантов.

Принцип действия детекторов заключается в преобразовании энергии ионизирующего излучения в пропорциональный электрический заряд (электронные детекторы). Это происходит либо за счет непосредственной ионизации заряженными частицами газа или материала полупроводникового детектора, либо благодаря индуцированному светопропусканию или фотоэффекту в сцинтилляционных счетчиках. Незаряженные частицы, такие, как нейтроны, могут детектироваться за счет процессов, которые приводят к образованию заряженных частиц. К этим процессам относятся соударения с легкими атомами или ядерные реакции. Регистрация фотонов происходит за счет фотоэффекта, комптоновского эффекта и образования пар. Возникающие при этом электроны детектируются методами, которые описаны выше для случая ионизации.

Различные типы детекторов сильно различаются по энергии, которая необходима для образования одной пары электрон-ион или электрон-дырка:

- сцинтилляционный детектор — 300 эВ;
- газовый детектор — 25 эВ;
- полупроводниковый детектор — 3 эВ (Si — 3,66 эВ; Ge — 2,96 эВ). На рис. 10.6 приведена блок-схема дозиметрического прибора, основанного на ионизационном методе.

Принцип действия такого дозиметра заключается в следующем. Ионизирующее излучение производит ионизацию газовой среды в детекторе (ионизационная камера, газоразрядный счетчик), где образуется ионизационный ток. В усилителе ионизационный ток усиливается, а в каскаде формирования импульсов происходит калибровка импульсов одинаковых по форме и длительности. Интегратор формирует усредненное значение тока, пропорциональное частоте следования импульсов, которые измеряются на регистрирующем устройстве (микроамперметр, цифровой индикатор).

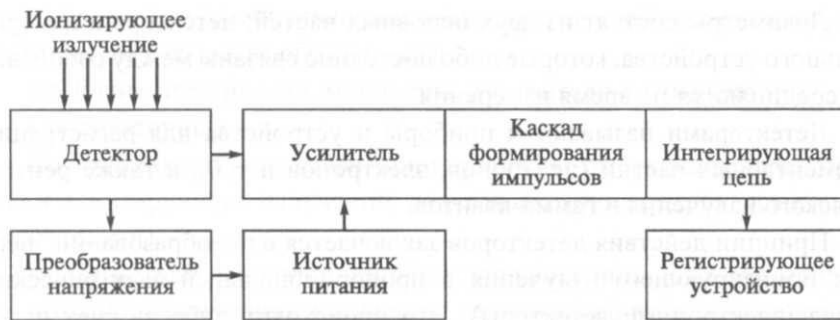


Рис. 10.6. Блок-схема дозиметрического прибора

В табл. 10.11 приведен перечень некоторых дозиметрических приборов, отвечающих нормативным требованиям и занесенных на настоящий момент в Госреестр средств измерений РФ (средства измерения вносятся в Госреестр сроком на 5 лет).

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Источник излучения (радиационный объект) до начала его эксплуатации принимается комиссией в составе представителей:

- заинтересованной организации;
- органов государственного надзора за радиационной безопасностью;
- органа исполнительной власти субъекта РФ (для объектов 1-й категорий т.е. для объектов, радиационное воздействие которых при аварии соответственно возможно на население и в пределах территории СЗЗ).

Деятельность организаций, связанная с использованием источников излучения, не допускается без наличия лицензии, выдаваемой в порядке, установленном законодательством РФ.

Получение, хранение источников излучения и проведение с ними работ разрешается только при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с источниками излучения требованиям ОСПОРБ-99, которое выдает орган санитарно-эпидемиологического надзора на срок не более 5 лет

