

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич

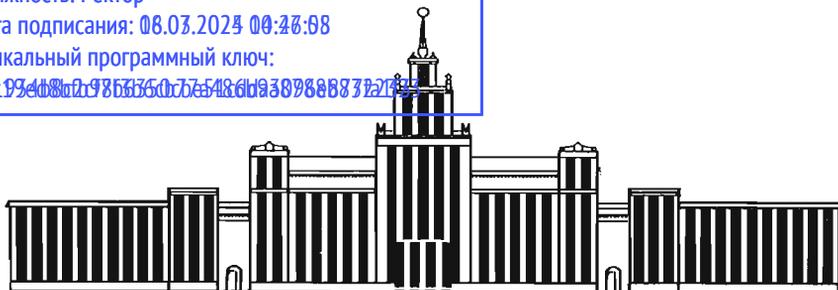
Должность: Ректор

Дата подписания: 08.03.2024 00:28:08

Уникальный программный ключ:

091934080298673507548609309888772782

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

658.382(07)

Б40

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие  
с элементами самостоятельной работы студентов

Часть I

Челябинск

2009

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

658.382(07)  
Б40

С.И. Боровик, Л.М. Киселева, А.В. Кудряшов, И.С. Окраинская,  
И.П. Палатинская, А.И. Сидоров, И.В. Скуртова, А.В. Хашковский

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Учебное пособие  
с элементами самостоятельной работы студентов

Часть I

Под редакцией А.И. Сидорова

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2009

УДК 658.382(075.8) + 614(075.8)

ББК Ц69.я7

Б40

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
механико-технологического факультета*

*Рецензенты: Ю.Г. Горшков, Г.В. Туникова*

Б40 **Безопасность жизнедеятельности:** учебное пособие с элементами самостоятельной работы студентов / С.И. Боровик, Л.М. Киселева, А.В. Кудряшов и др; под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – Ч. 1. – 247 с.

Учебное пособие написано в соответствии с Государственным образовательным стандартом для высших учебных заведений и содержит основные определения и понятия по безопасности жизнедеятельности человека в техносфере. Изложены сведения об источниках и негативных воздействиях на организм человека основных факторов производственной среды; описаны методы и средства обеспечения безопасности производственной деятельности.

Пособие предназначено для студентов вузов и может быть полезно работникам служб, занимающихся вопросами охраны труда и окружающей среды.

УДК 658.382(075.8) + 614(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Мировоззрение человека складывается к 20–25 годам его жизни. В мировоззрении нашего современника, в нашем российском менталитете есть один пробел, всего один, но он существенно влияет на нашу жизнь, ее качество, ее уровень, ее БЕЗОПАСНОСТЬ – это пренебрежение к своему здоровью, образу жизни, питанию, поведению в экстремальных ситуациях, то есть ко всему тому, что определяет продолжительность нашего с Вами, читатель, пребывания на этой многострадальной Земле. Многострадальной и по нашей с Вами вине.

У нас нет той колоссальной тяги к жизни, которую так великолепно показал Джек Лондон в своем небольшом, но емком рассказе «Зов жизни». А почему? Да потому, что в шкале ценностей собственная наша безопасность, хотя и находится на первом месте, но во втором десятке. И что из этого следует? А следует из этого то, что Вы соприкоснетесь с мировоззренческой дисциплиной, дисциплиной, которая должна заставить задуматься о себе, любимом, о нас, окружающих, о Земле нашей многострадальной.

В этом небольшом пособии заложены лишь азы БЕЗОПАСНОСТИ, но авторы скромно надеются, что полученные Вами знания будут первой ступенькой в мир прекрасной, здоровой, благополучной и долгой ЖИЗНИ!

В добрый путь!

# Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## 1.1. Определение, цели, задачи, объект и предметы изучения науки «Безопасность жизнедеятельности»

Жизнедеятельность человека неразрывно связана с окружающей его средой обитания. В процессе жизнедеятельности человек и среда постоянно взаимодействуют друг с другом, образуя систему «человек – среда обитания» [1].

**Жизнедеятельность** – это повседневная деятельность и отдых, способ существования человека.

**Среда обитания** – окружающая человека среда, обусловленная в данный момент совокупностью факторов (физических, химических, биологических, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность человека, его здоровье и потомство.

Основная мотивация человека в его взаимодействии со средой обитания направлена на решение, как минимум, двух основных задач:

- обеспечение своих потребностей в пище, воде и воздухе;
- создание и использование защиты от негативных воздействий среды обитания.

В системе «человек – среда обитания» происходит непрерывный обмен потоками вещества, энергии и информации, которые имеют *естественную, техногенную*, связанную с производством и использованием техники и технологий, и *антропогенную*, вызванную деятельностью человека, природу. Они во многом зависят от масштабов преобразующей деятельности человека и от состояния среды обитания. Потоки веществ, энергий и информации определяют характер взаимодействия человека со средой обитания, который может быть позитивным или негативным.

Человек и окружающая его среда гармонично взаимодействуют и развиваются лишь в комфортных условиях, когда потоки вещества, энергии и информации находятся в пределах, благоприятно воспринимаемых человеком и природной средой. Любое превышение привычных уровней потоков сопровождается негативными воздействиями на человека и/или окружающую среду.

На всех этапах своего развития человек непрерывно воздействовал на среду обитания, и в результате на Земле в XX веке возникли зоны повышенного антропогенного и техногенного влияния на природную среду, что привело к частичной и к полной ее региональной деградации. Этим изме-

нениям во многом способствовали высокие темпы роста численности населения на Земле и его урбанизация, рост потребления энергетических ресурсов, интенсивное развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, массовое использование транспортных средств и ряд других процессов. Таким образом, в результате активной техногенной деятельности человека создан новый тип среды обитания – *техносфера*. Создавая техносферу, человек стремился к повышению комфортности среды обитания, к обеспечению защиты от естественных негативных воздействий. Однако созданная руками и разумом человека техносфера во многом не оправдала надежды людей, так как появившиеся производственная и городская среды оказались далеки по уровню безопасности от допустимых требований. Именно поэтому в последнее десятилетие стало активно развиваться учение о безопасности жизнедеятельности в техносфере, основной целью которого является защита человека от негативных воздействий антропогенного и естественного происхождения, достижение комфортных условий жизнедеятельности.

**Безопасность жизнедеятельности (БЖД)** – система знаний, обеспечивающая безопасность обитания человека в производственной и непроизводственной среде, и развитие деятельности по обеспечению безопасности в перспективе с учетом антропогенного влияния на среду обитания.

Безопасность человека определяется отсутствием производственных и непроизводственных аварий, стихийных и других природных бедствий, опасных факторов, вызывающих травмы или резкое ухудшение здоровья, вредных факторов, вызывающих заболевание человека и снижение его работоспособности.

Как всякая наука, БЖД имеет цель, задачи, объект и предметы изучения, средства познания и принципы, используемые для решения практических и теоретических задач.

**Цель БЖД** исходит из определения этой науки и представляет собой достижение безопасности в средах обитания. Исходя из этого, целью БЖД является:

- готовность к чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера;
- предупреждение травматизма;
- сохранение работоспособности и здоровья работников;
- сохранение качества полезного труда.

Для достижения этой цели БЖД необходимо решить ряд научных и практических задач. К научным задачам относятся получение новых, принципиально нестандартных знаний в виде выявленных законов либо теоретического описания технологического процесса, математического описания явлений и т. п., помогающих решать практические задачи. К практическим задачам относятся разработка конкретных практических

мероприятий, обеспечивающих жизнедеятельность человека без травм, аварий при сохранении его здоровья и работоспособности с высоким качеством трудовой деятельности.

*Объектом изучения БЖД как науки* является среда обитания человека.

*Среда обитания человека (среда обитания)* – совокупность объектов, явлений и факторов окружающей среды, определяющая условия жизнедеятельности человека. Среду обитания человека по генезису (происхождению) можно классифицировать на производственную (пространство, в котором совершается трудовая деятельность человека) и непроизводственную.

*Основным элементом производственной среды* является труд, который в свою очередь состоит из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, составляющих структуру труда: субъекты труда, средства и предметы труда, технологические процессы, продукты труда как полезные, так и побочные в виде образующихся вредных и опасных примесей в воздушной среде и т. п., производственные отношения (организационные, экономические, социально-психологические, правовые), профессиональная и эстетическая культура и т.д.

*Природная среда* в виде географо-ландшафтных, географических, климатических элементов, стихийных бедствий (пожаров от молний), природных процессов (газовыделений из горных пород) может проявляться как в непроизводственной, так и производственной сфере, особенно в таких отраслях, как строительство, горная промышленность, металлургия и др.

Все элементы, составляющие среду обитания человека, в действии становятся факторами, влияющими на БЖД. Исходя из этого, наука БЖД обязана рассматривать влияние этих факторов на человека, как отдельно, так и в совокупности. Только при таком системном подходе можно в комплексе реализовать конечную цель БЖД.

*Предметом изучения БЖД* являются физиологические и психологические возможности человека с точки зрения БЖД, формирование безопасных условий, их оптимизация и т. д.

Исследование предметов и объекта БЖД для реализации конечной ее цели и задач возможно с использованием не только своих знаний, но и знаний, полученных другими науками, такими как основы управления, индустриально-педагогическая психология, культура производства, инженерная психология, право, техническая эстетика, эргономика, производственная санитария, техника безопасности, гражданская оборона, охрана окружающей среды.

## 1.2. Опасности и их источники, количественная характеристика опасности, концепция приемлемого риска

Негативные воздействия в системе «человек – среда обитания» принято называть опасностями.

**Опасность** – центральное понятие БЖД, под которым понимается совокупность свойств факторов среды обитания человека (или конкретной ситуации), способных вызывать неблагоприятные для здоровья эффекты при определенных условиях воздействия [2].

Источником опасности может быть все живое и неживое, а подвергаться опасности также может все живое и неживое. При анализе опасностей необходимо исходить из принципа «все воздействует на все». Опасности не обладают избирательным свойством и при своем возникновении негативно воздействуют на всю окружающую их материальную среду. Опасности реализуются в виде потоков энергии, вещества и информации, они существуют в пространстве и во времени.

Все опасности классифицируют по ряду признаков.

*По видам источников* возникновения различают опасности естественные, техногенные и антропогенные.

**Естественные опасности** обусловлены стихийными явлениями, климатическими условиями, рельефом местности и т. п.

Опасности, создаваемые техническими средствами, называют **техногенными**, а **антропогенные опасности** возникают в результате ошибочных или несанкционированных действий человека или группы людей.

*По видам потоков* в жизненном пространстве опасности делятся на энергетические, массовые и информационные

*По моменту возникновения* опасности делятся на прогнозируемые и спонтанные.

*По виду воздействия* на человека различают вредные и травмоопасные.

*По объектам защиты* различают опасности, действующие на человека, на природную среду и на материальные ресурсы.

*По видам зон воздействия* опасности делятся на производственные, бытовые, городские (транспортные и др.), зоны чрезвычайных ситуаций.

*По вероятности воздействия* на человека и среду обитания опасности разделяют на потенциальные, реальные и реализованные.

**Потенциальная опасность** представляет угрозу общего характера, не связанную с пространством и временем воздействия. Например, в выражении «шум вреден для человека» говорится только о потенциальной опасности шума для человека. Наличие потенциальных опасностей находит свое отражение в **аксиоме**: «Жизнедеятельность человека потенциально опасна». Аксиома предопределяет, что все действия человека и все компоненты среды обитания, прежде всего технические средства и технологии,

кроме позитивных свойств и результатов, обладают способностью генерировать опасность. При этом любое новое позитивное действие человека или его результат неизбежно приводят к возникновению новых опасностей – негативных факторов.

Чем выше преобразующая деятельность человека, тем выше уровень и число антропогенных и техногенных опасностей – вредных и опасных факторов, отрицательно воздействующих на человека и окружающую его среду [3].

**Вредный фактор** – негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению самочувствия или заболеванию.

**Опасный фактор** – негативное воздействие на человека, которое приводит к травме или летальному исходу.

В настоящее время перечень реально действующих техногенных и антропогенных негативных факторов значителен и насчитывает более 100 видов. К наиболее распространенным и обладающим достаточно высокими концентрациями или значительными энергетическими уровнями относятся вредные производственные факторы: запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др. В быту нас также сопровождает большая гамма негативных факторов. К ним относятся загрязненный воздух, недоброкачественная пища, шум, электромагнитные поля от бытовых приборов и др.

**Реальная опасность** всегда связана с конкретной угрозой воздействия на человека, она координирована в пространстве и во времени. Например, движущаяся по шоссе автоцистерна с надписью «Огнеопасно» представляет собой реальную опасность для человека, находящегося около автодороги. Как только автоцистерна уйдет из зоны пребывания человека, она тотчас же превратится в источник потенциальной опасности по отношению к этому человеку.

**Реализованная опасность** – факт воздействия реальной опасности на человека и (или) среду обитания, приведший к потере здоровья или к летальному исходу человека, к материальным потерям. Если взрыв автоцистерны привел к ее разрушению, гибели людей и возгоранию строений, то это – реализованная опасность. Реализованные опасности принято разделять на *происшествия, чрезвычайные происшествия, аварии, катастрофы и стихийные бедствия*.

**Происшествие** – событие, состоящее из негативного воздействия с причинением ущерба людским, природным или материальным ресурсам.

**Чрезвычайное происшествие (ЧП)** – событие, происходящее кратковременно и обладающее высоким уровнем негативного воздействия на людей, природные и материальные ресурсы. К ЧП относятся крупные аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

**Аварии** – происшествие в технической системе, не сопровождающееся гибелью людей, при которой восстановление технических средств невозможно или экономически нецелесообразно.

**Катастрофа** – происшествие в технической системе, сопровождающееся гибелью или пропажей без вести людей.

**Стихийное бедствие** – происшествие, связанное со стихийными явлениями на Земле и приведшее к разрушению биосферы, техносферы, к гибели или потере здоровья людей.

**Чрезвычайная ситуация (ЧС)** – состояние объекта, территории или акватории, как правило, после ЧП, при котором возникает угроза жизни и здоровью для группы людей, наносится материальный ущерб населению и экономике, деградирует природная среда.

Для количественной оценки опасности используется понятие «риск».

**Риск** – это частота реализации опасности и может быть определена по формуле

$$R = n / N,$$

где  $n$  – число тех или иных неблагоприятных последствий;  $N$  – возможное число неблагоприятных последствий за определенный период.

В соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и др. видов ущерба.

Основываясь на статистических производственных данных о частоте неблагоприятных последствий можно прогнозировать величину возможных рисков. Такой прогноз позволяет определить значимость каждого риска и разработать мероприятия по улучшению условий труда на производстве с позиции безопасности.

Различают индивидуальный, социальный, совокупный и др. риски.

**Индивидуальный риск** характеризует опасность определенного вида для отдельного индивидуума. **Социальный** (коллективный) – это риск для группы людей.

**Совокупный риск** - вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда. Совокупный риск интегрирует несколько разноплановых понятий о риске (здоровью, экологический, повреждений имущества).

Следует отметить, что процедура определения риска весьма приближена. Можно выделить 4 методических подхода к определению риска:

1) инженерный, опирающийся на статистику, расчет частот, вероятностный анализ безопасности, построение деревьев опасности;

2) модельный, основанный на построении моделей воздействия вредных факторов на отдельного человека, социальные, профессиональные группы и т. п.;

3) экспертный, когда вероятность различных событий определяется на основе опроса опытных специалистов, т. е. экспертов;

4) социологический, основанный на опросе населения.

Традиционная техника безопасности базируется на категорическом императиве: обеспечить безопасность, не допустить никаких аварий. Как показывает практика, такая концепция неадекватна законам техносферы. Требование абсолютной безопасности, подкупающее своей гуманностью, может обернуться трагедией для людей, потому что обеспечить нулевой риск в действующих системах невозможно. Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой заключается в стремлении к достижению такой малой опасности, которую приемлет общество в данный период времени.

Приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Прежде всего, нужно иметь в виду, что экономические возможности повышения безопасности технических систем не безграничны. Затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности, можно нанести ущерб социальной сфере, например, ухудшить медицинскую помощь.

На рис. 1.1 показан упрощенный пример определения приемлемого (допустимого) риска, из которого видно, что при увеличении затрат на безопасность технический риск снижается, но растет социальный.

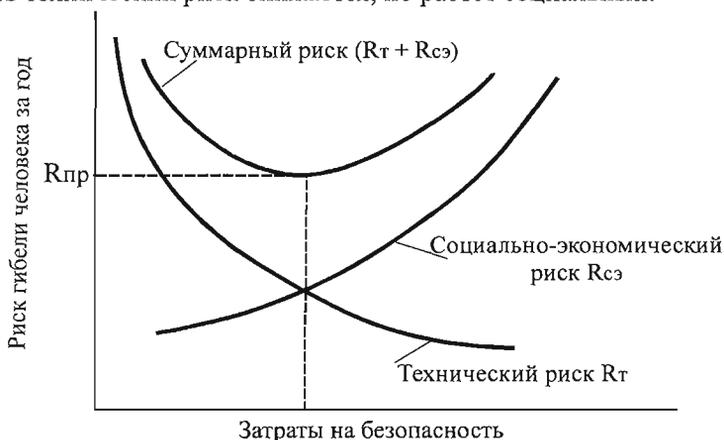


Рис. 1.1. Определение приемлемого риска

Суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы. Это обстоятельство нужно учитывать при выборе риска, с которым общество вынуждено мириться. В настоящее время сложились представления о величинах приемлемого (пренебрежимо малого) и неприемлемого риска. Пренебрежимо малым уровнем индивидуального риска гибели обычно считается  $10^{-6}$  в год. Неприемлемый риск имеет вероятность реализации более  $10^{-3}$ .

При характеристике риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических веществ, загрязняющих окружающую среду, ориентируются на систему критериев приемлемости риска [2]. В соответствии с критериями риски классифицируются на 4 диапазона (табл. 1.1).

Таблица 1.1

### Классификация уровней риска

| Диапазон риска   | Величина индивидуального риска (R) |
|--|------------------------------------|
| 1-й – пренебрежимо малый   | $R \leq 10^{-6}$                   |
| 2-й – предельно допустимый   | $10^{-6} < R < 10^{-4}$            |
| 3-й – приемлемый для профессиональных групп и неприемлемый для населения | $10^{-4} < R < 10^{-3}$            |
| 4-й – неприемлемый для населения и для профессиональных групп            | $R \geq 10^{-3}$                   |

**1-й диапазон риска** характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми, как *пренебрежимо малые*, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков. Индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший  $10^{-6}$ , что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю.

**2-й диапазон риска** соответствует *предельно допустимому* риску, т. е. верхней границе приемлемого риска. Индивидуальный риск в течение всей жизни боле  $10^{-6}$ , но менее  $10^{-4}$ . На этом уровне риска установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом (например, для питьевой воды ВОЗ в качестве допустимого риска использует величину  $10^{-5}$ , для атмосферного воздуха –  $10^{-4}$ ). Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

**3-й диапазон риска приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения** в целом. Индивидуальный риск в течение всей жизни более  $10^{-4}$ , но менее  $10^{-3}$ . Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории.

**4-й диапазон риска неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп.** Индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более  $10^{-3}$ . При достижении данного диапазона риска необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска.

При планировании долгосрочных программ, установлении региональных гигиенических нормативов целесообразно ориентироваться на величину *целевого риска* – такого уровня риска, который должен быть достигнут в результате проведения мероприятий по управлению риском. В большинстве стран, а также в рекомендациях экспертов ВОЗ величина целевого риска принимается  $10^{-6}$ .

Величина целевого риска для условий населенных мест в России составляет  $10^{-5} - 10^{-6}$ .

В настоящее время концепция оценки риска практически во всех странах мира рассматривается в качестве главного механизма разработки и принятия управленческих решений как на международном, государственном или региональном уровнях, так и на уровне отдельного производства [2].

### 1.3. Понятие безопасности. Системы безопасности

Все опасности тогда реальны, когда они воздействуют на конкретные объекты (объекты защиты). Объекты защиты, как и источники опасностей, многообразны. Каждый компонент окружающей нас среды может быть объектом защиты от опасностей. Основное желаемое состояние объектов защиты – безопасное.

**Безопасность** – состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений. Говоря о реализации состояния безопасности, необходимо одновременно рассматривать объект защиты и совокупность опасностей, действующих на него. Сегодня реально существуют следующие системы безопасности:

- система личной и коллективной безопасности человека в процессе его жизнедеятельности;

- система охраны окружающей среды (биосферы);
- система государственной безопасности;
- система глобальной безопасности.

Историческим приоритетом обладают системы обеспечения безопасности человека, который на всех этапах своего развития постоянно стремился к обеспечению комфорта, личной безопасности и сохранению своего здоровья.

#### 1.4. Принципы и методы обеспечения безопасности

*Принцип* – это идея, мысль, основное положение. *Метод* – это путь, способ достижения цели, исходящий из знания наиболее общих закономерностей. Принципы и методы обеспечения безопасности относятся к частным, специальным методам в отличие от общих методов, присущих диалектике и логике.

Принципы обеспечения безопасности можно подразделить на ориентирующие, технические, организационные и управленческие.