Таблица 10.11

Дозиметрические приборы

Название и тип прибора	Измеряемые характеристики
<i>Дозиметры с газовыми детекторами</i>	
Дозиметры-радиометры МКГ-01	МАЭД и АЭД непрерывного рентгеновского и гамма-излучений; плотность потока бета-излучения. Диапазоны измерений: МАЭД от 0,10 до 500 мкЗв/ч в диапазоне энергий фотонов от 15 кэВ до 3,0 МэВ и от 501 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч в диапазоне энергий фотонов от 65 кэВ до 3,0 МэВ; АЭД — от 0,10 мкЗв до 1,0 Зв; плотность потока бета-частиц с энергией свыше 0,25 МэВ от $0,10 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ до $200 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ при фоновом гамма-излучении не более 0,25 мкЗв/ч.
<i>Дозиметры со сцинтилляционными детекторами</i>	
Дозиметры-радиометры ДКС-96	МАЭД и АЭД фотонного излучения, плотности потока альфа- и бета-излучений, мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения. Диапазоны измерений: МАЭД фотонного излучения — от 0,1 мкЗв/ч до 1 Зв/ч; АЭД — от 1,0 мкЗв до 1,0 Зв в диапазоне энергий от 0,015 до 10 МэВ; плотность потока альфа-частиц — от 0,1 до $10^4 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$, плотность потока бета-излучения — от 10 до $10^5 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$, мощность эквивалентной дозы нейтронов — от 0,1 до 10 000 мкЗв/ч.
<i>Дозиметры с полупроводниковыми детекторами</i>	
Дозиметры программируемые персональные RAD52S	Индивидуальная эквивалентная доза $H_p(10)$ фотонного излучения и ее мощность. Диапазоны измерений: от 1 мкЗв до 999 мЗв; от 50 мкЗв/ч до 3 Зв/ч.

Оборудование, контейнеры, упаковки, аппараты, передвижные установки, транспортные средства, содержащие источники излучения, должны иметь знак радиационной опасности (рис. 10.7), являющийся предупредительным и предназначенный для привлечения внимания к объектам радиационной опасности.

При нарушении требований ОСПОРБ-99 органы государственного санитарно-эпидемиологического надзора могут полностью или



Рис. 10.7. Знак радиационной опасности

частично приостановить в организации работу с источниками излучения, а также отозвать санитарно-эпидемиологическое заключение до истечения срока его действия.

В случае изменения конструкции источника излучения необходимо получить новое санитарно-эпидемиологическое заключение. К моменту получения источника излучения эксплуатирующая организация утверждает список лиц, допущенных к работе с ним, обеспечивает необходимое обучение и инструктаж, назначает приказом по организации лиц, ответственных за учет и хранение источников излучения, за организацию сбора, хранения и сдачу радиоактивных отходов, за производственный контроль за радиационной безопасностью.

К работе с источниками излучения (персонал группы А) допускаются лица, не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний. Перед допуском к работе с источниками излучения персонал должен пройти обучение, инструктаж и проверку знаний правил безопасности ведения работ и действующих в организации инструкций.

При проведении работ с источниками излучения не допускается выполнение операций, не предусмотренных инструкциями по эксплуатации и радиационной безопасности, за исключением действий, направленных на принятие экстренных мер по предотвращению аварий и других обстоятельств, угрожающих здоровью работающих.

Эксплуатирующая организация обеспечивает сохранность источников излучения и должна создать такие условия их получения, хранения, использования и списания с учета, при которых исключается возможность их утраты или бесконтрольного использования.

Все поступившие в организацию источники излучения регистрируются в приходно-расходном журнале, а сопроводительные документы передаются в бухгалтерию для оприходования.

Выдаются источники излучения ответственным лицом из мест хранения по требованию с письменного разрешения руководителя организации или лица, им уполномоченного. Выдача и возврат источников также регистрируется в приходно-расходном журнале.

Ежегодно комиссия, назначенная руководителем организации, производит инвентаризацию радиоактивных веществ, радиоизотопных приборов, аппаратов, установок. В случае обнаружения хищений и потерь источников администрация обязана немедленно информировать вышестоящую организацию и органы государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Источники излучения, не находящиеся в работе, хранятся в специально отведенных местах или в оборудованных хранилищах, обеспечивающих их сохранность и исключают доступ к ним посторонних лиц.

Радионуклиды, при хранении которых возможно выделение радиоактивных газов, паров или аэрозолей, хранятся в вытяжных шкафах, боксах, камерах, с очистными фильтрами на вентсистемах, в закрытых сосудах, выполненных из несгораемых материалов, с отводом образующихся газов.

Радионуклидные источники излучения, не пригодные для дальнейшего использования, должны своевременно списываться и сдаваться на переработку или захоронение.

Транспортирование радионуклидных источников должно осуществляться на специальных транспортных средствах, имеющих санитарно-эпидемиологическое заключение. Уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств не должны превышать значений, установленных ОСПОРБ-99.

Вывод из эксплуатации источника излучения (радиационного объекта) осуществляется после разработки детального проекта, согласованного с органами государственного надзора за радиационной безопасностью.