К ориентирующим относятся: принцип активности оператора, гуманизации деятельности, деструкции, замены оператора, классификации, ликвидации опасности, системности, снижения опасности.

К техническим относятся: принцип блокировки, вакуумирования, герметизации, защиты расстоянием, компрессии, прочности, слабого звена, флегматизации, экранирования.

К организационным относятся: принцип защиты временем, информации, несовместимости, нормирования, подбора кадров, последовательности, эргономичности.

К управленческим относятся: принцип адекватности контроля, обратной связи, ответственности, плановости, стимулирования, управления, эффективности.

Поясним некоторые принципы с примерами их реализации.

Принцип нормирования заключается в установлении таких параметров, соблюдение которых обеспечивает защиту человека от соответствующей опасности. Например, ПДК (предельно допустимые концентрации), ПДВ (предельно допустимые выбросы), ПДУ (предельно допустимые уровни) и др.

Принцип слабого звена состоит в том, что в рассматриваемую систему (объект) в целях обеспечения безопасности вводится элемент, который устроен так, что воспринимает или реагирует на изменение соответствующего параметра, предотвращая опасное явление. Примером реализации данного принципа являются разрывные мембраны, предохранители и другие элементы.

Принцип информации заключается в передаче и усвоении персоналом сведений, выполнение которых обеспечивает соответствующий уровень

безопасности. Примеры реализации: обучение, инструктаж, предупредительные надписи и др.

Принцип классификации (категорирования) состоит в делении объектов на классы и категории по признакам, связанным с опасностями. Например: санитарно-защитные зоны, категории производств по взрывопожарной опасности и др.

Для рассмотрения методов обеспечения безопасности введем следующие определения.

**Гомосфера** – пространство (рабочая зона), где находится человек в процессе рассматриваемой деятельности.

**Ноксосфера** – пространство, в котором постоянно существуют или периодически возникают опасности.

Совмещение гомосферы и ноксосферы недопустимо с позиций безопасности.

Безопасность обеспечивается тремя основными методами: **А, Б, В.**

**Метод А** состоит в пространственном и (или) временном разделении гомосферы и ноксосферы. Это достигается средствами дистанционного управления, автоматизации, роботизации и др.

**Метод Б** состоит в нормализации ноксосферы путем исключения опасностей. Это – совокупность мероприятий, защищающих человека от шума, газа, пыли и др. средствами коллективной защиты.

**Метод В** содержит гамму приемов и средств, направленных на адаптацию человека к соответствующей среде и повышение его защищенности. Данный метод реализует возможности профотбора, обучения, психологического воздействия, средств индивидуальной защиты.

В реальных условиях, как правило, указанные методы используются совместно или в различных комбинациях.

### **1.5. Характеристика человека как элемента системы «человек – среда обитания»**

В качестве одного из предметов изучения безопасности жизнедеятельности выступают возможности человека как элемента системы «человек – среда обитания» [1].

Человеку постоянно требуются сведения о текущем состоянии и изменениях во внешнем мире и внутренней среде организма для оценки этой информации и принятия решений по своему поведению и выработке программ дальнейшей жизнедеятельности.

Восприятие действующих на организм раздражителей, проведение и обработку возникающего при этом возбуждения, формирование ответственных приспособительных реакций осуществляет нервная система (НС) человека. Нервная система имеет сложное строение. Различают централь-

ную (ЦНС) и периферическую (ПНС) нервные системы. ЦНС – основная часть нервной системы – представлена у позвоночных животных и человека головным и спинным мозгом. Эта система формирует и регулирует поведение и мыслительную деятельность человека. Периферическая нервная система (ПНС) – нервы, по которым распространяются нервные импульсы с периферии в нервные центры и, наоборот, от нервных центров к периферическим органам.

Нервная система функционирует благодаря трем основным элементам. Этими элементами являются рецептор, нервная клетка (нейрон) и синапс. Рецептор – это устройство, трансформирующее энергию раздражения в специфический нервный процесс – возбуждение. Нейрон – это структурная и функциональная единица нервной системы. Кора головного мозга состоит из 10...14 млрд нейронов. Синапс представляет собой тончайшее образование, с помощью которого происходит переход возбуждения с одного нейрона на другой, с нейрона на мышцу и другие периферические исполнительные органы.

В основной своей массе мозг является совокупностью тесно связанных между собой анализаторов: зрительного, слухового, осязательного, обонятельного, вкусового, двигательного и др. Периферическая часть анализаторов – это рецепторы, вынесенные на поверхность тела для приема внешней информации либо размещенные во внутренних системах и органах для восприятия информации о их состоянии (внешние рецепторы в обычной речи называют органами чувств). Центральной частью анализаторов являются некоторые зоны в коре головного мозга: зрительная, слуховая, двигательная и др. Проводящие нервные пути соединяют рецепторы с соответствующими зонами мозга.

Рецепторы, выполняющие функции датчиков, воспринимают поступающие к ним сигналы из окружающей среды, осуществляют их частичную переработку и преобразуют в биоэлектрические сигналы, которые затем передаются в ЦНС. В процессе анализа в ЦНС вырабатываются биоэлектрические команды, передающиеся по нервным путям обратно к рецепторам и обеспечивающие их оптимальную настройку в зависимости от характеристик воспринимаемых сигналов.

Связь между интенсивностью ощущений и силой раздражения, действующего на какой-либо орган чувств, выражается законом Вебера–Фехнера. Немецкий физиолог Э. Вебер и немецкий физик Фехнер установили, что величина ощущения пропорциональна логарифму отношения величины раздражителя к абсолютному порогу ощущения:

$$S = k \lg I/I_0,$$

где  $S$  – величина ощущения человека;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $I$  – уровень раздражителя, действующего на органы чувств;  $I_0$  – пороговый ощутимый уровень раздражителя.

В зависимости от специфики принимаемых сигналов различают внешние и внутренние анализаторы. К внешним относятся зрительный (рецептор – глаз), слуховой (рецептор – ухо), тактильный, болевой, температурный (рецепторы кожи) анализаторы. К внутренним относятся анализатор давления кинестетический, вестибулярный и специальные анализаторы.

Анализаторы характеризуются следующими основными параметрами:

- абсолютной чувствительностью к интенсивности сигналов;
- предельно допустимой интенсивностью сигнала;
- диапазоном чувствительности к интенсивности;
- минимальной длительностью сигнала, необходимой для возникновения ощущения;
- дифференциальной (различительной) чувствительностью к изменению интенсивности сигнала и др.

Специфической особенностью рецепторов человека является большой диапазон значений интенсивности сигналов, в пределах которого возможно эффективное функционирование анализаторов, вместе с весьма высокой дифференциальной чувствительностью к интенсивности. Такое сочетание оказывается возможным благодаря системе адаптации и сенсбилизации анализаторов (повышение и понижение их чувствительности в зависимости от средней интенсивности сигналов, воздействующих в течение некоторого времени).

Основной формой деятельности мозга при отражении различных воздействий на человеческий организм является рефлекс. Этим термином обозначают реакцию организма на раздражение со стороны внешней или внутренней среды, которая происходит при обязательном участии ЦНС.

Различают условные и безусловные рефлексы.

**Безусловный рефлекс** – это врожденная реакция, осуществляемая через посредство подкорковых и нижележащих отделов центральной нервной системы. Безусловные рефлексы подразделяются на простые и сложные. К простым относятся зрачковый, сухожильный, чихательный и т. д., а к сложным – пищевой, оборонительный, половой, подражательный и прочие рефлексы. Сложные безусловные рефлексы составляют основной фонд жизнедеятельности организма.

**Условный рефлекс** – это приобретенная реакция человека, которая образуется и осуществляется благодаря деятельности коры больших полушарий мозга. Условный рефлекс имеет свойство приобретения, т. е. является индивидуальной реакцией, отражающей жизненный опыт (условия воспитания, быта, профессиональной деятельности и пр.) обладателя. Кроме этого, ему присуще свойство непостоянства. Условный рефлекс очень изменчив, он вырабатывается, сохраняется и возобновляется при наличии определенных условий (правил). Наконец, условный рефлекс обладает свойством сигнальности. В свойстве сигнальности содержится принципи-

ально новый вид поведения: здесь деятельность человеческого организма связана с будущим – событиями, помыслами и целями будущего времени. В каждом условном рефлексе отчетливо видно: реакция возникает на раздражение настоящего времени, а направлена на цели будущего. Такие отношения между стимулом и реакцией являются сложными и специфичны для высшей нервной деятельности.

Поддержание жизни, жизнедеятельность сами по себе представляют для организма довольно тяжелую задачу. Внешняя окружающая и внутренняя среды порождают большое количество различных раздражений, действующих на организм человека. Эта информация подвергается многоступенчатой переработке на различных уровнях периферической и центральной нервной системы. Информация, поступающая в организм человека, например, во время трудовой деятельности, чрезвычайно разнообразна. Однако в самом организме на нейрофизиологическом уровне она представлена одним и тем же физиологическим процессом – возбуждением. Этот процесс имеет общее значение для всех организмов, которые обладают специфическим свойством – возбудимостью, т. е. способностью придти в состояние возбуждения под действием раздражителя. Когда тот или иной элемент охватывается возбуждением, он тем самым приводится в действие, т. е. выявляет свою специфическую функцию, например, мышца сокращается, железа вырабатывает секрет и т. д. Таким образом, возбуждение является движущей силой в организме человека, позволяющей ему реагировать на важные факторы, в том числе и опасные, вырабатывать и реализовывать защитную реакцию.

Защитные приспособительные реакции имеют три стадии:

- нормальная физиологическая реакция (гомеостаз);
- нормальные адаптационные изменения;
- патофизиологические адаптационные изменения (развитие заболевания).

Человек постоянно приспосабливается к изменяющимся условиям окружающей среды благодаря гомеостазу – универсальному свойству сохранять и поддерживать стабильность работы различных систем организма в ответ на воздействия, нарушающие эту стабильность.

**Гомеостаз** – относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма. Любые физиологические, физические, химические или эмоциональные воздействия, будь то температура воздуха, изменение атмосферного давления или волнение, радость, печаль, могут быть поводом к выходу организма из состояния динамического равновесия. Автоматически при помощи гуморальных и нервных механизмов регуляции осуществляется саморегуляция физиологических функций, обеспечивающая поддержание жизнедеятельности организма на постоянном уровне. Гумо-

ральная регуляция осуществляется через жидкую внутреннюю среду организма с помощью молекул химических веществ, выделяемых клетками или определенными тканями и органами (гормонов, ферментов и т. д.).

Компенсация изменений факторов среды обитания оказывается возможной благодаря активации систем, ответственных за адаптацию (приспособление). Вмешательство внешних факторов в состояние гомеостаза приводит к адаптивной перестройке организма, в результате которой одна или несколько функциональных систем компенсируют возможные нарушения и восстанавливают равновесие. В безвыходных ситуациях, когда раздражитель чрезмерно силен, эффективная адаптация не формируется и сохраняется нарушение гомеостаза. Вызываемый этими нарушениями стресс достигает чрезмерной интенсивности и длительности, в такой ситуации возможно развитие заболевания.

### **Контрольные вопросы к главе 1**

1. Цели, задачи, объект и предметы изучения науки «Безопасность жизнедеятельности».
2. Понятие опасности и классификация опасностей.
3. В чем заключается суть аксиомы потенциальной опасности деятельности человека?
4. Что такое риск?
5. В чем заключается концепция приемлемого риска?
6. Что представляют собой анализаторы человека?
7. Какими параметрами характеризуются анализаторы?
8. Классификация анализаторов зависимости от специфики принимаемых аналогов.
9. Сущность закона Вебера–Фехнера.
10. Что такое рефлекс?
11. Понятие об условных и безусловных рефлексах.

### **Библиографический список к главе 1**

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьякова и др.; под общ. ред. С.В.Белова. – 8-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 616 с.
2. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.
3. ГОСТ 12.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Госстандарт, 1978.

## Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ И УСЛОВИЙ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Человек подвергается воздействию опасностей в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемом производственной средой. В условиях производства на человека, в основном, действуют техногенные, т.е. связанные с техникой, опасности, которые называются опасными и вредными факторами рабочей среды.

**Опасный фактор рабочей среды** – фактор рабочей среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти [1].

К опасным факторам рабочей среды относятся:

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;
- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного, и др.

**Вредный фактор рабочей среды** – фактор рабочей среды и трудового процесса, воздействие которого на работника может вызывать профессиональное заболевание или другое нарушение состояния здоровья, повреждение здоровья потомства.

К вредным факторам рабочей среды относятся:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующего излучений и др.

В зависимости от количественной характеристики и продолжительности действия отдельные вредные факторы рабочей среды могут стать опасными.

Так, человек попадает под непосредственное воздействие расплавленного металла (термический ожог), что приводит к тяжелой травме или может закончиться смертью пострадавшего. В этом случае воздействие расплавленного металла на работающего является опасным фактором рабочей среды.

Когда человек, постоянно работая с расплавленным металлом, находится под действием лучистой теплоты, излучаемой этим источником, то под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Кроме того, длительное воздействие инфракрасных лучей вредно влияет

на органы зрения: приводит к помутнению хрусталика. Таким образом, во втором случае воздействие лучистой теплоты от расплавленного металла на организм работающего является вредным фактором рабочей среды.

Все опасные и вредные факторы рабочей среды подразделяются на физические, химические, биологические и факторы трудового процесса (психофизиологические) [2]:

**физические факторы** – движущиеся машины и механизмы, повышенные уровни шума и вибраций, электромагнитных и ионизирующих излучений, недостаточная освещенность, повышенный уровень статического электричества и др.;

**химические** – химические вещества, смеси, в т.ч. некоторые вещества биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты, белковые препараты), получаемые химическим синтезом и для контроля которых используют методы химического анализа;

**биологические** – микроорганизмы-продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в бактериальных препаратах, патогенные микроорганизмы – возбудители инфекционных заболеваний;

**факторы трудового процесса (психофизиологические)** – тяжесть и напряженность труда [1, 2].

**Тяжесть труда** – характеристика трудового процесса, отражающая преимущественную нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечно-сосудистую, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность.

Тяжесть труда характеризуется физической динамической нагрузкой, массой поднимаемого и перемещаемого груза, общим числом стереотипных рабочих движений, величиной статической нагрузки, характером рабочей позы, глубиной и частотой наклона корпуса, перемещениями в пространстве.

**Напряженность труда** – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

К факторам, характеризующим напряженность труда, относятся: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, степень монотонности нагрузок, режим работы.

Опасные и вредные факторы рабочей среды, характерные для большинства современных производств, приведены в табл. 2.1 [3].

## Негативные факторы рабочей среды

| Группа факторов        | Факторы   | Источники и зоны действия факторов   |
|------------------------|---|--|
| Физические             | Запыленность воздуха рабочей зоны   | Зоны переработки сыпучих материалов, участки выбивки и очистки отливок, сварки и плазменной обработки, обработки пластмасс, стеклопластиков и других хрупких материалов, участки дробления материалов и т.п. |
|                        | Вибрации:<br>общие  | Виброплощадки, транспортные средства, строительные машины  |
|                        | локальные   | Виброинструмент, рычаги управления транспортных машин  |
|                        | Акустические колебания:<br>инфразвук  | Зоны около виброплощадок, мощные двигатели внутреннего сгорания и других высокоэнергетических систем   |
|                        | Шум   | Зоны около технологического оборудования ударного действия, устройств для испытания газов, транспортных средств, энергетических машин  |
|                        | Ультразвук  | Зоны около ультразвуковых генераторов, дефектоскопов, ванны для ультразвуковой обработки   |
|                        | Электромагнитные поля и излучения   | Зоны около линий электропередач, установок ТВЧ и индукционной сушки, электроламповых генераторов, телеэкранов, дисплеев, антенн, магнитов  |
|                        | Инфракрасная радиация   | Нагретые поверхности, расплавленные вещества, излучение пламени  |
|                        | Лазерное излучение  | Лазеры, отраженное лазерное излучение  |
|                        | Ультрафиолетовая радиация   | Зоны сварки, плазменной обработки  |
| Ионизирующие излучения | Ядерное топливо, источники излучений, применяемые в приборах, дефектоскопах и при научных исследованиях     |  |
| Электрический ток      | Электрические сети, электроустановки, распределители, трансформаторы, оборудование с электроприводом и т.д. |  |

| Группа факторов | Факторы  | Источники и зоны действия факторов  |
|-----------------|--|---|
| Физические      | Движущие машины, механизмы, материалы, изделия, части разрушающихся конструкций и т.п. | Зоны движения наземного транспорта, конвейеров, подземных механизмов, подвижных частей станков, инструмента, передач. Зоны около систем повышенного давления, емкостей со сжатыми газами, трубопроводов, пневмогидроустановок |
|                 | Высота, падающие предметы  | Строительные и монтажные работы, обслуживание машин и установок   |
|                 | Острые кромки  | Режущий и колющий инструмент, заусенцы, шероховатые поверхности, металлическая стружка, осколки хрупких предметов   |
|                 | Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов            | Паропроводы, газопроводы, криогенные установки, холодильное оборудование, расплавы  |
| Химические      | Загазованность рабочей зоны  | Утечки токсичных газов и паров из негерметичного оборудования, испарения из открытых емкостей и при проливах, выбросы токсичных веществ при разгерметизации оборудования, окраска распылением, сушка окрашенных поверхностей  |
|                 | Запыленность рабочей зоны  | Сварка и плазменная обработка материалов с содержанием $SiO_2$ , $MnO$ , пересыпка и транспортирование дисперсных материалов, окраска распылением, пайка свинцовыми припоями, пайка бериллий и припоями, содержащими бериллий |
|                 | Попадание ядов на кожные покровы и слизистые оболочки                                  | Гальваническое производство (травление и т.п.), заполнение емкостей, распыление жидкостей (опрыскивание, окраска поверхностей)  |
|                 | Попадание ядов на кожные покровы и слизистые оболочки                                  | Гальваническое производство (травление и т.п.), заполнение емкостей, распыление жидкостей (опрыскивание, окраска поверхностей)  |

| Группа факторов            | Факторы   | Источники и зоны действия факторов   |
|----------------------------|---|--|
| Химические                 | Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт   | Ошибки при применении жидкостей, умышленные действия   |
| Биологические              | Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ)   | Обработка материалов с применением эмульсолов  |
| Факторы трудового процесса | Физические перегрузки:<br>– статические<br>– динамические<br>Нервно-психические перегрузки:<br>– умственное перенапряжение<br>– перенапряжение анализаторов<br>– монотонность труда<br>– эмоциональные перегрузки | Продолжительная работа с дисплеями, работа в неудобной позе<br>Подъем и перенос тяжестей, ручной труд<br><br>Труд научных работников, преподавателей, студентов<br><br>Операторы технических систем, авиадиспетчеры, работа с дисплеями<br><br>Наблюдение за производственным процессом<br><br>Работа авиадиспетчеров, творческих работников |

Примечание. В тех случаях, когда в рабочей зоне не обеспечены комфортные условия труда, источником физических вредных факторов рабочей среды могут быть повышенная или пониженная температура воздуха, повышенное или пониженное атмосферное давление, повышенная влажность и скорость движения воздуха, неправильное освещение (недостаточная освещенность, повышенная яркость, пониженная контрастность, повышенная пульсация светового потока). Вредные воздействия возникают также при недостатке кислорода в воздухе рабочей зоны.

**Условия труда** – совокупность факторов трудового процесса и рабочей среды, в которой осуществляется деятельность человека [1].

Классификация условий труда основана на принципе дифференциации отклонений параметров факторов рабочей среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов.

**Гигиенические нормативы условий труда (ПДК, ПДУ)** – уровни вредных факторов рабочей среды, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Исходя из степени отклонения фактических уровней факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов, условия труда по степени вредности и опасности условно подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

**Оптимальные условия труда (1-й класс)** – условия, при которых сохраняется здоровье работника, и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы факторов рабочей среды установлены для микроклиматических параметров и факторов трудовой нагрузки. Для других факторов за оптимальные условно принимают такие условия труда, при которых вредные факторы отсутствуют либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

**Допустимые условия труда (2-й класс)** характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работников и их потомство. Допустимые условия труда условно относят к безопасным.

**Вредные условия труда (3-й класс)** характеризуются наличием вредных факторов, уровни которых превышают гигиенические нормативы и оказывают неблагоприятное действие на организм работника и его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов условно разделяют на 4 степени вредности:

1-я степень 3-го класса (3.1) – уровни вредных факторов, вызывающие обратимые функциональные изменения организма;

2-я степень 3-го класса (3.2) – уровни вредных факторов, приводящие к стойким функциональным изменениям и росту заболеваемости;

3-я степень 3-го класса (3.3) – уровни вредных факторов, приводящие к развитию профессиональных болезней легкой и средней степени тяжести и росту хронических патологий;

4-я степень 3-го класса (3.4) – уровни вредных факторов, приводящие к возникновению тяжелых форм профессиональных заболеваний, значительному росту хронических и высокому уровню заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

**Опасные (экстремальные) условия труда (4-й класс)** характеризуются уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений.

### **Контрольные вопросы к главе 2**

1. Дать понятие рабочей среды.
2. Понятие о вредных и опасных факторах рабочей среды.
3. Классификация вредных и опасных факторов рабочей среды.
4. Понятие об условиях труда и их классификация.

### **Библиографический список к главе 2**

1. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора, Вып. 3 (21), 2005.

2. ГОСТ 12.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Госстандарт, 1978.

3. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьякова и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – 8-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 616 с.

## Глава 3. ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

### 3.1. Микроклимат производственных помещений

Человек находится в постоянной взаимосвязи с окружающей его средой. По мере возможности он приспособливается к ней, а при невозможности всеми доступными средствами приспособливает ее к себе, обеспечивая тем самым условия для своего нормального существования.

Работающий человек примерно треть своего времени находится на производстве во взаимосвязи с производственной средой, которая характеризуется различными факторами: микроклиматом производственных помещений, интенсивностью технологического процесса, применяемыми материалами и механизмами и т. д.

*Микроклимат производственных помещений* – метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения [1].

Итак, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются [1]:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Организм человека называют термодинамической системой с высоким постоянством средней температуры тела при значительно меняющихся условиях поступления и потерь тепла.

В течение всей жизни человек существует в пределах очень ограниченного и активно защищаемого диапазона внутренних температур тела. Максимально допустимые пределы для жизнедеятельности клеток от 0 °С (образование кристаллов льда) до 45 °С (тепловая коагуляция внутриклеточных белков). Однако в короткие промежутки времени человек может переносить температуру тела ниже 35 °С или выше 41 °С.

Принимая во внимание только те перепады температур, которые существуют между поверхностью ледяного щита Антарктиды, где температура воздуха может падать до минус 82,6 °С, и джунглями тропиков, где она поднимается до плюс 50 °С, можно считать, что человек способен обитать в среде, термический диапазон которой превышает 100 °С.

Следовательно, человеческий организм может производить поистине огромную выработку энергии для борьбы с холодом и жарой. Его можно

сравнить с непрерывно действующей фабрикой тепла, обеспеченной совершенными физиологическими механизмами саморегуляции. Чтобы поддерживать температуру своего организма в этих пределах, человек вырабатывает очень эффективные физиологические реакции, с помощью которых он обычно реагирует на резкие перепады, связанные с сильным перегревом или с сильным переохлаждением организма. Это свидетельствует о колоссальных приспособительных возможностях, выработавшихся в процессе эволюции (конечно, включая и применение современной техники: создание особого микроклимата в помещениях, отопления, кондиционирования воздуха, специализированных средств транспорта, одежды с подогревом или охлаждением и т. п.). В основе этих реакций, вызванных необходимостью координирования различных систем человеческого организма и регулирования процессов тепловыделения для поддержания постоянной температуры тела человека, – *функция терморегуляции*.

И.П. Павловым в 1881 г. было выдвинуто положение, что организм человека делится на ядро и оболочку. По современным представлениям, масса ядра (т. е. внутренних тканей и органов) составляет приблизительно половину веса тела. Когда человек здоров и условия окружающей среды не требуют чрезмерного напряжения его терморегуляторных систем, температура ядра сохраняется постоянной. Она может в известной степени повышаться при особенно тяжелой физической работе, перегреве при очень сильной жаре или при лихорадочном состоянии во время болезни, а также понижаться при слишком сильном холоде. При всех этих состояниях жизнь человека подвергается опасности.

Для поддержания постоянной температуры ядра тела человека должен соблюдаться тепловой баланс: поступления тепла к нему и внутренняя выработка его должны уравниваться расходуемым теплом. По условиям нулевой терморегуляции прирост тепла сбалансирован тепловыми потерями, теплота не сохраняется, а температура тела поддерживается в равновесном состоянии.

Температурный режим оболочки человеческого тела, к которой относят конечности и наружные ткани туловища (толщиной 2–2,5 см), резко отличается от режима внутренних органов. Оболочку называют «тепловым шлюзом организма», где тепло может сосредоточиваться или расходоваться без заметного изменения температуры глубоких слоев тела и без вреда для здоровья. Человек живет в условиях постоянства температуры внутренних частей организма: для того, чтобы его существование и деятельность были возможны, температура его тела (оболочки) должна все время поддерживаться на уровне 36–37 °С.

Средние пределы температуры тела, в которых человек сохраняет жизнеспособность (но не трудоспособность!), сравнительно невелики: от 25 до 43 °С. Сейчас при операциях используется метод значительного охлажде-

ния тела больного: с 36 до 25 °С. В иностранной печати приводятся сенсационные сообщения о выживании людей, температура тела которых опускалась до более низких пределов. Верхние и нижние пороговые значения боли для температуры кожи человека равны приблизительно 43 °С и 10 °С соответственно.

Морфологические исследования выявили местонахождение самого большого терморегулирующего устройства в области мозга, известного под названием преоптический, или предшествоющий, гипоталамус. В этом месте расположены нервные клетки, которые реагируют как на нагрев (нейроны, чувствительные к теплу), так и на охлаждение (нейроны, чувствительные к холоду). Эта область доминирует над системой управления температурой тела, принимая поступающую сенсорную информацию относительно температуры тела и посылая отводящие сигналы к оболочке, мышцам и другим органам, участвующим через посредство автономной нервной системы в температурном регулировании. Система управления телом человека аналогична терморегулирующей функции бытового термостата, который может, как подогревать, так и охлаждать помещение в доме. Когда температура тела поднимается выше некоторой «установленной» теоретической отметки, то в работу включается некий исполнительный элемент, связанный с охлаждением организма (потовыделение, усиление притока крови к оболочке тела). Когда температура тела опускается ниже уровня установленной температуры, то к системе подключаются те элементы, которые отвечают за увеличение теплотоков (уменьшающийся кровоток внутри оболочки тела, поеживание, дрожь и т. д.). Однако в отличие от бытовых нагревательных и охладительных приборов система терморегуляции у человека не работает как простая система включения – выключения. Она также может регулироваться и по отклонению в зависимости от регулировочных характеристик.

При температуре воздуха плюс 20 °С распределение поступающего тепла в организме человека от Солнца (или тепловых источников), атмосферы и окислительных процессов внутри тела человека следующее: 31 % от общего его количества уносится движущимся воздухом, 44 % – тратится на излучение в окружающую среду, 22 % – идет на испарение с поверхности кожного покрова, 1,0 % – потребляется на нагревание пищи, 1,3 % – на нагревание воздуха в легких и 0,7 % тратится с выделениями.

Основными внешними факторами, влияющими на терморегуляцию человека – на протекание теплообменов с помощью конвекции, излучения и парообразования, являются температура окружающей среды ( $t$ , °С), относительная влажность ( $\varphi$ , %), скорость движения воздуха ( $v$ , м/с) и тепловая радиация от горячих поверхностей ( $t_n$ , °С и  $J$ , Вт/м<sup>2</sup>).

Оценка воздействия на человека температуры изменяется в зависимости от времени года, географического положения района, от состояния

воздушной среды. В других температурных условиях все статьи расхода тепла претерпевают изменение. Существует такое выражение: «Климат входит в организм через кожу».

При высокой температуре воздуха организм борется с перегревом. Человек освобождается от избыточного тепла путем теплопередачи в окружающую среду с помощью радиации, конвекции и испарения. Чтобы облегчить этот теплообмен, включены и регулируются две первичные системы исполнительного механизма: при жаре рефлекторно расширяются сосуды кожи (вазодилатация оболочки тела) и усиливается потовыделение.

Расширение сосудов кожи происходит, прежде всего, для того, чтобы передать тепло от ядра до оболочки тела человека (внутренняя теплопередача), в то время как испарение пота обеспечивает чрезвычайно эффективные средства охлаждения крови до ее возвращения к глубоким тканям тела человека (внешняя теплопередача). В этом случае, чтобы облегчить температурное регулирование, увеличивается поверхностный кровоток, наращивается его объем. Это сказывается на работе сердечно-сосудистой системы: сокращается центральный кровоток, уменьшается объем хода всасывания. В итоге, в жарких условиях частота сердечных сокращений становится выше, учащаются дыхание и пульс, снижается кровяное давление, наблюдается покраснение кожного покрова. Температура кожи повышена, вследствие чего сильно увеличилась потеря тепла излучением.

В терморегуляции жизнедеятельности человека участвуют от 2 до 4 миллионов экзокринных потовых желез, беспорядочно и неравномерно разбросанных по всей поверхности тела. Экзокринные железы выделяют пот непосредственно на поверхность оболочки тела. Он имеет высокую теплоту парообразования и идеально удовлетворяет цели охлаждения. Эффективность этой системы охлаждения высока. Например, работающий человек при потреблении кислорода в объеме 2,3 л в минуту производит теплоты до 640 Вт. Если бы не было потоотделения, то температура тела человека повышалась бы на 1 °С каждые 6–7 мин. Охлаждение тела достигается путем испарения пота. При эффективном испарении, составляющем примерно 16 г в минуту (разумная норма тепловых потерь), выделение тепла может соответствовать норме, и внутренняя температура тела может поддерживаться в равновесном состоянии.

Изменения, происшедшие в организме при жаркой погоде, все вместе приводят к удвоенной по сравнению с холодной погодой потере тепла. Процесс испарения протекает с большой затратой энергии: на 1 г воды тратится для перевода ее в пар около 600 калорий тепла. Количество испарившегося с поверхности тела пота, а следовательно, и интенсивность достигнутого при этом охлаждения зависят от работы механизмов выделения пота и скорости его удаления с поверхности кожи. Они связаны, в свою очередь, с тем, насколько «правильно человек потеет», т. е. равно-

мерно ли и постепенно ли выделяется влага на поверхности тела и успевает ли она достаточно скоро с нее удалиться. Этот процесс зависит как от свойств организма, так и от метеорологических условий.

При нормальном потовыделении охлаждение вследствие испарительного эффекта зависит от соотношения между давлениями водяного пара влажной оболочки и окружающего ее воздуха. Из многочисленных наблюдений следует, что тепловой баланс человека, находящегося в покое, поддерживается уже с некоторым трудом при температуре воздуха 40 °С и относительной влажности 85 %. За этими пределами самочувствие большинства людей резко ухудшается. Таким образом, высокая влажность и плотная или водонепроницаемая одежда ограничивают охлаждение испарением, в то время как сухой воздух, обветривание тела в легкой пористой одежде облегчают испарение. Но если работа связана с большими физическими нагрузками и сопровождается обильным потовыделением, то охлаждение испарением может быть ограничено способностью тела к потовыделению (не более 1–2 л в час).

Эффективная стратегия против переохлаждения тела состоит в том, чтобы попытаться увеличить теплоизоляцию оболочки человеческого тела, а именно уменьшить отдачу тепла с кожного покрова и увеличить выработку тепла (он может ее удвоить). Это достигается путем уменьшения поверхностного кровотока к его коже. Для этого в результате соответствующих сигналов нервных рецепторов и команды, полученной из центральной нервной системы, происходит сокращение сосудов кожи и подкожной клетчатки, а при более низкой температуре или особенно резком ее падении появляется «гусиная кожа» – признак того, что начали сокращаться и гладкие мышцы кожи. Сужение кожных сосудов более выражено на конечностях, чем на туловище человека.

Затраты тепла на испарение пота в таких условиях падают до весьма малых величин. Ток крови в поверхностных слоях тела ослабляется: происходит ее отток к внутренним органам. Благодаря этому уменьшается разница между температурой кожи и температурой окружающей среды. Это приводит к сокращению излучения – основной статьи расхода тепла, составляющей около половины всех его затрат. При этом теплообмен тела с окружающей средой уменьшается пропорционально разности температур тела и окружающего воздуха. Однако уменьшение излучения значительней, так как оно пропорционально четвертой степени температуры тела, следовательно, небольшое уменьшение ее близ кожного покрова приводит к весьма существенному снижению этой статьи расхода тепла. Указанными способами приспособительные процессы могут уменьшать теплотери организма до 70 %.

В начальный период воздействия низких температур на организм человека наблюдается уменьшение частоты дыхания, увеличение объема вдоха.

При продолжительном действии дыхание становится неритмичным, частота и объем вдоха увеличиваются, изменяется углеводный обмен. У больных и незакаленных людей работа приспособительных систем бывает в той или иной степени разлаженной. Поэтому реакция их организма на снижение температуры окружающей среды, особенно при резком снижении (например, при значительных сменах погоды), вызывает ухудшение самочувствия, болевые ощущения, рецидивы хронических заболеваний и различные простудные явления.

Переохлаждение может принимать различные формы, воздействуя на тепловой баланс всего организма, вызывает снижение внутренней температуры тела, а также конечностей, кожи, легких (рис. 3.1).

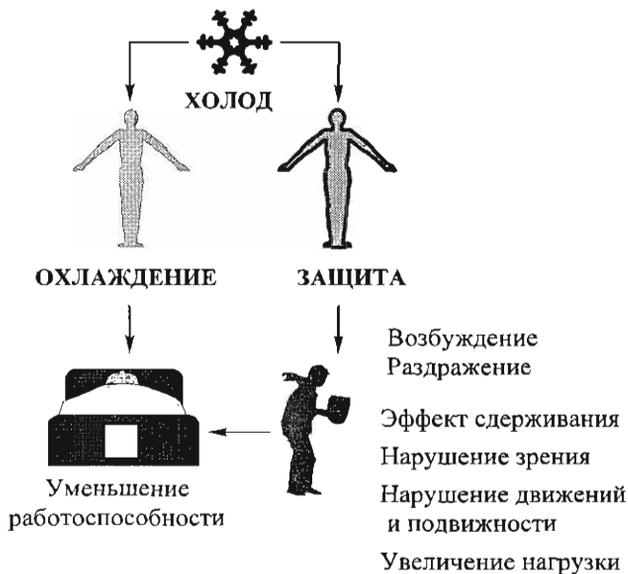


Рис. 3.1. Негативные последствия переохлаждения

Переохлаждение приводит к дискомфорту, нарушению сенсорной и нервно-мышечной функции и, в конечном итоге, обморожению (рис. 3.2).

Отличительной особенностью реакции человека на холод является тот факт, что в терморегулирующей реакции на холод значительно больше места отводится поведению. Например, по сравнению с жарой в холодных условиях окружающей среды значительно более важную роль играет то, какую одежду носит человек и какую работу он выполняет.

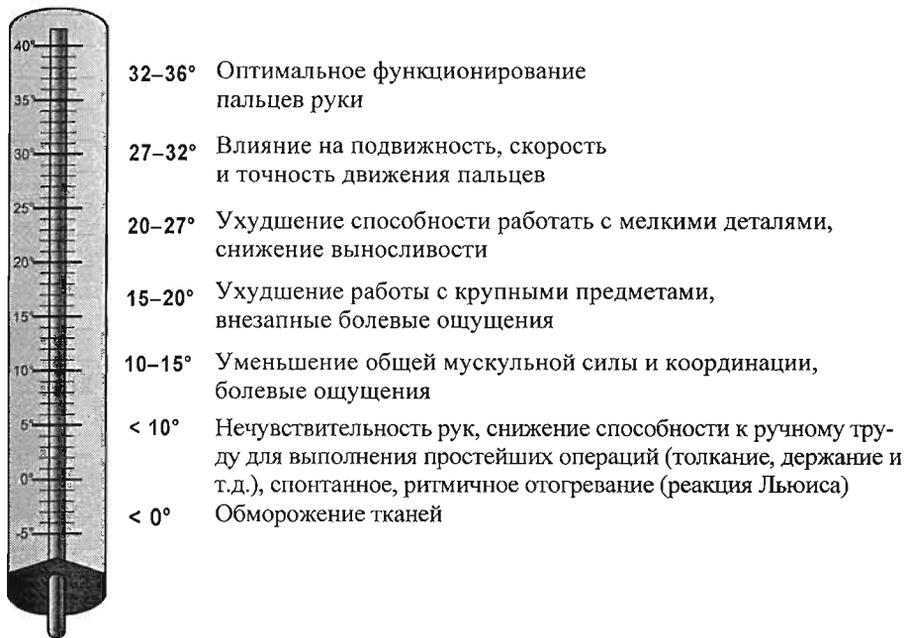


Рис. 3.2. Расчетные температуры, при которых может произойти сбой в механизме теплообмена

Достаточная теплозащита предотвращает переохлаждение. Количество теплотеря определяется теплозащитной одеждой и климатическими условиями среды. Однако сама теплозащита может вызывать нежелательные или неблагоприятные воздействия на организм человека. Применение теплозащитной одежды, обуви, перчаток и головных уборов уменьшает подвижность и ловкость рабочего. Существует такое понятие, как «стоимость защиты». Оно означает, что передвижение с места на место и телодвижения не могут производиться бесконечно, поскольку они, в конечном счете, приводят к истощению сил. Одно из важных направлений исследования в эргономике – это уточнение функциональных возможностей одежды для поддержания теплозащиты от холода.

Значение относительной влажности воздуха показывает процентное отношение количества содержащихся в определенном объеме воздуха (при определенной температуре и давлении) паров воды к тому количеству, которое полностью насыщает этот объем до выпадения их в виде капель дождя:

$$\varphi = (P_n / P_s) \cdot 100 \% \quad \text{или} \quad \varphi = (\rho_n / \rho_s) \cdot 100 \%,$$

где  $P_n$  – давление водяных паров, содержащихся в воздухе, Па;  $P_s$  – давление насыщенных паров, зависящее от температуры и давления воздуха, Па;

$\rho_n$  – плотность водяных паров, содержащихся в воздухе,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_s$  – плотность насыщенных водяных паров,  $\text{кг/м}^3$ .

Влияние относительной влажности на самочувствие человека определяется, помимо температуры воздуха (а также барометрического давления), особенностями процесса его дыхания. Основным органом дыхания человека, посредством которого осуществляется газообмен с окружающей средой, является трахеобронхиальное дерево и большое число легочных клеток – пузырей (альвеол), стенки которых пронизаны густой сетью капиллярных сосудов. Через стенки альвеол кислород поступает в кровь для питания тканей организма. Через них же забирается из крови углекислый газ, который выделяется при использовании кислорода. Кроме того, легочные клетки всасывают из крови лишнее для организма количество воды. Она выходит из него при выдохе вместе с воздухом.

Экспериментально установлено, что интенсивность диффузии кислорода в кровь определяется парциальным давлением кислорода в альвеолярном воздухе, изменение которого пропорционально изменениям атмосферного давления вдыхаемого воздуха. Согласно закону Дальтона давление атмосферного воздуха  $P_{\text{воз}}$  определяется суммой парциальных давлений входящих в него газов, а именно парциальными давлениями углекислого газа  $P_{\text{CO}_2}$ , кислорода  $P_{\text{O}_2}$ , азота  $P_{\text{N}_2}$ , водяных паров  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  и т. д.:

$$P_{\text{воз}} = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + \dots$$

Изменение состава и количества водяных паров, как и изменение других составляющих, содержащихся во вдыхаемом воздухе, приводит к изменению интенсивности диффузии кислорода в кровь. Хорошее самочувствие человека сохраняется в диапазоне от 40 % – 60 % относительной влажности воздуха. При высоких температурах, более 30 °С, повышенная влажность воздуха оказывает неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека, так как при этом почти вся выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота, который не испаряется, а стекает каплями с кожного покрова и не обеспечивает необходимую теплоотдачу.

Данные физиологов и биоклиматологов подтверждают, что повышенную температуру человеку легче переносить при более сухом воздухе. Но все имеет предел: если относительная влажность меньше 20 %, то испарение с поверхности слизистых оболочек дыхательных путей человека так велико, что они начинают иссушаться. А это вызывает неприятные ощущения сухости в горле и в носу, растрескивание губ, а также уменьшает защитные действия этих оболочек как фильтров, преграждающих путь в организм пыли и микробам.

Влияние скорости движения воздушных потоков на человека можно оценить иногда как положительное, а в некоторых случаях как отрица-

тельное. Дело, прежде всего, в интенсивности движения воздуха, температуре и влажности окружающей среды.

При низкой температуре воздуха скорость движения воздуха оказывает охлаждающее действие на организм человека, унося прогретые им прилегающие к телу слои воздуха и прижимая к нему все новые порции холодного (рис. 3.3).

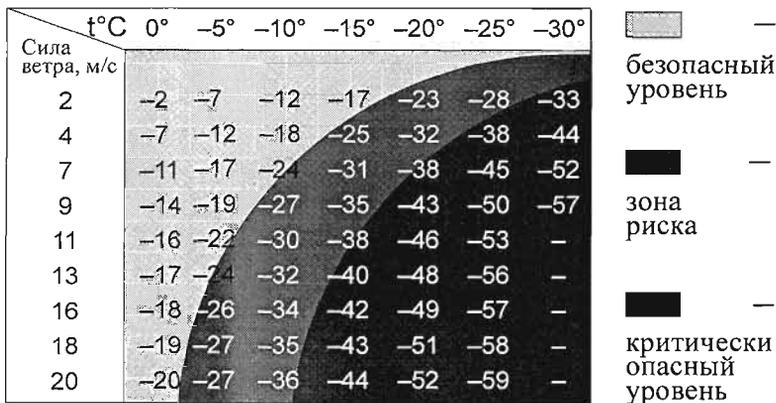


Рис. 3.3 Переохлаждение, оказываемое ветром при минусовых температурах

Кроме того, при этом сказывается влияние большой влажности воздуха. Так, при температуре воздуха, близкой к нулю, и большой влажности происходит резкое повышение теплоотдачи организма за счет дополнительных трат не только на обогревание тела, но и на просушивание открытых поверхностей тела и одежды. Если же при этом величина скорости движения воздуха велика, то теплоощущение еще ухудшается, так как ветер все время относит от тела обогретые и просушенные слои воздуха и нагоняет новые порции влажного и холодного, что усиливает процесс дальнейшего охлаждения тела.