Проект вывода из эксплуатации радиационного объекта должен содержать:

- подготовку необходимого оборудования для проведения демон-тажных работ;
- методы и средства дезактивации демонтируемого оборудования;
- порядок утилизации радиоактивных отходов.

При выводе радиационного объекта из эксплуатации оцениваются ожидаемые индивидуальные и коллективные дозы облучения персонала и населения.

Работы по выводу из эксплуатации объекта выполняются специально подготовленным персоналом объекта или персоналом других организаций, имеющих соответствующую лицензию.

ЛИКВИДАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Радиоактивными отходами называются не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные в НРБ-99.

В частности, к газообразным радиоактивным отходам относятся не подлежащие использованию радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при производственных процессах с объемной активностью, превышающей допустимую объемную активность, значения которой приведены в НРБ-99.

К жидким радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию жидкости, пульпы и шламы, в которых удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенных в НРБ-99.

К твердым радиоактивным отходам относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие радиоактивные отходы, в которых удельная активность радионуклидов больше значений приведенных в НРБ-99, а при неизвестном радионуклидном составе удельная активность больше:

- 100 кБк/кг — для источников бета-излучения;
- 10 кБк/кг — для источников альфа-излучения;
- 1,0 кБк/кг — для трансурановых радионуклидов. Радиоактивные отходы подразделяются по удельной активности на

3 категории (табл. 10.12):

- низкоактивные;
- среднеактивные;
- высокоактивные.

Газообразные радиоактивные отходы выдерживаются и очищаются на фильтрах для снижения их активностей до уровней, регламентируемых допустимым выбросом, после чего удаляются в атмосферу.

Система обращения с твердыми и жидкими радиоактивными отходами включает их сбор, сортировку, упаковку, временное хранение, кондиционирование (концентрирование, отверждение, прессование, сжигание), транспортирование, длительное хранение и (или) захоронение (т.е. безопасное размещение отходов без намерения последующего их извлечения).

Сбор радиоактивных отходов производится непосредственно в местах их образования отдельно от обычных отходов с учетом:

- категории отходов;
- агрегатного состояния;
- физических и химических характеристик;

Таблица 10.12

Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	Бета-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	Менее 10^3	Менее 10^2	Менее 10
Среднеактивные	От 10^3 до 10^7	От 10^2 до 10^6	От 10 до 10^5
Высокоактивные	Более 10^7	Более 10^6	Более 10^5

- природы (органические, неорганические);
- периода полураспада радионуклидов, находящихся в отходах (менее 15 суток, более 15 суток);
- взрыво- и огнеопасности;
- принятых методов переработки отходов.

Жидкие радиоактивные отходы собираются в специальные емкости, железобетонные резервуары, облицованные стальным листом. В организациях, где возможно образование значительного количества жидких отходов (более 200 л в день), может использоваться система спецканализации, в которую не должны попадать нерадиоактивные стоки.

Для сбора, временного хранения и выдержки твердых радиоактивных отходов используются сборники-контейнеры, которые помещаются в специальные защитные колодцы или ниши в случае, если у их поверхности доза гамма-излучения превышает 2 мГр/ч.

Радиоактивные отходы, содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 15 суток, собираются отдельно от других радиоактивных отходов и выдерживаются в местах временного хранения для снижения активности до уровней, не превышающих допустимых. После чего твердые отходы удаляются как обычные промышленные отходы, а жидкие сливаются в хозяйственно-бытовую канализацию или используются организацией в системе оборотного хозяйственно-технического водоснабжения.

Самовоспламеняющиеся и взрывоопасные радиоактивные отходы перед отправкой на захоронение должны быть переведены в неопасное состояние.

Транспортировка радиоактивных отходов производится в механически прочных герметичных упаковках на специально оборудованных транспортных средствах при

наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий и способов транспортировки санитарным правилам.

Переработку, долговременное хранение и захоронение радиоактивных отходов производят специализированные организации по обращению с радиоактивными отходами.

Захоронение высокоактивных, среднеактивных и низкоактивных отходов осуществляется отдельно.

Выбор места захоронения радиоактивных отходов производится с учетом гидрогеологических, геоморфологических, тектонических и сейсмических условий. При этом должна быть обеспечена радиационная безопасность населения и окружающей среды в течение всего срока изоляции отходов с учетом долговременного прогноза.

Эффективная доза облучения населения, обусловленная радиоактивными отходами, включая этапы хранения и захоронения, согласно ОСПОРБ-99 не должна превышать 10 мкЗв/год.