В различных отраслях современного производства большая часть персонала работает в условиях труда, связанных с тепловым воздействием со стороны технологического оборудования: печей, котлов, трубопроводов и др. Например, в горячих цехах промышленных предприятий большинство технологических процессов протекает при температурах, значительно превышающих температуру окружающей среды. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии. При температуре до 500 °С 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.

Инфракрасные лучи оказывают на организм в основном тепловое облучение, в результате которого в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток, нарушается деятельность 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 волны более 1,5 мкм. Тепловое излучение коротковолнового диапазона глубоко проникает в ткани и разогревает 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.

Для характеристики теплового облучения приняты понятия **интенсивность теплового облучения**  $J_e$ , Вт/м<sup>2</sup> – мощность лучистого потока, проходящегося на единицу облучаемой площади, и **экспозиционная доза (ДОЭ)**, Вт·ч, определяемая как

$$ДОЭ = I_{TO} \cdot S \cdot \tau,$$

где  $I_{TO}$  – интенсивность теплового облучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – облучаемая площадь поверхности тела, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – продолжительность облучения за рабочую смену, ч.

При определении облучаемой поверхности тела необходимо производить ее расчет с учетом доли (%) каждого участка тела: голова и шея – 9, грудь и живот – 16, спина – 18, руки – 18, ноги – 39 [3].

Тепловое облучение лимитируется тепловым болевым порогом кожи. Так, интенсивность до 350 Вт/м<sup>2</sup> не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м<sup>2</sup> уже через 3–5 мин на поверхности кожи появляется неприятное жжение, температура кожи повышается на 8–10 °С, а при 3500 Вт/м<sup>2</sup> через несколько секунд возможны ожоги.

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.

### 3.2. Нормирование параметров микроклимата

Оценка микроклимата проводится на основе измерений его параметров (температура, влажность воздуха, скорость его движения, тепловое излучение) на всех местах пребывания работника в течение смены и сопоставления с нормативами согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические тре-

бования к микроклимату производственных помещений», которые устанавливаются с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года [1–3].

**Производственные помещения** – замкнутые пространства в специально предназначенных зданиях и сооружениях, в которых постоянно (по сменам) или периодически (в течение рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей.

**Рабочее место** – участок помещения, на котором в течение рабочей смены или части ее осуществляется трудовая деятельность. Рабочим местом может являться несколько участков производственного помещения. Если эти участки расположены по всему помещению, то рабочим местом считается вся площадь помещения.

**Рабочая зона** – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих [2].

Все выполняемые людьми работы разграничиваются на **категории работ**, определяемые по их тяжести на основе общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Различают:

- легкие физические работы;
- средней тяжести физические работы;
- тяжелые физические работы.

**Легкие физические работы (категория I)** – виды деятельности с расходом энергии не более 150 ккал (174 Вт). Легкие физические работы разделяются на **категорию Ia** – энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт) и **категорию Ib** – энергозатраты 121...150 ккал/ч (140...174 Вт). К категории Ia относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т. п.). К категории Ib относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т. п.)

**Средней тяжести физические работы (категория II)** – виды деятельности с расходом энергии в пределах 151...250 ккал/ч (175...290 Вт). Средней тяжести физические работы разделяют на **категорию IIa** – энергозатраты от 151 до 200 ккал/ч (175...232 Вт) и **категорию IIб** – энергозатраты от 201 до 250 ккал/ч (233...290 Вт). К категории IIa относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и

т. п.). К категории Пб относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.).

**Тяжелые физические работы (категория III)** – виды деятельности с расходом энергии более 250 ккал/ч (290 Вт). К категории III относятся работы, связанные с постоянными перемещениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий. Это, например, ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок на машиностроительных и металлургических предприятиях и т. п.

Нормируемые параметры микроклимата устанавливаются для двух периодов года:

- **холодный период года** – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной + 10 °С и ниже;
- **теплый период года** – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше + 10 °С.

Среднесуточная температура наружного воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени. Она принимается по данным метеорологической службы.

Различают оптимальные и допустимые условия микроклимата [1].

### **3.2.1. Оптимальные условия микроклимата**

**Оптимальные микроклиматические условия** установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата, определяются Санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 3.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 3.1

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 22–24                   | 21–25                        | 60–40                              | 0,1                            |
|             | Iб (140–174)                               | 21–23                   | 20–24                        | 60–40                              | 0,1                            |
|             | IIa (175–232)                              | 19–21                   | 18–22                        | 60–40                              | 0,2                            |
|             | IIб (233–290)                              | 17–19                   | 16–20                        | 60–40                              | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 16–18                   | 15–19                        | 60–40                              | 0,3                            |
| Теплый      | Ia (до 139)                                | 23–25                   | 22–26                        | 60–40                              | 0,1                            |
|             | Iб (140–174)                               | 22–24                   | 21–25                        | 60–40                              | 0,1                            |
|             | IIa (175–232)                              | 20–22                   | 19–23                        | 60–40                              | 0,2                            |
|             | IIб (233–290)                              | 19–21                   | 18–22                        | 60–40                              | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 18–20                   | 17–21                        | 60–40                              | 0,3                            |

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин, указанных в табл. 3.1 для отдельных категорий работ.

### 3.2.2. Допустимые условия микроклимата

*Допустимые микроклиматические условия* установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины и должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. Абсолютные значения температуры воздуха не должны выходить за пределы величин, указанных в табл. 3.3 для отдельных категорий работ.

Таблица 3.2

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергосатрат, Вт | Температура воздуха, °С           |                                   | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с                                      |   |
|-------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|---|
|             |  | диапазон ниже оптимальных величин | диапазон выше оптимальных величин |                              |                                    | для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более | для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более** |
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 20,0–21,9                         | 24,1–25,0                         | 19,0–26,0                    | 15–75*                             | 0,1   | 0,1   |
|             | Iб (140–174)                               | 19,0–20,9                         | 23,1–24,0                         | 18,0–25,0                    | 15–75                              | 0,1   | 0,2   |
|             | IIa (175–232)                              | 17,0–18,9                         | 21,1–23,0                         | 16,0–24,0                    | 15–75                              | 0,1   | 0,3   |
| Теплый      | IIб (233–290)                              | 15,0–16,9                         | 19,1–22,0                         | 14,0–23,0                    | 15–75                              | 0,2   | 0,4   |
|             | III (более 290)                            | 13,0–15,9                         | 18,1–21,0                         | 12,0–22,0                    | 15–75                              | 0,2   | 0,4   |
|             | Ia (до 139)                                | 21,0–22,9                         | 25,1–28,0                         | 20,0–29,0                    | 15–75*                             | 0,1   | 0,2   |
| Теплый      | Iб (140–174)                               | 20,0–21,9                         | 24,1–28,0                         | 19,0–29,0                    | 15–75*                             | 0,1   | 0,3   |
|             | IIa (175–232)                              | 18,0–19,9                         | 22,1–27,0                         | 17,0–28,0                    | 15–75*                             | 0,1   | 0,4   |
|             | IIб (233–290)                              | 16,0–18,9                         | 21,1–27,0                         | 15,0–28,0                    | 15–75*                             | 0,2   | 0,5   |
|             | III (более 290)                            | 15,0–17,9                         | 20,1–26,0                         | 14,0–27,0                    | 15–75*                             | 0,2   | 0,5   |

\* При температуре воздуха 25 °С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии с требованиями. При температуре воздуха на рабочих местах 25 °С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70 % – при температуре воздуха 25 °С; 65 % – при температуре воздуха 26 °С; 60 % – при температуре воздуха 27 °С; 55 % – при температуре воздуха 28 °С.

\*\* При температуре воздуха 26–28 °С скорость движения воздуха в теплый период года должны приниматься в соответствии с требованиями. При температуре воздуха 26–28 °С скорость движения воздуха, указанная в табл. 3.2 для теплового периода года, должны соответствовать диапазону: 0,1–0,2 м/с – при категории работ Ia; 0,1–0,2 м/с – при категории работ Iб; 0,2–0,4 м/с – при категории работ IIa; 0,2–0,5 м/с – при категориях работ IIб и III.

Таблица 3.3  
 Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха  
 в рабочей зоне производственных помещений

| Период года | Категория работ       | Температура, °С |                 |                |                   |             | Относительная влажность, % |                       | Скорость движения, м/с                                  |              |
|-------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------|----------------------------|-----------------------|---|--------------|
|             |                       | оптимальная     | допустимая      |                |                   | оптимальная | допустимая                 | оптимальная, не более | допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных* |              |
|             |                       |                 | верхняя граница | нижняя граница | на рабочих местах |             |                            |                       |   |              |
| Холодный    | Легкая – Ia           | 22-24           | 25              | 26             | 21                | 18          | 40-60                      | 75                    | 0,1   | Не более 0,1 |
|             | Легкая – Ib           | 21-23           | 24              | 25             | 20                | 17          | 40-60                      | 75                    | 0,1   | Не более 0,2 |
|             | Средней тяжести – IIa | 18-20           | 23              | 24             | 17                | 15          | 40-60                      | 75                    | 0,2   | Не более 0,3 |
|             | Средней тяжести – IIб | 17-19           | 21              | 23             | 15                | 13          | 40-60                      | 75                    | 0,2   | Не более 0,4 |
|             | Тяжелая – III         | 16-18           | 19              | 20             | 13                | 12          | 40-60                      | 75                    | 0,3   | Не более 0,5 |
|             | Легкая – Ia           | 23-25           | 28              | 30             | 22                | 20          | 40-60                      | 55 (при 28 °С)        | 0,1   | 0,1-0,2      |
| Теплый      | Легкая – Ib           | 22-24           | 28              | 30             | 21                | 19          | 40-60                      | 60 (при 27 °С)        | 0,2   | 0,1-0,3      |
|             | Средней тяжести – IIa | 21-23           | 27              | 29             | 18                | 17          | 40-60                      | 65 (при 26 °С)        | 0,3   | 0,2-0,4      |
|             | Средней тяжести – IIб | 20-22           | 27              | 29             | 16                | 15          | 40-60                      | 70 (при 25 °С)        | 0,3   | 0,2-0,5      |
|             | Тяжелая – III         | 18-20           | 26              | 28             | 15                | 13          | 40-60                      | 75 (при 25 °С и ниже) | 0,4   | 0,2-0,6      |

\*Большая скорость движения воздуха в теплый период года соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая – минимальной температуре воздуха. Для промежуточных величин температуры воздуха скорость его движения допускается определять интерполяцией; при минимальной температуре воздуха скорость его движения может приниматься ниже 0,1 м/с при легкой работе и ниже 0,2 м/с при работе средней тяжести и тяжелой.

Кроме того, при обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

- 1) пер епад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С;
- 2) пер епад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать: при категориях работ Ia и Ib – 4 °С; при категориях работ Pa и Pb – 5 °С; при категории работ III – 6 °С.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

| Облучаемая поверхность тела, % | Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более |
|--------------------------------|---|
| 50 и более                     | 35  |
| 25–50                          | 70  |
| Не более 25                    | 100   |

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>, а верхняя граница экспозиционной дозы не должна превышать 500 Вт·ч.

При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз. Кроме того, предусматривают обязательную регламентацию продолжительности непрерывного облучения и пауз.

Существует градация оценки условий труда работающих в относительно монотонном микроклимате (см. табл. 3.3) и в динамическом микроклимате, который, в зависимости от сочетания параметров микроклимата, подразделяется на нагревающий микроклимат и охлаждающий микроклимат. Кроме того, работы могут проводиться в производственных помещениях как отапливаемых и неотапливаемых, так и на открытой территории (на улице). К неотапливаемым относятся помещения, не оборудованные отопительными системами, а также такие, в которых температура воздуха поддерживается на низком уровне по технологическим требованиям.

**Нагревающий микроклимат** – сочетание параметров микроклимата (температура воздуха, влажность, скорость его движения, относительная влажность, тепловое излучение), при котором имеет место нарушение теп-

лообмена человека с окружающей средой, выражающееся в накоплении тепла в организме выше верхней границы оптимальной величины ( $> 0,87$  кДж/кг) и/или увеличении доли потерь тепла испарением пота ( $> 30\%$ ) в общей структуре теплового баланса, появлении общих или локальных дискомфортных теплоощущений (слегка тепло, тепло, жарко) [3].

Для оценки нагревающего микроклимата (вне зависимости от периода года) используется интегральный показатель – тепловая нагрузка среды (ТНС-индекс) [1]. *Тепловая нагрузка среды* – сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение), выраженное одночисловым показателем в °С [1].

ТНС-индекс рассчитывается по уравнению

$$\text{ТНС} = 0,7 \cdot t(\text{вл}) + 0,3 \cdot t(\text{ш}),$$

где  $t(\text{вл})$  – температура смоченного термометра аспирационного психрометра;  $t(\text{ш})$  – температура внутри зачерненного шара.

Максимальные величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма в зависимости от категории выполняемых работ приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Допустимые величины ТНС-индекса (°С) для рабочих помещений с нагревающим микроклиматом независимо от периода года и открытых территорий в теплый период года (верхняя граница)

| Категория работ по уровню энергозатрат | Допустимый ТНС-индекс (°С) |
|--|----------------------------|
| Iа                                     | 26,4                       |
| Iб                                     | 25,8                       |
| IIа                                    | 25,1                       |
| IIб                                    | 23,9                       |
| III                                    | 21,8                       |

*Охлаждающий микроклимат* – сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место изменение теплообмена организма, приводящее к образованию общего или локального дефицита тепла в организме ( $> 0,87$  кДж/кг) в результате снижения температуры «ядра» и/или «оболочки» тела (температура «ядра» и «оболочки» тела – соответственно температура глубоких и поверхностных слоев тканей организма). Наличие охлаждающего микроклимата предполагает обязательное обеспечения работников одеждой с соответствующей теплоизоляцией [3].

Допустимые параметры охлаждающего микроклимата для открытых территорий в холодный период определяется в зависимости от климатического региона (пояса) России по среднесуточным значениям температуры воздуха (°С) за три зимних месяца с учетом наиболее вероятной скорости ветра в каждом из климатических регионов и от категории выполняемых работ по энергозатратам. Допустимые величины температуры воздуха для работающих в охлаждающем микроклимате приведены в табл. 3.6 с учетом наличия или отсутствия регламентированных перерывов на обогрев.

Таблица 3.6

Допустимые величины температуры воздуха, °С  
(нижняя граница) в охлаждающем микроклимате

| Климатический регион (пояс) | Допустимая температура воздуха, °С           |              |                              |              |
|-----------------------------|--|--------------|------------------------------|--------------|
|                             | для открытых территорий в зимний период года |              | для неотапливаемых помещений |              |
|                             | ІБ   | Іа–ІБ        | ІБ                           | Іа–ІБ        |
| ІА (особый)                 | <u>-3,4</u>                                  | <u>-19,3</u> | <u>-11,1</u>                 | <u>-29,6</u> |
|                             | -5,9   | -20,8        | -14,8                        | -34,3        |
| ІБ (ІV)                     | <u>-15,1</u>                                 | <u>-35,6</u> | <u>-14,8</u>                 | <u>-34,9</u> |
|                             | -18,1  | -37,5        | -19,0                        | -40,0        |
| ІІ (ІІІ)                    | <u>+1,4</u>                                  | <u>-12,4</u> | <u>-2,6</u>                  | <u>-17,2</u> |
|                             | -0,7   | -13,7        | -5,3                         | -20,9        |
| ІІІ (ІІ)                    | <u>+7,0</u>                                  | <u>-4,5</u>  | <u>+4,4</u>                  | <u>-8,4</u>  |
|                             | +5,3   | -5,5         | +1,5                         | -11,4        |

Примечание. В числителе – температура воздуха при отсутствии регламентированных перерывов на обогрев; в знаменателе – при регламентированных перерывах на обогрев (не более чем через 2 часа пребывания на открытой территории).

### 3.3. Вредные вещества

Атмосферный воздух, попадая в производственные помещения, может изменять свой состав, загрязняясь примесями вредных веществ: газов, паров, пыли, образующихся в процессе производства. Попадая в организм человека при дыхании, а также через кожу или пищевод, такие вещества могут оказать вредное воздействие. Ухудшение здоровья человека, причиной которого является низкое качество воздуха помещений, может проявиться появлением большого набора острых и хронических симптомов и в форме множества специфических заболеваний (рис. 3.4).

#### ГЛАЗА

Сухость, зуд/жжение, слезоточивость, покраснение

#### ВЕРХНИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ПУТИ (нос и горло)

Сухость, зуд/жжение, заложенный нос, выделения из носа, носовые кровотечения, боль в голе

#### ЛЕГКИЕ

Стеснение в груди, нехватка воздуха, хрипы, сухой кашель, бронхит

#### КОЖА

Покраснение, сухость, общий или местный зуд

#### ОБЩИЕ

Головная боль, слабость, сонливость, трудность концентрации внимания, раздражимость, беспокойство, тошнота, головокружение

#### НАИБОЛЕЕ

РАСПОСТРАНЕННЫЕ  
ЗАБОЛЕВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ  
С ПОВЫШЕННОЙ  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Гиперсенсibilitивная пневмония (hypersensitivity pneumonitis), влажная лихорадка (humidifier fever), астма, риниты, дерматиты

#### ИНФЕКЦИИ

Болезнь легионеров, обычная простуда, грипп. Болезни неизвестного химического или физического происхождения, включая рак

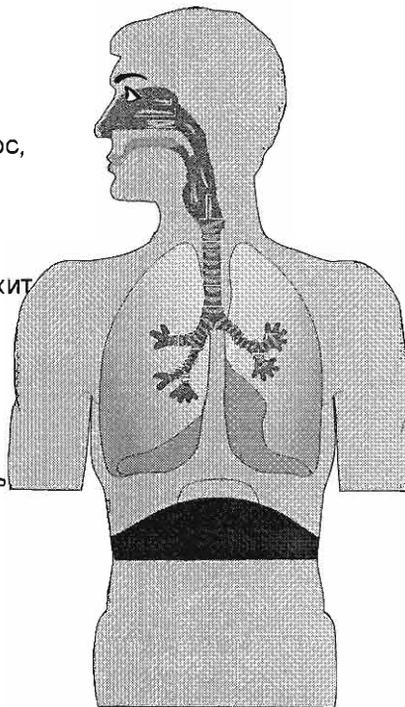


Рис. 3.4. Симптомы и заболевания, связанные с качеством воздуха помещений

В настоящее время известно около 7 млн химических веществ и соединений. На международном рынке ежегодно появляется 500...1000 новых химических соединений и смесей. Около 60 тыс веществ находят применение в деятельности человека.

Поступление в воздух производственных помещений того или иного вредного вещества зависит от технологического процесса, используемого сырья, а также от промежуточных и конечных продуктов (табл. 3.7) [3].

Таблица 3.7

## Производственные процессы [3]

| № п/п        | Наименование процесса  | Вещества для контроля воздуха                     | ПДК, **<br>мг/м <sup>3</sup> |
|--------------|--|---|------------------------------|
| 1            | Деревообрабатывающее и мебельное производство в закрытых помещениях с использованием:<br>• фенолформальдегидных смол                               | Формальдегид                                      | -/6                          |
|              |  | Фенол   | 0,05                         |
|              | • карбамид-формальдегидных смол  | Древесная пыль                                    | 0,1                          |
|              |  | Формальдегид                                      | -/6                          |
| 2            | Медеплавильное производство: плавильный передел, конверторный передел, огневое и электролитическое рафинирование меди                              | Древесная пыль                                    | 0,5                          |
|              |  | Никель и его соединения                           | 0,05                         |
|              |  | Мышьяк и его соединения                           | 0,04/0,01                    |
| 3            | Производство изопропилового спирта сильнокислотным процессом   | Бенз(а)пирен                                      | 0,00015                      |
|              |  | Серная кислота                                    | 1                            |
| 4            | Производство кокса, переработка каменноугольной, нефтяной и сланцевой смол, газификация угля   | Возгоны каменноугольной смолы и пека              | 0,2/0,05*                    |
|              |  | Бен(а)пирен                                       | 0,00015                      |
| 5            | Производство резины и изделий из нее:<br>• подготовительное, основное и вспомогательное производство резины, шин, обуви, резинотехнических изделий | Сажи черные                                       | -/4                          |
|              |  | Бенз(а)пирен                                      | 0,00015                      |
|              | • отделение вулканизации   | Газы шинного производства (вулканизационные газы) | 0,5                          |
|              | • изготовление обуви из поливинилхлорида   | Хлорэтан (винила хлорид)                          | 5/1                          |
|              |  | Проп-2-фенонитрил (акрилонитрил)                  | 1,5/0,5                      |
| Бенз(а)пирен | 0,00015  |   |                              |
| 6            | Производство технического углерода   | Газы шинного производства (вулканизационные газы) | 0,5                          |
|              |  | Сажи черные                                       | -/4                          |
| 7            | Производство угольных, графитовых изделий, анодных и подовых масс (с использованием пеков), обожженных анодов                                      | Бенз(а)пирен                                      | 0,00015                      |
|              |  | Углерода пыли (кокс)                              | -/6                          |

\* В зависимости от содержания в возгонах бенз(а)пирена: менее 0,075 % – ПДК 0,2 мг/м<sup>3</sup>, от 0,075 до 0,15 % – 0,1 мг/м<sup>3</sup>, от 0,15 до 0,3 % – 0,05 мг/м<sup>3</sup>;

\*\* В числителе – ПДК<sub>мр</sub>, в знаменателе – ПДК<sub>сс</sub>. Если приведен один норматив, то это означает, что он установлен как ПДК<sub>мр</sub>.

### 3.3.1. Классификация вредных веществ

Химические вещества в зависимости от их практического использования классифицируются:

- промышленные яды, используемые в производстве: органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин) и др.;
- ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;
- лекарственные средства;
- бытовые химикаты, используемые в пищевых добавках: уксусная кислота, средства санитарии, личной гигиены, косметика и др.;
- биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута и др.), у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов и др.);
- отравляющие вещества: зарин, иприт, фосген и др.

Согласно [2] основными характеристиками вредных веществ являются:

- величина предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества в воздухе рабочей зоны;
- агрегатное состояние вещества: пары и (или) газы, аэрозоли (пыли), смесь паров и аэрозоля;
- класс опасности вещества;
- особенности действия на организм человека.

Основываясь на прогрессивных современных научных принципах, учитывая физиологические и биохимические показатели состояния организма, установлены ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

**Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны** – концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений [4].

При обосновании ПДК вредных веществ учитываются физико-химические свойства веществ, результаты экспериментальных исследований, данные гигиенических наблюдений на производстве, материалы о состоянии здоровья и заболеваемости рабочих.

В настоящее время установлены ПДК более чем для 2000 наименований вредных веществ. Для вновь вводимых в производство соединений устанавливаются временные ПДК – ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) [5, 6].

В зависимости от агрегатного состояния вредные вещества относятся к различным группам опасных и вредных производственных факторов. Например, аэрозоли (пыли) преимущественно фиброгенного действия относятся к физическому опасному и вредному производственному факторам; пары и (или) газы относятся к химическому опасному и вредному производственному факторам.

Различают четыре класса опасности вредных веществ:

- вещества 1-го класса – чрезвычайно опасные вредные вещества;
- вещества 2-го класса – высоко опасные вещества;
- вещества 3-го класса – умеренно опасные вещества;
- вещества 4-го класса – слабо опасные вещества.

Класс опасности вредного вещества устанавливается по токсикологическим показателям (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Классификация производственных вредных веществ по степени опасности [4]

| Показатель  | Класс опасности |          |              |              |
|---|-----------------|----------|--------------|--------------|
|   | 1-й             | 2-й      | 3-й          | 4-й          |
| ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>                         | Менее 0,1       | 0,1–1,0  | 1,1–10,0     | Более 10     |
| Средняя смертельная доза при введении в желудок DL <sup>*</sup> <sub>50</sub> , мг/кг | Менее 15        | 15–150   | 151–5 000    | Более 5 000  |
| Средняя смертельная доза при нанесении на кожу DL <sup>*</sup> <sub>50</sub> , мг/кг  | Менее 100       | 100–500  | 501–2 500    | Более 2 500  |
| Средняя смертельная концентрация CL <sub>50</sub> в воздухе, мг/м <sup>3</sup>        | Менее 500       | 500–5000 | 5 001–50 000 | Более 50 000 |
| Зона острого действия Z <sub>ac</sub>   | Менее 6         | 6–18     | 18,1–54      | Более 54     |
| Зона хронического действия Z <sub>ch</sub>  | Более 10        | 10–5     | 4,9–2,5      | Менее 2,5    |
| Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)                              | Более 300       | 300–30   | 29–3         | Менее 3,0    |

Примечание. DL<sup>\*</sup><sub>50</sub> – средняя смертельная доза при введении в желудок, вызывающая гибель 50 % подопытных животных; DL<sup>\*</sup><sub>50</sub> – доза вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном нанесении на кожу; CL<sub>50</sub> – концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при 2–4-часовом ингаляционном воздействии; Z<sub>ac</sub> – отношение средней смертельной концентрации вредного вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических

реакций;  $Z_{ch}$  – отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по 4 ч пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев; КВИО – отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей

По особенности действия на организм человека химически опасные и вредные производственные факторы классифицируются:

- по характеру воздействия на организм человека – на токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные и влияющие на репродуктивную функцию человека;
- по пути проникновения в организм человека – через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

**Токсические вещества** – вещества, яды, которые, попадая в организм в небольших количествах, вступают затем в химическое или физико-химическое взаимодействие с тканями и при определенных условиях вызывают нарушение здоровья. Хотя ядовитыми (токсичными) свойствами может обладать практически любое вещество, к ядам принято относить лишь те, которые проявляют свое вредное действие в обычных условиях и в относительно небольших количествах. Промышленные яды относятся к категории вредных веществ и являются предметом изучения токсикологии. Действие ядовитых веществ может проявляться в острых и хронических отравлениях.

**Острым отравлением** называется заболевание, наступающее сразу же после воздействия яда. Острые отравления характеризуются кратковременностью действия ядов (не более чем в течение одной смены) и поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах. Острые отравления вызывают такие промышленные яды, как синильная кислота, сероуглерод и др. Острые отравления расследуются и учитываются как несчастные случаи.

Для производственных условий в случае несоблюдения правил безопасности более характерными являются **хронические отравления** в результате длительного систематического проникновения в организм яда в малых количествах. При этом отравление происходит либо в результате постепенного накопления (материальная кумуляция) яда в организме, либо вследствие постепенного накопления изменений, вызванных попаданием яда (функциональная кумуляция). Действие одного и того же яда различно при хроническом и остром отравлениях. Например, при остром отравлении бензолом в основном страдает нервная система, при хроническом – система кроветворения.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на яды с общим токсическим воздействием и яды избирательной токсичности (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Токсикологическая классификация вредных веществ [7]

| Токсическое воздействие   | Токсические вещества  |
|---|---|
| <i>Общее</i>  |   |
| Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм, удушье, судороги и параличи)   | Фосфорорганические инсектициды (хлорофос, карбофос, никотин, ОВ и др.)              |
| Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и некротические изменения в сочетании с общетоксическими резорбтивными явлениями) | Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть (сулема) |
| Общетоксическое действие (гипоксические судороги, кома, отек мозга, паралич)  | Синильная кислота и ее производные, угарный газ, алкоголь и его суррогаты, ОВ       |
| Удушающее действие (токсический отек легких)  | Оксиды азота, ОВ  |
| Слезоточивое и раздражающее действие (раздражение наружных слизистых оболочек)  | Пары крепких кислот и щелочей, хлорпикрин, ОВ                                       |
| Психотропное действие (нарушение психической активности, сознания)  | Наркотики, атропин  |
| <i>Избирательное</i>  |   |
| Сердечные с преимущественным кардиотическим действием   | Растительные яды, соли металлов: бария, калия, кобальта, кадмия и др.               |
| Нервные, вызывающие нарушение преимущественно психической активности  | Угарный газ, фосфорорганические соединения и др.                                    |
| Кровяные  | Анилин и его производные, нитриты, мышьяковистый водород и др.                      |
| Печеночные  | Хлорированные углеводороды, фенолы, альдегиды и др.                                 |
| Почечные  | Соединения тяжелых металлов и др.   |
| Легочные  | Оксиды азота, озон, фосген и др.  |

Показатели токсикометрии и критерии токсичности вредных веществ – это количественные показатели токсичности и опасности вредных ве-

шесть. Степень отравляющего действия яда зависит от его структуры, физического состояния в момент воздействия, продолжительности действия, концентрации попавшего в организм яда, от путей попадания в организм, реакции организма. Имеют значение пол и возраст работающих на предприятии, а также их индивидуальная чувствительность.

Промышленные яды могут вызвать не только специфические отравления, но и способствовать к возникновению таких заболеваний, как катар верхних дыхательных путей, туберкулез, заболевание почек, сердечно-сосудистой системы и др.

*Раздражающие вредные вещества* – это вещества, вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов, например, бром, хлор, фтор, аммиак, кислоты, щелочи, оксиды азота, аммиак, сероводород и др.

*Сенсибилизирующие вещества* – это различные вредные вещества, вызывающие аллергические заболевания, например, формальдегид, растворители и лаки на основе нитросоединений, бериллий и его соединения, канифоль, моющие синтетические средства.

*Канцерогенное, мутагенное и воздействие, оказывающее влияние на репродуктивную функцию* относятся к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм человека. Это – специфическое действие, которое проявляется спустя годы и даже десятилетия. *Канцерогенное* действие вредных веществ вызывает, как правило, злокачественные новообразования (ароматические углеводороды, бензол, возгоны каменноугольных смол и пеков, асбест, хром, никель и др). *Мутагенное* действие приводит к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др). *Вещества, влияющее на репродуктивную функцию* (детородную функцию) (стирол, ртуть, свинец, бенз(а)пирен, бензин, марганец в сварочных аэрозолях, радиоактивные изотопы и др.). Кроме того, отмечается появление различных эффектов и в последующих поколениях.

Многие производственные процессы сопровождаются пылевым фактором. Во вдыхаемом человеком воздухе могут содержаться частицы пыли размером до 20 мкм. В верхних отделах дыхательных путей задерживаются частицы размером 10...20 мкм. В альвеолах легких в основном задерживаются частицы размером до 5 мкм.

Причины выделения пыли могут быть самыми разнообразными. Пыль может образовываться при механической обработке хрупких металлов, шлифовке, полировке, упаковке и расфасовке. Эти виды пылеобразования являются первичными. В условиях производства может возникнуть и вторичное пылеобразование, например, при проветривании, уборке помещений, движении людей.

**Пыль** – это дисперсная фаза твердых веществ, образующаяся при их дроблении, измельчении, а также при конденсации в воздухе паров металлов и неметаллов. Пыли, взвешенные в воздухе, образуют аэрозоли, скопление осевшей пыли – аэрогели.

Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от количества вдыхаемой пыли, степени ее дисперсности, от формы частиц пыли, от ее химического состава и растворимости.

По характеру воздействия на организм производственные пыли подразделяются на общетоксические и раздражающие. Общетоксические пыли (свинца, мышьяка, бериллия, триоксида хрома и др.), растворяясь в биологических жидких средах организма, действуют как введенный в организм яд и вызывают острое либо хроническое отравление. Раздражающие пыли не обладают способностью хорошо растворяться в жидких средах организма, но могут воздействовать на организм, раздражая кожу, глаза, уши, десны, вызывая аллергические реакции.

Большая группа аэрозолей, не обладающих выраженной токсичностью, отличается от других вредных веществ фиброгенным действием на организм человека. Попадая в органы дыхания, вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а, задерживаясь в легких, приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких. Профессиональные заболевания, связанные с воздействием аэрозолей, пневмоконииозы и пневмосклерозы, хронический пылевой бронхит занимают второе место по частоте среди профессиональных заболеваний в России. Пневмоконииозы – общее название целого ряда заболеваний легких, которые в зависимости от вида вдыхаемой пыли подразделяются на силикозы (кремниевая пыль), силикатозы (соли кремниевой кислоты), антракозы (угольная пыль), металлоканииозы (металлическая пыль) и т.д. При пневмоконииозах наблюдается анатомическое перерождение соединительной ткани легких (фиброз), приводящее к ограничению их дыхательной поверхности и изменениям во всем организме.

### ***3.3.2. Нормирование и контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны***

Обеспечить полное отсутствие вредных веществ в воздухе рабочей зоны на современных промышленных предприятиях представляется нереальной задачей. Достижение подобного результата потребовало бы больших материальных затрат, вызванных трудностями технической реализации этого требования. В связи с этим большое значение приобретает необходимость обоснования безвредных для человеческого организма концентраций вредных веществ и разработки методов и средств контроля их содержания в воздухе рабочей зоны [2].

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций: максимально разовых рабочей зоны (ПДК<sub>мр.рз</sub>) и среднесменных рабочей зоны (ПДК<sub>сс.рз</sub>). Величины ПДК<sub>мр.рз</sub> и ПДК<sub>сс.рз</sub> приведены в Руководстве [3].

Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны является обязательным гигиеническим условием обеспечения безвредности труда. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны по существующим нормативным документам систематически проверяется санитарными органами.

#### *Общие требования, предъявляемые к контролю содержания вредных веществ*

1. Для каждого производственного участка должны быть определены вещества, которые могут выделяться в воздух рабочей зоны. При наличии в воздухе нескольких вредных веществ контроль воздушной среды допускается проводить по наиболее опасным и характерным веществам, устанавливаемым органами государственного санитарного надзора.

2. Контроль содержания вредных веществ в воздухе проводится на наиболее характерных рабочих местах. При наличии идентичного оборудования или выполнения одинаковых операций контроль проводится выборочно на отдельных рабочих местах, расположенных в центре и по периферии помещения.

3. Отбор проб должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. *Зона дыхания* – пространство в радиусе до 50 см от лица работающего. Отбор проб воздуха на содержание в нем вредных газовых или пылевых примесей производится несколькими способами: аспирационным, весовым, фильтровальным, способом поглощения. Используются следующие методы анализа воздуха на содержание в нем примесей: весовой, объемный, электрохимический и др.

4. При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК.

5. Периодичность контроля устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для I-го класса – не реже 1 раза в 10 дней, II-го класса – не реже 1 раза в месяц, III-го и IV-го классов – не реже 1 раза в квартал.

6. В зависимости от конкретных условий производства периодичность контроля может быть изменена по согласованию с органами Государственного санитарного надзора. При установленном соответствии содержания вредных веществ III-го, IV-го классов опасности уровню ПДК допускается проводить контроль не реже 1 раза в год.

На производстве работающий персонал обычно подвергается комбинированному влиянию нескольких вредных веществ.

**Комбинированное действие** – это одновременное или последовательное действие на организм человека нескольких вредных веществ при одном и том же пути поступления. В зависимости от эффектов токсичности различают несколько типов комбинированного действия токсических веществ: аддитивное, потенцированное, антагонистическое и независимое действия.

**Аддитивное действие** нескольких вредных веществ – это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов Государственного санитарного надзора) сумма отношений фактических концентраций каждого из них ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) в воздухе к их ПДК<sub>1</sub>, ПДК<sub>2</sub>, ..., ПДК<sub>n</sub> не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{K_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{K_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1.$$

Примером аддитивности являются: наркотическое действие смеси углеводородов (бензола и изопропилбензола); оксиды азота и оксид углерода; аминокосоединения и оксид углерода; нитросоединения и оксид углерода.

При **потенцированном действии (синергизме)** компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме больше аддитивного, и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях. Однако количественной оценки это явление не получило. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора, алкоголь повышает опасность отравления ртутью, анилином. Явление потенцирования возможно только в случае острого отравления.

**Антагонистическое действие** – эффект комбинированного действия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого. В этом случае эффект меньше аддитивного. Примером антагонистического действия является взаимодействие между эзеринумом и атропином.

При *независимом действии* комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого токсического вещества в отдельности.

### ***3.3.3. Мероприятия по снижению воздействия вредных веществ***

Инженерно-технические мероприятия, направленные на замену старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, способствующих оздоровлению неблагоприятных условий труда. Перспективными направлениями здесь являются: автоматизация, механизация и дистанционное управление производственных процессов, протекающих в неблагоприятных для организма человека параметрах микроклимата, сопровождающихся выделением вредных веществ. Например, применение штамповки вместо поковочных работ; замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными. Так, сварка в вакууме предупреждает поступление в воздух токсических газов и аэрозолей. Окраска в электростатическом поле значительно сокращает выделение паров растворителей и красочной аэрозоли в рабочую зону. Применение в технологических процессах пневмотранспорта в погрузочно-разгрузочных операциях, механизации при очистке деталей, заготовок позволяет сокращать время контакта работающих в неблагоприятных условиях труда. Герметичность оборудования, а именно плотно подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических отверстий с работой оборудования – все это значительно снижает выделение теплоты и вредных веществ от открытых источников.

Гигиенические и санитарно-технические мероприятия направлены на создание безвредных условий труда в действующем производстве. К ним относятся: гигиеническая стандартизация, контроль состояния воздушной среды, соблюдение гигиенических требований в условиях повышенной опасности действия ядов (аварийные ситуации, ремонтные работы), применение средств защиты, вентиляция, профилактика отравлений с помощью соответствующих планировки и отделки зданий, санитарный инструктаж рабочих.

Гигиеническая стандартизация означает исключение и ограничение содержания вредных веществ в исходном сырье и в конечных продуктах производства (свинца в типографских красках, мышьяка в составе кислот и металлов и т. п.).

В зависимости от особенностей технологии, оборудования, степени токсичности перерабатываемых продуктов используются и соответствующие виды планировки, отделки помещений и расположения оборудования. Например, оборудование, являющееся источником выделения опасных ядовитых веществ, изолируют от работающих, а управление им ведется дистанционно. Во избежание сорбции токсичных веществ стенами,

деревянными ограждениями окон, полами используют материалы, не поглощающие токсические вещества (керамическая плитка, пластмасса и т. п.). Вопросы планировки тесно связаны с устройством общеобменной вентиляции, позволяющей создавать избыточное давление в помещениях с целью предотвращения проникновения в них веществ из соседних помещений, а также обеспечивать разбавление вредных выделений до безопасных концентраций. В ряде случаев эффективной мерой является местная вытяжная вентиляция, улавливающая вредные вещества у мест их выделения.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение возникновения производственных отравлений и заболеваний. К ним относятся: обязательный предварительный при поступлении на работу и последующие периодические медицинские осмотры, организация дополнительного и специального питания; витаминизация; ультрафиолетовое облучение работающих; щелочные ингаляции, дыхательная гимнастика. Работающие с токсичными веществами проходят специальный санитарный инструктаж.

Законодательные мероприятия. В соответствии с российским трудовым законодательством в отношении лиц, работающих с вредными веществами, предусмотрены ограничение продолжительности рабочего дня, предоставление дополнительного отпуска, более ранние сроки выхода на пенсию, увеличение тарифных ставок должностных окладов. На ряде производств законом не допускается использование труда женщин и подростков. Обязательными являются учет и регистрация профессиональных отравлений. Принятые нормы на ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны являются обязательными для администрации предприятий, учреждений, организаций.

### ***3.3.4. Индивидуальные средства защиты органов дыхания***

Если применение инженерно-технических мероприятий не приводит к снижению вредных веществ, а также в случае временного пребывания работника в опасной зоне ядовитых испарений, газов, используются индивидуальные средства защиты.

Средства защиты органов дыхания предназначены для защиты работающих от вредных для здоровья веществ (аэрозолей, газов, паров, пыли), присутствующих в окружающем воздухе при проведении различных технологических процессов. При подборе средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) необходимо знать следующее: с какими веществами приходится работать; какова концентрация загрязняющих веществ; в каком состоянии они находятся (в виде газов, пыли, аэрозолей); существует ли опасность кислородного голодания; сколько времени приходится работать в опасных условиях; каковы физические нагрузки в процессе работы.

Существует два типа средств защиты органов дыхания, основанные на двух различных методах обеспечения индивидуальной защиты органов дыхания от воздействия окружающей воздушной среды: фильтрующие (очистка воздуха) и изолирующие (подача чистого воздуха или дыхательной смеси на основе кислорода от какого-либо источника) [8].

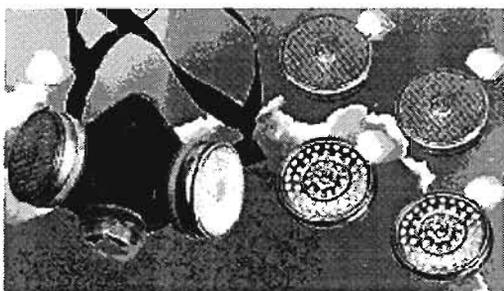
Фильтрующие СИЗОД подают в зону дыхания очищенный от примесей воздух. По назначению фильтрующие СИЗОД, в зависимости от агрегатного состояния вредных веществ, от которых необходима защита, делятся на три класса: противоаэрозольные; противогазовые; противогазоаэрозольные (комбинированные).

По конструкции фильтрующие СИЗОД подразделяют:

- с фильтрующей лицевой частью без клапанов (рис. 3.5, а);
- с фильтрующей лицевой частью с клапанами (рис. 3.5, б);
- с лицевой частью из изолирующих материалов с фильтрующими системами, с клапанами и без них (рис. 3.6, а, рис. 3.6, б).



а)



б)

Рис. 3.5. Фильтрующие средства защиты органов дыхания

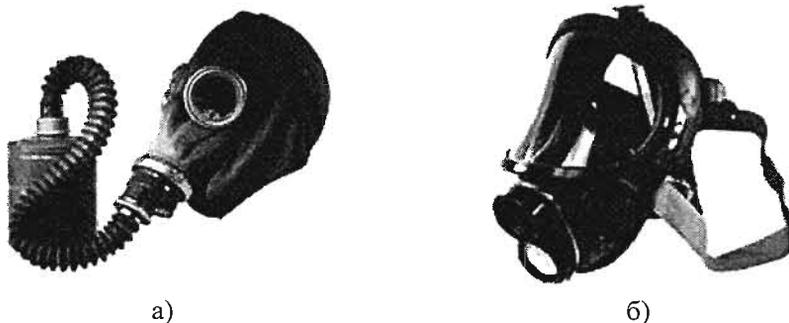


Рис. 3.6. Фильтрующие противогазы:  
 а) противогаз промышленный фильтрующий ППФ-95С;  
 б) панорамная маска ПМ-88

Преимущества фильтрующих средств заключаются в их легкости, удобстве, простоте в обращении; надежно фиксируются в рабочем положении, не препятствуют свободе движения работника.

Недостатками этих средств являются: затрудненность дыхания из-за сопротивления фильтра; ограниченность работы с применением фильтра по времени (если нет фильтрующей маски, которая снабжена поддувом); фильтры обладают ограниченным сроком годности.

Для защиты органов дыхания от токсических паров и газов применяют фильтрующие противогазы (см. рис. 3.6, а), респираторы, панорамные маски (рис. 3.6, б), шлем-маски.

Защита от определенной группы токсических веществ обеспечивается применением соответствующих поглотителей-патронов (фильтрующе-поглощающих коробок – ФЛП) (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Область применения поглотителей-патронов  
 противогазов и респираторов

| Индекс патрона (ФЛП) | Цвет патрона (коробки) | Защита от вредных веществ  |
|----------------------|------------------------|--|
| А                    | Коричневый             | Пары органических соединений (бензин, керосин, ацетон, бензол и его гомологи, ксилол, сероуглерод и др.), пыль, дым, туман |

| Индекс патрона (ФЛП) | Цвет патрона (коробки)                | Защита от вредных веществ   |
|----------------------|---------------------------------------|---|
| В                    | Желтый                                | Кислые газы и пары (сернистый газ, сероводород, синильная кислота, хлор, окислы азота, фосген, хлористый водород), фосфор- и хлорорганические ядохимикаты, пыль, дым, туман |
| Г                    | Черный с желтым                       | Пары ртути, ртутьорганические ядохимикаты на основе этилртутихлорида, пыль, дым, туман  |
| КД                   | Серый                                 | Аммиак, сероводород (раздельно и в смесях), пыль, дым, туман  |
| СО                   | Белый                                 | Оксид углерода, пыль, дым, туман  |
| М                    | Красный                               | Оксид углерода в присутствии небольших концентраций паров органических веществ, кислые газы, аммиак, мышьяковистый и фосфористый водород, пыль, дым, туман                  |
| БКФ                  | Защитный с белой вертикальной полосой | Кислые газы и пары, пары органических веществ, мышьяковистый и фосфористый водород, пыль, дым, туман  |
| К                    | Светло-зеленый                        | Аммиак, пыль, дым, туман  |
| Е                    | Черный                                | Мышьяковистый и фосфористый водород, хлористый циан, пыль, дым, туман   |



Рис. 3.7. Противогаз изолирующий ИП-4М (ИП-4МК)

Перечисленные фильтрующие противогазы и респираторы могут использоваться только при достаточном содержании кислорода в окружающем воздухе (не менее 18 % по объему) и при ограниченном известном содержании вредных веществ. Их нельзя использовать при работах в труднодоступных помещениях малого объема, в замкнутых и полужамкнутых пространствах (цистерны, колодцы, трубопроводы и т. п.), а также в различных аварийных ситуациях, когда количество вредных веществ в окружающем воздухе неизвестно. В таких случаях используются изолирующие дыхательные аппараты.

Изолирующие СИЗОД (рис. 3.7) подают в зону дыхания воздух из специальных емкостей или из чистого пространства, расположенного вне рабочей зоны.

Изолирующие средства защиты применяются: в условиях возникновения недостатка кислорода во вдыхаемом воздухе; в условиях загрязнения воздуха в больших концентрациях или когда концентрация загрязнения неизвестна (например, чрезвычайные ситуации – аварийный выброс химических или радиоактивных веществ, при пожаре и т. п.); если выполняется тяжелая работа, когда дыхание через фильтрующие СИЗОД затруднено из-за сопротивления фильтра; для работы в особо опасных условиях (в изолированных объемах, при ремонте нагревательных печей, газовых сетей и т. п.).

Номенклатура изолирующих СИЗОД обширна и постоянно расширяется. В настоящее время существуют средства, обеспечивающие комплексную защиту человека от опасных и вредных факторов, создавая одновременно защиту органов зрения, слуха, дыхания, а также защиту отдельных частей тела человека.

### **3.4. Мероприятия и средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест**

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, применение системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.

Средства защиты работающих в зависимости от характера их применения подразделяют на две категории [9]:

- средства коллективной защиты;
- средства индивидуальной защиты.

*К коллективным средствам* нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест относятся устройства для следующих целей:

- локализации вредных факторов;
- вентиляции и очистки воздуха;
- кондиционирования воздуха;
- отопления;
- автоматического контроля и сигнализации;
- дезодорации воздуха.

*К локализации вредных факторов* относятся устройства по уменьшению неблагоприятного воздействия тепла и холода. Это, например, различные теплозащитные средства: теплоизоляция, теплозащитные экраны, воздушное душирование, воздушные завесы и оазисы.

Выбор теплозащитных средств должен осуществляться с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. К теплозащитным средствам предъявляются следующие требования: они должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания, не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность оборудования не выше 308 К (35 °С) при температуре внутри источника до 373 К (100 °С) и не выше 318 К (45 °С) при температурах внутри источника выше 373 К (100 °С).

*Теплоизоляция поверхностей* источников излучения (печей, сосудов, трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и радиационное.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. Мастичная теплоизоляция 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. Наиболее пригодна оберточная теплоизоляция для трубопроводов. Засыпную теплоизоляцию применяют 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 изготавливается из мастичной или оберточной изоляции. Снаружи теплоизоляции рекомендуется устанавливать алюминиевые кожухи. Это позволяет повышать долговечность изоляции и дополнительно снижать излучение от источника.

*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:

1) непрозрачные: металлические водоохлаждаемые и футерованные асбестовые, альфолиевые, алюминиевые экраны;

2) полупрозрачные: экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой (все эти экраны могут орошаться водяной пленкой);

3) прозрачные: экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического, бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы.

*Воздушное душирование* – подача воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место, применяют 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  $0,2 \text{ м}^2$ . 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  $45^\circ$ , а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом  $45^\circ$ .

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.

При интенсивности облучения свыше  $2,1 \text{ кВт/м}^2$  воздушный душ не может обеспечить необходимого охлаждения. В этом случае необходимо предусматривать теплоизоляцию или экранирование. 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 играет роль воздушного шибера, уменьшая прорыв воздуха через проемы. Согласно [10] воздушные завесы необходимо устраивать:

- у постоянно открытых проемов в наружных стенах помещений, а также у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров и открывающихся более пяти раз или не менее чем на 40 мин в смену в районах с расчетной температурой наружного воздуха минус  $15^\circ \text{C}$  и ниже;

- у наружных дверей вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий – в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха и числа людей, проходящих через двери в течение 1 ч;

- у наружных дверей, ворот и проемов помещений с мокрым режимом;
- по специальным технологическим требованиям и обоснованиям.

Количество и температуру воздуха определяют расчетным путем.

Применяют несколько основных схем воздушных завес. Завесы с нижней подачей (рис. 3.8, а) наиболее экономичны по расходу воздуха и рекомендуются в том случае, когда недопустимо понижение температуры вблизи проемов. Для проемов небольшой ширины рекомендуется схема на рис. 3.8, б. Схему с двусторонним боковым направлением струй (рис. 3.8, в) используют в тех случаях, когда возможна остановка транспорта в воротах.

*Воздушные оазисы* предназначены для улучшения метеорологических условий труда, как правило, для отдыха на ограниченной площади. Для этого разработаны схемы кабин с легкими передвижными перегородками, которые заглаживаются воздухом с соответствующими параметрами.

Мероприятия по профилактике неблагоприятного воздействия тепла и холода должны предусматривать: предупреждение выхолаживания производственных помещений; использование средств индивидуальной защиты; подбор рационального режима труда и отдыха.

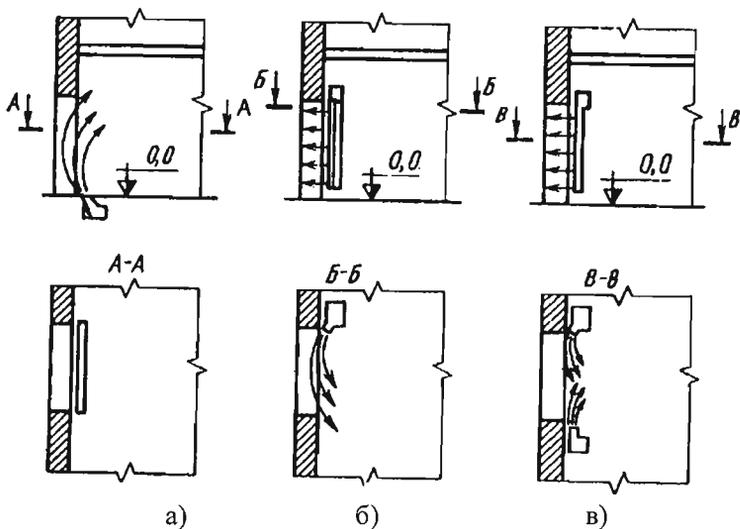


Рис. 3.8. Схемы воздушных завес: а) с нижней подачей воздуха; б) односторонние; в) двусторонние

Так, спецодежда должна быть воздухо- и влагонепроницаемой, иметь удобный покрой (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Утепленная одежда. Костюм утепленный «СЕВЕР». Безопасная яркая сигнальная расцветка. Брюки с высоким поясом на регулируемых лямках. Утепленный капюшон, множество удобных карманов. Подкладка – двойной слой синтепона, верх – прочная ткань

Теплоизолирующие свойства одежды, уменьшающие теплопотери организма, принято оценивать в единицах «ккло» (от английского слова *clothes* – «одежда»). 1 ккло в тепловых единицах равняется  $0,18^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч}/\text{ккал}$ . Такими свойствами, например, обладает обычный мужской костюм (теплоизолирующие свойства легкого летнего платья – 0,5 ккло, демисезонного пальто – 2...2,5 ккло, очень теплой зимней арктической одежды – 4...6 ккло).

В качестве материалов применяются такие ткани, как хлопчатобумажная, льняная, грубошерстное сукно. К одежде специальной защитной относятся: тулупы, пальто, полупальто, полушубки, халаты, комбинезоны, полукombineзоны, жилеты и т. д.

Рациональный режим труда и отдыха разрабатывается применительно к конкретным условиям работы. Частые короткие перерывы более эффективны для поддержания работоспособности, чем редкие, но продолжительные.

В условиях микроклимата с температурой воздуха на рабочих местах выше и ниже допустимых величин рекомендуется регламентировать продолжительность работ в пределах рабочей смены, а также общего режима труда (табл. 3.11, 3.12).

Таблица 3.11

Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых величин [1]

| Температура воздуха на рабочем месте, °С | Время пребывания при категориях работ, ч, не более |         |     |
|--|--|---------|-----|
|  | Ia–Iб  | IIa–IIб | III |
| 32,5                                     | 1  | –       | –   |
| 32,0                                     | 2  | –       | –   |
| 31,5                                     | 2,5  | 1       | –   |
| 31,0                                     | 3  | 2       | –   |
| 30,5                                     | 4  | 2,5     | 1   |
| 30,0                                     | 5  | 3       | 2   |
| 29,5                                     | 5,5  | 4       | 2,5 |
| 29,0                                     | 6  | 5       | 3   |
| 28,5                                     | 7  | 5,5     | 4   |
| 28,0                                     | 8  | 6       | 5   |
| 27,5                                     | –  | 7       | 5,5 |
| 27,0                                     | –  | 8       | 6   |
| 26,5                                     | –  | –       | 7   |
| 26,0                                     | –  | –       | 8   |

Таблица 3.12

Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха ниже допустимых величин [1]

| Температура воздуха на рабочем месте, °С | Время пребывания при категориях работ, ч, не более |    |     |     |     |
|--|--|----|-----|-----|-----|
|  | Ia   | Iб | IIa | IIб | III |
| 6  | –  | –  | –   | –   | 1   |
| 7  | –  | –  | –   | –   | 2   |
| 8  | –  | –  | –   | 1   | 3   |
| 9  | –  | –  | –   | 2   | 4   |
| 10                                       | –  | –  | 1   | 3   | 5   |
| 11                                       | –  | –  | 2   | 4   | 6   |

| Температура воздуха на рабочем месте, °С | Время пребывания при категориях работ, ч, не более |    |     |     |     |
|--|--|----|-----|-----|-----|
|  | Ia   | Iб | IIa | IIб | III |
| 12                                       | –  | 1  | 3   | 5   | 7   |
| 13                                       | 1  | 2  | 4   | 6   | 8   |
| 14                                       | 2  | 3  | 5   | 7   | –   |
| 15                                       | 3  | 4  | 6   | 8   | –   |
| 16                                       | 4  | 5  | 7   | –   | –   |
| 17                                       | 5  | 6  | 8   | –   | –   |
| 18                                       | 6  | 7  | –   | –   | –   |
| 19                                       | 7  | 8  | –   | –   | –   |
| 20                                       | 8  | –  | –   | –   | –   |

Во избежание чрезмерного (опасного) общего перегревания и локального повреждения (ожог) должна быть регламентирована продолжительность периодов непрерывного инфракрасного облучения человека и пауз между ними (табл. 3.13).

Таблица 3.13

Время пребывания на рабочих местах при интенсивности инфракрасного облучения выше допустимых величин [3]

| Интенсивность инфракрасного облучения, Вт/м <sup>2</sup> | Продолжительность периодов непрерывного облучения, мин | Продолжительность паузы, мин | Соотношение продолжительности облучения и пауз |
|--|--|------------------------------|--|
| 350  | 20   | 8                            | 2,5  |
| 700  | 15   | 10                           | 1,5  |
| 1050   | 12   | 12                           | 1,0  |
| 1400   | 9  | 13                           | 0,7  |
| 1750   | 7  | 14                           | 0,5  |
| 2100   | 5  | 15                           | 0,33   |
| 2450   | 3,5  | 12                           | 0,3  |

При выполнении работ на открытом воздухе в холодный период следует ориентироваться на допустимую степень охлаждения работающих, регламентируемую временем непрерывного пребывания на холоде и временем обогрева, в зависимости от категории работ и климатического региона/поояса (табл. 3.14).

Таблица 3.14

Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории во II-м климатическом регионе (III-й климатический пояс)

| Температура воздуха, °С * | Энерготраты, Вт/м <sup>2</sup> (категория работ) |                      |   |
|---------------------------|--|----------------------|---|
|                           | Iб   | IIа                  | IIб                                     |
| -10                       | охлаждение через 1,7                             | охлаждение через 4,6 | охлаждение поверхности тела отсутствует |
| -15                       | 1,2  | 2,2                  | –                                       |
| -20                       | 0,9  | 1,5                  | охлаждение через 5,5                    |
| -25                       | 0,8  | 1,1                  | 2,4                                     |
| -30                       | 0,7  | 0,9                  | 1,6                                     |
| -35                       | 0,6  | 0,7                  | 1,1                                     |
| -40                       | 0,5  | 0,6                  | 0,9                                     |

\* Учтена наиболее вероятная скорость ветра для II климатического региона (3,6 м/с)

При физических работах средней тяжести внутрисменный режим работы на холоде (на открытой территории или в неотапливаемом помещении) в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра для II-го климатического региона (III-й пояс) представлен в табл. 3.15 [11].

Таблица 3.15

Режим работ на открытой территории в климатическом регионе II (работа категории IIа–IIб)

| Температура воздуха, °С | Скорость ветра, м/с  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |    |   |
|-------------------------|----------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|---|
|                         | ≤ 1                  |   | 2   |   | 4   |   | 6   |   | 8   |   | 10 |   |
|                         | а                    | б | а   | б | а   | б | а   | б | а   | б | а  | б |
| -10                     | Не регламентируется* |   |     |   |     |   | 168 | 1 | 121 | 1 | 92 | 2 |
| -15                     | 200                  | 1 | 170 | 1 | 127 | 1 | 107 | 1 | 85  | 2 | 70 | 2 |
| -20                     | 117                  | 1 | 104 | 1 | 84  | 2 | 71  | 2 | 58  | 3 | 49 | 3 |
| -25                     | 82                   | 2 | 76  | 2 | 64  | 3 | 54  | 3 | 47  | 3 | 40 | 4 |
| -30                     | 65                   | 3 | 60  | 3 | 52  | 3 | 45  | 4 | 39  | 4 | 34 | 5 |
| -35                     | 52                   | 3 | 49  | 3 | 43  | 4 | 38  | 4 | 33  | 5 | 29 | 5 |
| -40                     | 44                   | 4 | 41  | 4 | 37  | 4 | 32  | 5 | 29  | 5 | 25 | 6 |
| -45                     | 38                   | 4 | 36  | 4 | 32  | 5 | 29  | 5 | 26  | 6 | 20 | 7 |

\* Отдых по причине физической усталости вследствие возможного перегревания следует проводить в теплом помещении

Примечания:

1. а – продолжительность непрерывного пребывания на холоде, мин; б – число 10-минутных перерывов для обогрева за 4-часовой период рабочей смены.

2. Приведенные режимы работ предполагают наличие обеденного перерыва в отапливаемом помещении и прием «горячей» пищи.

**Вентиляция и очистка воздуха производственных помещений.** Правильно спроектированная и надлежащим образом эксплуатируемая вентиляционная система способствует созданию здоровых условий труда, уменьшению утомляемости работающих, повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции. В понятие «вентиляция» входят регулируемый воздухообмен и устройства, которые его создают. Задача вентиляции заключается в том, чтобы поддерживать в помещении или в рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах) состав и состояние воздуха, удовлетворяющего гигиеническим требованиям, а также требованиям, вытекающим из особенностей технологии производства.

Воздухообмен в помещениях, создаваемый вентиляцией, снижает концентрацию токсичных веществ до предельно допустимых, ассимилирует тепло, влагу и поддерживает в рабочей зоне чистый воздух заданных температур и влажности.

Вентиляция предусматривается во всех производственных и вспомогательных помещениях. Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого системами вентиляции в помещение, в котором возможно естественное проветривание, должно быть не менее  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного работающего при объеме помещения менее  $20 \text{ м}^3$  на человека и не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  при объеме помещения  $20 \text{ м}^3$  и более (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Минимальный расход наружного воздуха для помещений [10]

| Помещения<br>(участки,<br>зоны)     | Помещения                           |                 |   |                | Приточные<br>системы  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---|----------------|---|
|                                     | с естественным<br>проветриванием    |                 | без естественного<br>проветривания          |                |   |
|                                     | Расход воздуха                      |                 |   |                |   |
| на 1 чел.,<br>$\text{м}^3/\text{ч}$ | на 1 чел.,<br>$\text{м}^3/\text{ч}$ | обмен/ч         | %<br>общего воз-<br>духообмена,<br>не менее |                |   |
| 1                                   | 2                                   | 3               | 4   | 5              | 6   |
| Производ-<br>ственные               | 30*; 20**                           | 60              | 1   | –              | Без рециркуляции или с рециркуляцией при кратности 10 обменов/ч и более |
|                                     | –                                   | 60<br>90<br>120 | –   | 20<br>15<br>10 | С рециркуляцией при кратности менее 10 обменов/ч                        |

| 1                                      | 2   | 3            | 4 | 5 | 6 |
|--|---|--------------|---|---|---|
| Общественные и административно-бытовые | По требованиям СНиП                                     | 60;<br>20*** | – | – | – |
| Жилые                                  | 3 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> жилых помещений | –            | – | – | – |

Примечания: \* – при объеме помещения (участка, зоны) на 1 чел. менее 20 м<sup>3</sup>; \*\* – при объеме помещения (участка, зоны) на 1 чел. 20 м<sup>3</sup> и более; \*\*\* – для зрительных залов и др. помещений, в которых люди находятся до 3 ч непрерывно.

В помещениях, в которых невозможно естественное проветривание, минимальное количество наружного воздуха, подаваемого вентиляцией, увеличивается до 60–120 м<sup>3</sup>/ч в зависимости от кратности воздухообмена и рециркуляции воздуха. Различают помещения с естественным проветриванием и без естественного проветривания.

В помещениях с естественным проветриванием естественная вентиляция применяется двух видов: неорганизованная – *инфильтрация* и организованная – *аэрация*.

*Инфильтрация* осуществляется сменой воздуха через неплотности в ограждениях и элементах строительных конструкций; *аэрация* – сменой воздуха через открывающиеся фрамуги окон и фонарей (рис. 3.10).

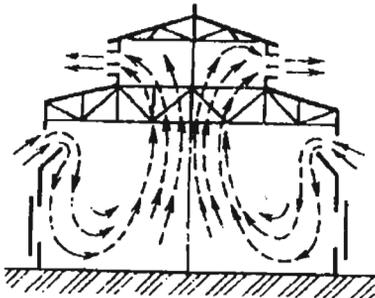


Рис. 3.10. Схема аэрации промышленного здания

*Помещение без естественного проветривания* – помещение без открываемых окон или проемов в наружных стенах или помещение с открываемыми окнами (проемами), расположенными на расстоянии, превышающем пятикратную высоту помещения.

По своему действию вентиляция может быть местной и общей.

*Местная вытяжная вентиляция* (местные отсосы) предназначена для улавливания загрязненного воздуха у источника его возникновения (рис. 3.11). С целью недопущения выброса в пространство помещения местные отсосы снабжаются устройствами газо- и пылеочистки.

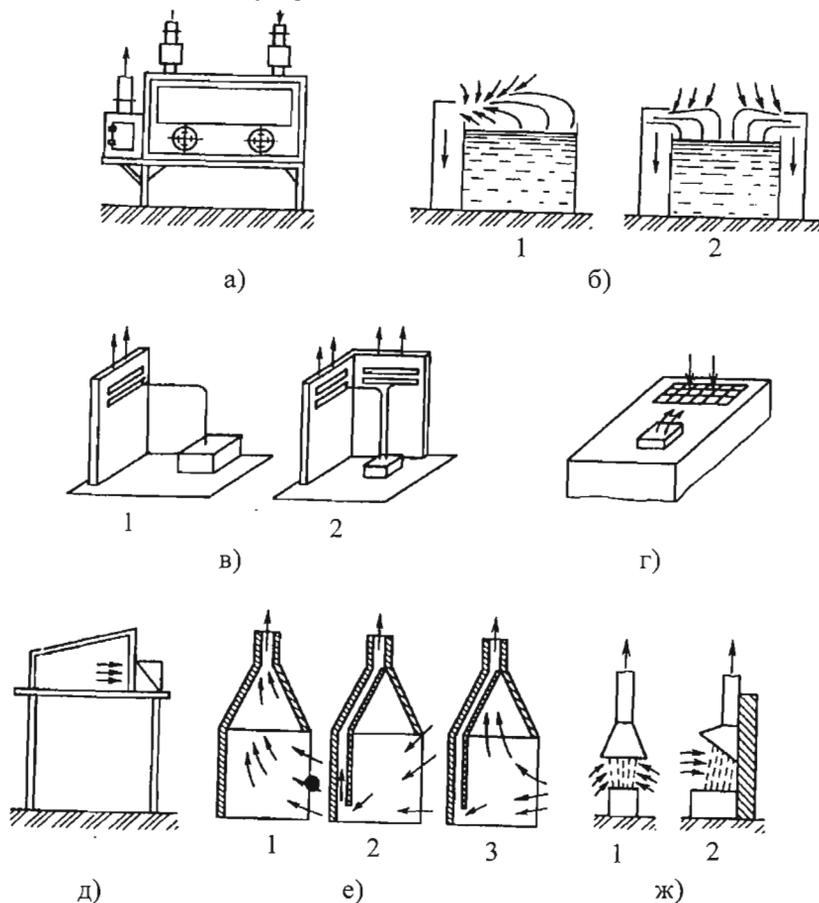


Рис. 3.11. Устройства местной вентиляции: а) укрытие (бокс); б) бортовые отсосы (1 – однобортовой; 2 – двубортовой); в) боковые отсосы (1 – односторонний; 2 – угловой); г) отсос от рабочих столов; д) отсос витражного типа; е) вытяжные шкафы (1 – с верхним отсосом; 2 – с нижним отсосом; 3 – с комбинированным отсосом); ж) вытяжные зонты (1 – прямой; 2 – наклонный)

Местные отсосы подразделяются на простые, когда улавливание ограничивается одним отсасыванием загрязненного воздуха, и с поддувом, когда направленной струей воздуха направляют вредности к месту, где они подхватываются отсосом, – передувки.

*Общая или общеобменная вентиляция* устраивается в тех случаях, когда невозможно или нецелесообразно применение местных отсосов. Она предполагает общий воздухообмен в помещении посредством удаления отработанного (или загрязненного) воздуха из помещения и замены его свежим. При этом метеорологические условия и чистоту воздуха в производственных помещениях следует обеспечивать в пределах расчетных параметров наружного воздуха, а также с учетом особенностей технологических процессов [8]. Так, в холодное время года воздух из помещения удаляется нагретый, а в помещение подается холодный. Поэтому для сохранения комфортной температуры в помещении приточный воздух необходимо подогревать. Например, в помещениях для отдыха рабочих горячих цехов с поверхностной плотностью теплового потока на рабочем месте  $140 \text{ Вт/м}^2$  и более следует принимать температуру воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  в холодный период года и  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  – в теплый.

Циркуляция воздуха в помещении при общеобменной вентиляции определяется организацией воздухообмена. Различают четыре основные схемы организации воздухообмена (рис. 3.12).

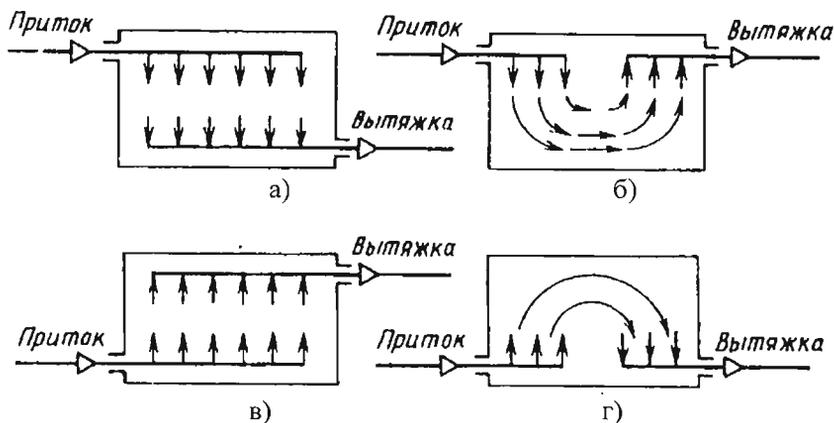


Рис. 3.12. Схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции: а) сверху – вниз; б) сверху – вверх; в) снизу – вверх; г) снизу – вниз

По способу подачи и удаления воздуха из помещения общеобменная вентиляция различается: приточная вентиляция (см. рис. 3.12, а); вытяжная

вентиляция (см. рис.3.12, б); приточно-вытяжная вентиляция с рециркуляцией (см. рис. 3.12, в).

**Рециркуляция воздуха** – подмешивание воздуха помещения к наружному воздуху и подача этой смеси в данное или другие помещения. Рециркуляцией не является перемешивание воздуха в пределах одного помещения, в том числе сопровождаемое нагреванием (охлаждением) отопительными агрегатами (приборами) или вентиляторами-веерами.

**Приточную систему** применяют для вентиляции помещений, в которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне (рис. 3.13, а).

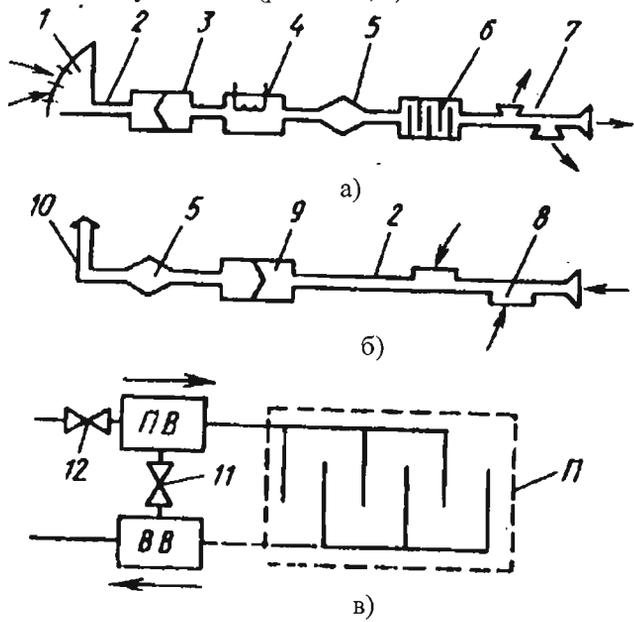


Рис. 3.13. Схемы общеобменной вентиляции: а) приточная вентиляция (1 – воздухозаборное устройство; 2 – воздуховод; 3 – фильтр; 4 – калорифер; 5 – побудитель движения; 6 – увлажнитель – осушитель; 7 – приточные отверстия или насадки); б) вытяжная вентиляция (8 – вытяжные отверстия или насадки; 5 – побудитель движения; 2 – воздуховод; 9 – фильтр; 10 – устройство для выброса воздуха); в) приточно-вытяжная вентиляция с рециркуляцией (11, 12 – клапаны; П – помещение; ПВ – приточная вентиляция; ВВ – вытяжная вентиляция)

*Вытяжную систему* (см. рис. 3.13, б) целесообразно применять в том случае если вредные выделения данного помещения не должны распространяться на соседние, например, для цехов химических и биологических лабораторий.

*Приточно-вытяжная вентиляция* – наиболее распространенная система, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной (см. рис. 3.13, в). При этом системы работают одновременно.

*Избытки явной теплоты* – разность тепловых потоков, поступающих в помещение и уходящих из него при расчетных параметрах наружного воздуха (после осуществления технологических и строительных мероприятий по уменьшению теплопоступлений от оборудования, трубопроводов и солнечной радиации).

При размещении воздухораспределителей в пределах обслуживаемой или рабочей зоны помещения скорость движения и температура воздуха не нормируются на расстоянии 1 м от воздухораспределителя.

**Кондиционирование воздуха** [8]. Для достижения в производственных помещениях постоянных температуры, влажности и чистоты воздуха независимо от атмосферных условий и времени года применяют установки кондиционирования воздуха (рис. 3.14).

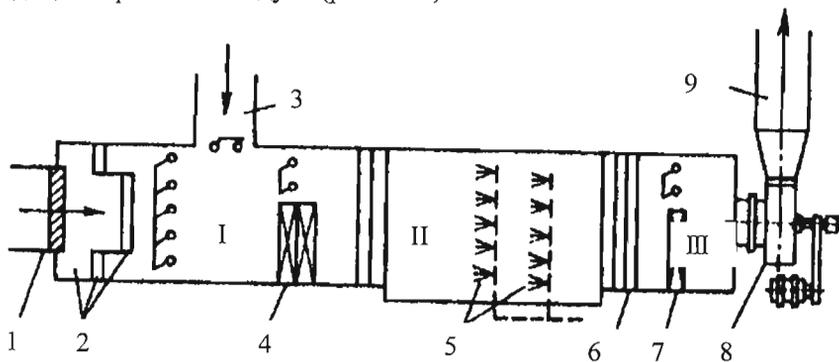


Рис. 3.14. Схема кондиционера: 1 – заборный воздуховод; 2 – фильтр; 3 – соединительный воздуховод; 4 – калориферы первой и второй ступеней подогрева; 5 – форсунки воздухоочистки; 6 – переходник-каплеуловитель; 7 – калориферы третьей ступени подогрева; 8 – вентилятор; 9 – отводной воздуховод

*Кондиционирование воздуха* – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее бла-

гоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса. Такие установки автоматически создают самостоятельный микроклимат. При кондиционировании воздух нагревают или охлаждают до нужной температуры, осушают или увлажняют, подвергают очистке от пыли, примесей паров и газов. Кондиционирование воздуха следует применять [10]:

- для обеспечения метеорологических условий, требуемых для технологического процесса, при экономическом обосновании или в соответствии с требованиями нормативных документов;
- для обеспечения метеорологических условий в пределах оптимальных норм или требуемых для технологических процессов;
- для обеспечения метеорологических условий в пределах допустимых норм, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха, или оптимальных норм – при экономическом обосновании.

**Отопление.** В холодный период года в производственных помещениях следует предусматривать отопление [10]. Отопительные приборы размещаются, как правило, под световыми проемами в местах, доступных для осмотра, ремонта и очистки. Длина отопительного прибора выбирается от назначения помещения. Например, в школах, больницах длина отопительного прибора должна быть, как правило, не менее 75 % длины светового проема.

По назначению отопление, помимо основного, может быть местным и дежурным.

Местное отопление предусматривается, например, в неотапливаемых помещениях для поддержания температуры воздуха, соответствующей технологическим требованиям в отдельных помещениях и зонах, а также на временных рабочих местах при наладке и ремонте оборудования.

Дежурное отопление предусматривается для поддержания температуры воздуха в помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются, и в нерабочее время, при этом температура воздуха принимается ниже нормируемой, но не ниже 5 °С, обеспечивая восстановление нормируемой температуры к началу использования помещения или к началу работы. Специальные системы дежурного отопления допускается проектировать при экономическом обосновании.

По конструктивному выполнению отопительные системы бывают: водяные; паровые; воздушные; электрические; газовые. Применение тех или иных отопительных систем определяется назначением производственного помещения. Отопительное оборудование применяется из разрешенных в строительстве материалов. В помещениях с агрессивной средой следует предусматривать антикоррозионные материалы или материалы с защитными покрытиями от коррозии. Если горячие поверхности отопительного оборудования, размещаемого в помещении, создают опасность воспламе-

нения газов, паров, аэрозолей или пыли, следует их изолировать, предусматривая температуру на поверхности теплоизоляционной конструкции не менее чем на 20 % ниже температуры самовоспламенения веществ.

### Контрольные вопросы к главе 3

1. С помощью каких вентиляционных устройств создаются оптимальные параметры микроклимата и допустимые параметры микроклимата?
2. Какие параметры микроклимата определяются для непостоянных рабочих мест?
3. Каков механизм функции терморегуляции в условиях охлаждающего микроклимата?
4. Каков механизм функции терморегуляции в условиях нагревающего микроклимата?
5. Почему человек легче переносит жару или холод при более сухом воздухе, чем при влажном?
6. Определите фактическую температуру окружающей среды (по рис. 3.3) при  $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $v = 15\text{ м/с}$ .
7. Почему повышение скорости перемещения воздуха при низкой температуре оказывает охлаждающее действие на организм человека?
8. Какое электромагнитное излучение называется тепловым? В чем разница между коротковолновым и длинноволновым излучениями?
9. В чем особенности нормирования параметров микроклимата?
10. Какие вещества называются вредными? Чем они характеризуются?
11. В чем особенности нормирования вредных веществ в производственных помещениях?
12. Какие средства используют для защиты органов дыхания?
13. Перечислить коллективные средства нормализации воздушной среды.
14. В чем заключается задача вентиляции?
15. В чем заключается принцип рециркуляции воздуха?
16. Преимущества системы кондиционирования воздуха.

### Библиографический список к главе 3

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
2. ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. №1 2000) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2006.
3. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.; Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора, Вып. 3 (21), сентябрь 2005.

4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. № 1, 2). Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

5. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны // Российская газета, № 119/1, 20.06.2003 (спец. выпуск), Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.13-03, издание официальное, Москва, 2003.

6. ГН 2.2.5.1314-03. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

7. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьякова и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – 8-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 616 с.

8. ГОСТ 12.4.034-2001 (ЕН 133-90) ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

9. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

10. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.

11. МР 2.2.7.2129-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. – М.: Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. Вып. 4 (26), декабрь 2006.

## Глава 4. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

### 4.1. Виды производственного освещения

Свет имеет важное значение для человека, поскольку обеспечивает зрительное восприятие человеком окружающей среды. Большую часть информации, которую люди получают через органы чувств, поставляет свет – примерно 80 %. Он позволяет оценить форму, цвет и перспективу предметов, окружающих человека в повседневной жизни. Качество зрительной информации во многом определяется условиями зрительной работы. Не следует забывать и то, что такие элементы самочувствия человека, как настроение, степень утомления, зависят от освещения и цвета окружающих предметов.

Назначение производственного освещения – обеспечение нормальных зрительных условий для выполнения соответствующего вида работ в производственном помещении. Неудовлетворительная организация системы производственного освещения может привести к появлению ошибок, допущенных при выполнении порученных операций работником, а также несчастных случаев, связанных с трудностями в распознавании тех или иных предметов или определения степени опасности, связанной с обслуживанием станков, транспортных средств, контейнеров с агрессивными веществами и т. д. [1].

Повреждения зрения, связанные с недостатками системы освещения, являются, к сожалению, частым явлением. Благодаря способности зрения приспособливаться к недостаточному освещению этой проблеме не уделяют необходимого внимания.

По типу источника света производственное освещение бывает трех видов (рис. 4.1):

- *естественное* – источником света является солнце (прямой или диффузно рассеянный свет небесного купола);
- *искусственное* – искусственные источники света;
- *совмещенное* – недостаточное естественное освещение дополняется искусственным.

**Естественное освещение** имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Солнечное излучение сильно влияет на кожу, внутренние органы и ткани и, прежде всего, на центральную нервную систему. Интересно, что это влияние не ограничивается временем, когда человек находится на солнце, а продолжается и после того, как он уходит в помещение или наступает ночь. Медики называют его рефлекторным.

Действие солнечного света начинается с влияния на кожный покров. Незащищенная одеждой кожа человека отражает от 20 до 40 % упавших на нее

видимых и ближайших к ним по длине волн невидимых инфракрасных лучей (20 % отражает кожа загорелого человека, а 40 % – самая незагорелая, белая кожа). Поглощенная часть (60–65 %) лучистой энергии проникает под внешний кожный покров и влияет на более глубокие слои тела.

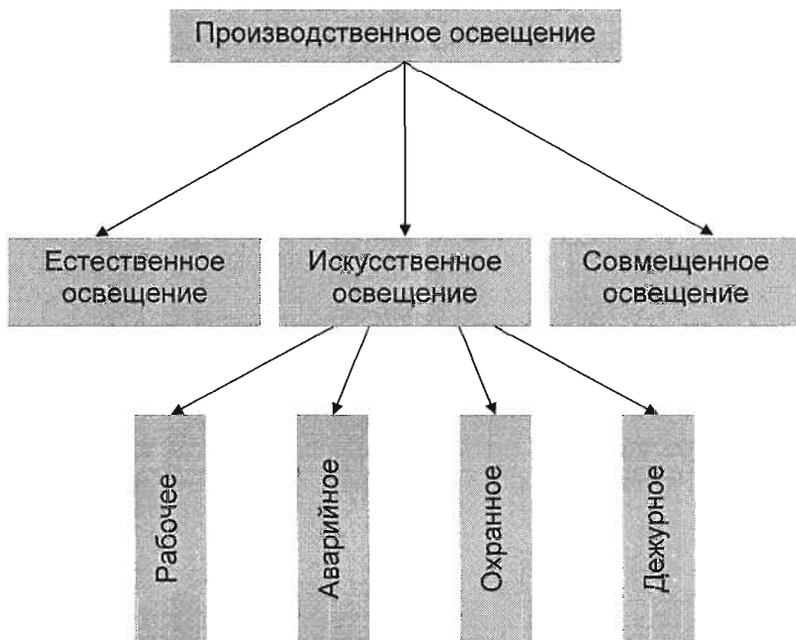


Рис. 4.1. Виды производственного освещения

Ультрафиолетовые и некоторые инфракрасные лучи отражаются кожей в меньшей степени и сильнее поглощаются роговым, более грубым слоем кожи.

У людей, длительное время работающих на Севере, в шахтах, метро или просто в городах в средней полосе России, у тех, которые в дневное время большей частью находятся в помещениях, а по улицам перемещаются на транспорте, развивается солнечное голодание. Дело в том, что обычные оконные стекла зданий в незначительной степени пропускают физиологически активные ультрафиолетовые лучи, а в городах их и без того мало доходит до поверхности земли в результате загрязнения воздуха пылью, дымом, выхлопными газами.

При солнечном голодании кожа становится бледной, холодной и вялой. Она плохо снабжается питательными веществами и кислородом. В ней слабее циркулируют кровь и лимфа, из нее плохо выводятся продукты распада – шлаки и начинается отравление организма отработанными веществ-

вами. Кроме того, капилляры делаются более ломкими, в связи с чем увеличивается склонность к кровоизлияниям.

У тех, кто испытывает солнечное голодание, происходят болезненные, неприятные метаморфозы, затрагивающие как сферу психики, так и физическое состояние. Прежде всего, появляются нарушения деятельности нервной системы: ухудшаются память и сон, усиливается возбудимость у одних и безучастность, заторможенность у других. С ухудшением кальциевого обмена (появлением затруднений при усвоении пищевого кальция и фосфора, которые продолжают выводиться из организма, а следовательно, наступает обеднение тканей этими необходимыми веществами) начинают усиленно разрушаться зубы, увеличивается ломкость костей. При длительном солнечном голодании снижаются умственные способности и работоспособность, очень быстро наступают утомление и раздражение, уменьшается подвижность, ухудшаются возможности борьбы с попадающими в организм микробами (снижается иммунитет). Человек, испытывающий солнечное голодание, чаще заболевает простудными и другими инфекционными заболеваниями, и болезнь носит затяжной характер. В этих случаях медленно и плохо заживают переломы, порезы и любые ранения. Появляется склонность к гнойничковым заболеваниям у тех, кто раньше этим не страдал, а также ухудшается течение хронических заболеваний у тех, кто их уже имеет, тяжелее протекают воспалительные процессы, что связано с повышением проницаемости стенок сосудов, усиливается склонность к отекам [1].

Учитывая степень благотворного влияния естественного света на организм человека, гигиена труда требует максимального использования естественного освещения. Оно не устраивается только там, где это противопоказано технологическими условиями производства, например, при хранении светочувствительных химикатов и изделий.

По конструктивному исполнению естественное освещение подразделяют на следующие:

- боковое, осуществляемое через оконные проемы одно- или двустороннее (рис. 4.2, а, б);
- верхнее, когда свет проникает в помещение через аэрационные или зенитные фонари, проемы в перекрытиях (рис. 4.2, в);
- комбинированное, когда к верхнему освещению добавляется боковое (рис. 4.2, г).

Наиболее эффективно комбинированное естественное освещение, обеспечивающее более равномерное распределение освещенности внутри производственного помещения.

К сожалению, при естественном освещении освещенность сильно изменяется в течение суток, длительность светового дня зависит от времени года, освещенность меняется при изменении погодных условий, возможно тенеобразование или ослепление при ярком свете.

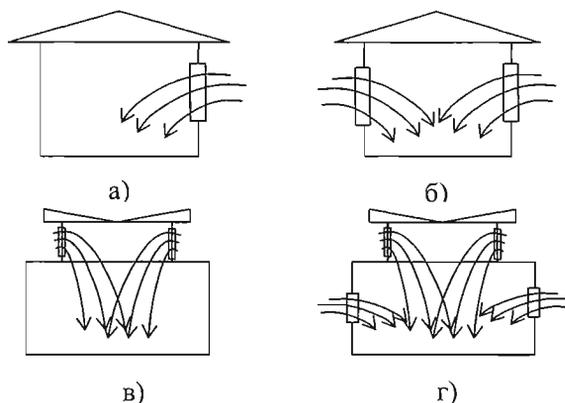


Рис. 4.2. Виды естественного освещения в зависимости от конструктивного исполнения

**Искусственное освещение** позволяет устранить перечисленные выше недостатки естественного освещения и обеспечить оптимальный световой режим.

Искусственное освещение подразделяется на следующие виды:

- рабочее;
- аварийное;
- охранное;
- дежурное.

*Рабочее освещение* является обязательным для всех помещений, зданий, а также участков открытых пространств. Оно служит для обеспечения нормальных условий работы, прохода людей, проезда транспорта.

*Аварийное освещение* разделяется, в свою очередь, на освещение безопасности и эвакуационное.

*Освещение безопасности* предусматривают в тех случаях, когда отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса;
- нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.;

- нарушение режима детских учреждений независимо от числа находящихся в них детей.

*Эвакуационное освещение* в помещениях или местах проведения работ вне зданий следует предусматривать:

- в местах опасных для прохода людей;
- в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей (если число эвакуируемых более 50 человек);
- по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек;
- на лестничных клетках жилых зданий высотой 6 этажей и более;
- в производственных помещениях без естественного света и т.п.

Источники света аварийного освещения могут включаться одновременно со светильниками основного освещения и постоянно гореть или включаться автоматически только при прекращении питания нормального освещения.

*Охранное освещение* (при отсутствии специальных технических средств охраны) предусматривается вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время.

*Дежурное освещение* предусматривается для освещения помещений в нерабочее время. При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению может быть двух видов:

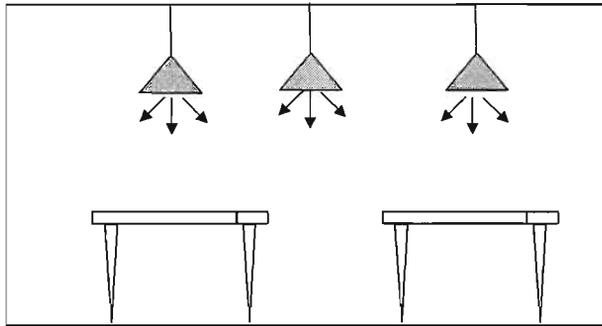
- общее;
- комбинированное.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения. Светильники могут быть расположены равномерно (общее равномерное освещение, рис. 4.4, а) или применительно к расположению оборудования или рабочих мест (общее локализованное освещение, рис. 4.4, б).

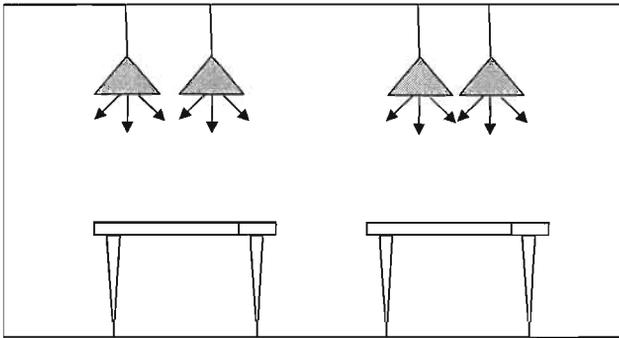
Комбинированное освещение – освещение, при котором к общему добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах (рис. 4.5). *Одно местное освещение применять нельзя!*

Существуют также специальные виды искусственного освещения, например, бактерицидное и эритемное. Эритемные лампы применяют для облучения людей с целью восполнения солнечной недостаточности в северных регионах и средней полосе (при отсутствии или недостатке естественного света на рабочем месте, например, шахты, метро и т.д.).

Бактерицидные лампы применяют для подавления жизнедеятельности патогенных микроорганизмов, в том числе и ответственных за распространение воздушно-капельным путем опасных инфекционных заболеваний, таких как туберкулез, дифтерия, корь, грипп, оспа и др., и используют в производственных помещениях, а также для обеззараживания питьевой воды, продуктов питания и т.п.



а)



б)

Рис. 4.4. Виды искусственного общего освещения:  
 а) общее равномерное освещение;  
 б) общее локализованное освещение

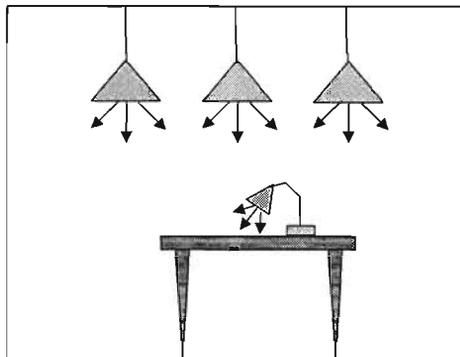


Рис. 4.5. Комбинированное искусственное освещение

Совмещенное освещение – освещение, при котором в светлое время суток одновременно используется естественный и искусственный свет. При этом недостаточное по условиям зрительной работы естественное освещение постоянно дополняется искусственным освещением.

Совмещенное освещение может применяться, например, для многоэтажных зданий большой ширины, одноэтажных многопролетных зданий с пролетами большой ширины и т. п.

### ***Условия зрительного комфорта на рабочем месте***

1. *Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполняемой работы.* Обычно, чем сложнее зрительная работа, тем выше должен быть средний уровень освещенности. Тем не менее, чрезмерно высокая освещенность рабочей зоны может утомлять глаза.

2. *Равномерное распределение освещенности на рабочих поверхностях и в пределах окружающего пространства.* Это условие связано с тем, что постоянное перемещение в неравномерно освещенных зонах приводит к утомлению органов зрения, кроме того, на адаптацию к резкому изменению освещенности глазу требуется некоторое время, в течение которого человек не может видеть окружающее пространство и своевременно реагировать на возможные опасные ситуации. По этой причине одно местное освещение не применяется.

3. *Отсутствие резких теней на рабочей поверхности.* Резкие тени создают неравномерное распределение освещенности в поле зрения, искажают форму предметов и их размеры. Особенную опасность представляют движущиеся тени, дезориентирующие человека в пространстве и способствующие возникновению травмоопасных ситуаций.

4. *В поле зрения должны отсутствовать прямая и отраженная блескости.* Прямая блескость появляется, если источник света находится непосредственно в поле зрения, отраженная, – если источник попадает в поле зрения, отражаясь в зеркальных и полированных поверхностях. Появление прямой или отраженной блескости в поле зрения может привести к временному ослеплению работника.

5. *Величина освещенности должна быть постоянной во времени.* Пульсация освещенности оказывает неблагоприятное влияние, как на органы зрения, так и на центральную нервную систему человека, кроме того, в ряде случаев может привести к очень опасному явлению: стробоскопическому эффекту (вращающиеся предметы могут казаться неподвижными либо вращающимися в обратную сторону). Пульсация освещенности чаще всего возникает при использовании в качестве источников света газоразрядных ламп, которые в сети переменного тока (50 Гц) загораются и гаснут 100 раз в секунду (при переходе тока через ноль).

6. *Направленность светового потока на рабочую поверхность должна быть оптимальной*, чтобы обеспечить рассмотрение внутренних поверхностей изделий, оценить рельефность поверхностей и т. п.

7. *Следует выбирать необходимый спектральный состав света* либо для обеспечения правильной цветопередачи, либо для усиления цветовых контрастов.

8. *Осветительная установка должна быть безвредной и безопасной в процессе эксплуатации*. Выбор типа осветительной установки должен определяться условиями эксплуатации. Так, например, для эксплуатации в условиях повышенной влажности должны использоваться светильники соответствующего влагозащищенного исполнения и т. д. Установки бактерицидного освещения могут представлять опасность для людей, и при их эксплуатации и установке необходимо соблюдать меры предосторожности.

## 4.2. Нормирование параметров производственного освещения

Нормативными документами являются строительные нормы и правила СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» [2] и санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [3].

### *Нормирование параметров естественного освещения*

Непостоянство естественного освещения во времени, его зависимость от погодных условий вызвали необходимость введения отвлеченной единицы измерения естественной освещенности, поэтому нормируемым параметром естественного освещения является *коэффициент естественной освещенности (КЕО)*.

**КЕО (e)** – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода и выражается в процентах

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100\%,$$

где  $E_{\text{вн}}$  – значение естественной освещенности внутри помещения, лк;  
 $E_{\text{нар}}$  – значение естественной освещенности вне помещения, лк.

---

\* В СНиП 23-05-95 внесено изменение № 1, утвержденное постановлением Госстроя России от 29 мая 2003 г. № 44.

При нормировании КЕО учитывается степень обеспеченности естественным светом, зависящая от географического положения объекта. Для этого вводится специальный поправочный коэффициент  $m_N$ . Тогда значения КЕО  $e_N$  следует определять по формуле

$$e_N = e_H \cdot m_N,$$

где  $N$  – номер группы обеспеченности естественным светом по табл. 4.1;  $e_H$  – нормативное значение КЕО;  $m_N$  – коэффициент светового климата по табл. 4.2.

Расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели и других затемняющих предметов.

Таблица 4.1

Группы административных районов  
по ресурсам светового климата

| Номер группы | Административный район   |
|--------------|--|
| 1            | Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области, Мордовия, Чувашия, Удмуртия, Башкортостан, Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с.ш.), Чукотский нац. округ, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.).   |
| 2            | Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Северо-Осетинская Республика, Чеченская Республика, Ингушская Республика, Ханты-Мансийский нац. округ, Алтайский край, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63° с.ш.), Республика Тува, Бурятская Республика, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская обл. |
| 3            | Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Карельская Республика, Ямало-Ненецкий нац. округ, Ненецкий нац. округ   |
| 4            | Архангельская, Мурманская области  |
| 5            | Калмыцкая Республика, Ростовская, Астраханская области, Ставропольский край, Дагестанская Республика, Амурская область, Приморский край  |

Значения коэффициента светового климата

| Световые проемы                          | Ориентация световых проемов по сторонам горизонта | Коэффициент светового климата $m_N$   |      |     |     |      |
|--|---|---------------------------------------|------|-----|-----|------|
|  |   | Номер группы административных районов |      |     |     |      |
|  |   | 1                                     | 2    | 3   | 4   | 5    |
| В наружных стенах зданий                 | С   | 1                                     | 0,9  | 1,1 | 1,2 | 0,8  |
|  | СВ, СЗ  | 1                                     | 0,9  | 1,1 | 1,2 | 0,8  |
|  | З, В  | 1                                     | 0,9  | 1,1 | 1,1 | 0,8  |
|  | ЮВ, ЮЗ  | 1                                     | 0,85 | 1   | 1,1 | 0,8  |
|  | Ю   | 1                                     | 0,85 | 1   | 1,1 | 0,75 |
| В прямоугольных и трапециевидных фонарях | С-Ю   | 1                                     | 0,9  | 1,1 | 1,2 | 0,75 |
|  | СВ-ЮЗ<br>ЮВ-СЗ                                    | 1                                     | 0,9  | 1,2 | 1,2 | 0,7  |
|  | В-З   | 1                                     | 0,9  | 1,1 | 1,2 | 0,7  |
| В фонарях типа «Шед»                     | С   | 1                                     | 0,9  | 1,2 | 1,2 | 0,7  |
| В зенитных фонарях                       | –   | 1                                     | 0,9  | 1,2 | 1,2 | 0,75 |

Примечания: С – северное; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг; В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.

### *Нормирование параметров искусственного освещения*

Согласно СНиП 23-05-95\* нормируемыми параметрами искусственного освещения являются:

- освещенность рабочей поверхности  $E$ , лк;
- показатель ослепленности  $P$ , оценивается в относительных единицах;
- коэффициент пульсации освещенности  $K_p$ , %.

**Освещенность рабочей поверхности** – плотность светового потока на освещаемой им поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S} \left[ \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2} \right] = [1 \text{ люкс, лк}],$$

где  $\Phi$  – плотность светового потока, люмен, лм;  $S$  – площадь поверхности, освещаемой световым потоком,  $\text{м}^2$ .

В качестве нормативной величины освещенности задается ее минимальное значение, при котором выполнение определенной работы не вредит зрению работника.  $E_{\min}$  задается для наиболее темного участка рабочей поверхности. Она устанавливается по характеристике зрительной работы, которая определяется зрительным напряжением при выполнении данной работы.

Всего выделяют 8 разрядов зрительных работ. Первые шесть разрядов (от работ очень высокой точности до грубых зрительных работ) классифицируются в зависимости от наименьшего размера объекта различения (толщина метки на шкале прибора, самая тонкая линия чертежа, трещина в изделии и т.п.), контраста объекта различения с фоном (малый, средний, большой) и характеристики фона (светлый, средний и темный). VII разряд устанавливает требования для работ со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах, VIII – для общего наблюдения за ходом работ.

**Показатель ослепленности** – критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяемый выражением

$$P = (S - 1) \cdot 1000,$$

где  $S$  – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. В производственных помещениях показатель ослепленности не должен превышать 20...40 единиц в зависимости от разряда зрительной работы.

При освещении производственных помещений газоразрядными лампами, питаемыми переменным током промышленной частоты (50 Гц), ограничивается глубина пульсации освещенности.

**Коэффициент пульсации освещенности** – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током, выражающийся формулой

$$K_p = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100\%,$$

где  $E_{\max}$  и  $E_{\min}$  – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;  $E_{\text{ср}}$  – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Величина коэффициента пульсации в зависимости от системы освещения и характера выполняемой работы не должна превышать 10...20 % (при работах, связанных с наблюдением за видеотерминалами ЭВМ,  $K_p$  – не более 5 %).

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 содержит требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий в зависимости от назначения помещения. Нормируемые показатели освещения некоторых помещений общественных зданий представлены в табл. 4.3.

Согласно этому документу дополнительным параметром искусственного освещения для помещений общественных зданий является **показатель дискомфорта М** – критерий оценки дискомфорта, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения; оценивается в относительных единицах.

Показатель дискомфорта определяется формулой

$$M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{\varphi_\theta L_{ад}^{0,5}},$$

где  $L_c$  – яркость блеского источника, кд/м<sup>2</sup>;  $\omega$  – угловой размер блеского источника, стер;  $\varphi_\theta$  – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения;  $L_{ад}$  – яркость адаптации, кд/м<sup>2</sup>.

При проектировании осветительных установок показатель дискомфорта рассчитывается инженерным методом, при этом необходимо знать следующие характеристики светильников:

- световой поток в нижней полусфере;
- полный световой поток;
- КПД светильника;
- площадь выходного отверстия светильника.

В зависимости от назначения помещения показатель дискомфорта в расчетной точке, расположенной на центральной оси стены помещения, перпендикулярной линии светильников, на высоте 1,5 м от пола не должен превышать 15...90 единиц. Показатель дискомфорта не регламентируется для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом.

Таблица 4.3

Нормируемые показатели естественного, искусственного и смешанного освещения некоторых помещений общественного здания, а также сопутствующих им производственных помещений

| Помещения | Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО, % и освещенности (Г – горизонтальная, М – вертикальная) | Естественное освещение КЕО <sub>ед</sub> , % |                       | Совмещенное освещение КЕО <sub>см</sub> , % |                       | Искусственное освещение       |                     |           |                                     | Коэффициент пульсации освещенности, К <sub>п</sub> , %, не более |   |
|-----------|---|--|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------------|--|---|
|           |   | при верхнем или комбинированном освещении    | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении   | при боковом освещении | Освещенность, лк              |                     |           | Показатель дискомфорта, М, не более |  |   |
|           |   |  |                       |   |                       | при комбинированном освещении | при общем освещении | от общего |                                     |  |   |
| Помещения | Г – 0,8   | 3,0  | 1,0                   | 1,8   | 0,6                   | 400                           | 200                 | 300       | 40                                  | 15   |   |
|           | Г – 0,8   | 4,0  | 1,5                   | 2,4   | 0,9                   | 600                           | 400                 | 500       | 40                                  | 10   |   |
|           | Г – 0,8   | –  | –                     | 3,0   | 1,2                   | 750                           | 200                 | 300       | 40                                  | 15   |   |
|           | Г – 0,8   | –  | –                     | –   | –                     | –                             | –                   | 300       | 40                                  | 15   |   |
|           | Г – 0,0   | –  | –                     | –   | –                     | –                             | –                   | –         | 150                                 | –  | – |
|           | Г – 0,8   | 3,5  | 1,2                   | 2,1   | 0,7                   | 500                           | 300                 | 400       | 40                                  | 10   |   |

#### Административные здания

(министерства, ведомства, управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и т. п.)

1. Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства
2. Проектные залы, конструкторские, чертежные бюро
3. Макетные, столярные, ремонтные мастерские
4. Помещения для ксерокопирования
5. Кулуары (фойе)
6. Лаборатории научно-технические (кроме медицинских учреждений)

### 4.3. Источники искусственного освещения

*Источником искусственного света* называется устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение.

В настоящее время светотехническая промышленность выпускает широчайший ассортимент источников света отличающихся по своим характеристикам, которые делятся на две большие группы:

- лампы накаливания;
- газоразрядные лампы.

Принцип действия *ламп накаливания* основан на способности раскаленной нити из тугоплавкого металла (вольфрама) в инертном газе или вакууме излучать видимый свет. Инертный газ препятствует испарению вольфрама и уменьшает потемнение колбы. Лампы имеют различные формы колбы, играющие чаще всего декоративную роль. Лампы накаливания бывают прозрачными, матовыми и имеют также широкую цветовую гамму (белые, красные, синие, зеленые, желтые колбы). Они выпускаются в широком диапазоне мощностей (от 15 до 1500 Вт).

Лампы накаливания, изобретенные в 1872 г. А.Н. Лодыгиным и усовершенствованные в 1879 г. Т.А. Эдисоном, до сих пор являются наиболее широко распространенными источниками света. Они обладают рядом достоинств: их можно непосредственно включать в сеть с напряжением, равным рабочему напряжению лампы, они просты в изготовлении, дешевы, компактны, практически не зависят от условий окружающей среды, имеют незначительный период разгорания, световой поток к концу срока службы снижается незначительно. В лампах накаливания уменьшение силы света обеспечивается простым уменьшением напряжения. Вольфрамовая нить (рис. 4.7) представляет собой компактный источник света, который легко фокусируется рефлекторами и линзами. Все это облегчает использование ламп накаливания там, где требуется управление световым потоком (освещение сцены, витрин, конференц-залов и т. д.).

Однако эти лампы имеют ряд существенных недостатков:

- низкую экономичность (КПД 3...5 %);
- низкую световую отдачу (7...20 лм/Вт);
- однородный спектральный состав света (преобладание желтой и красной частей спектра при недостатке синей и фиолетовой по сравнению с естественным светом);
- нерациональное распределение светового потока для большинства ламп, что требует применения осветительной арматуры (светильников);
- малый срок службы (от 1 000 до 3 000 ч).

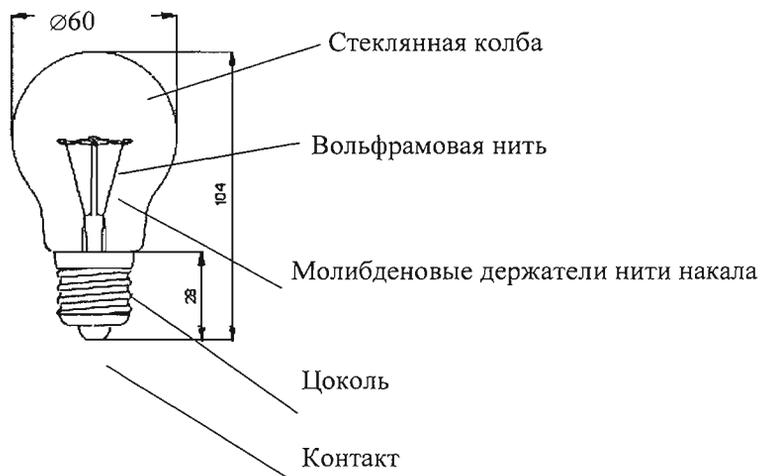
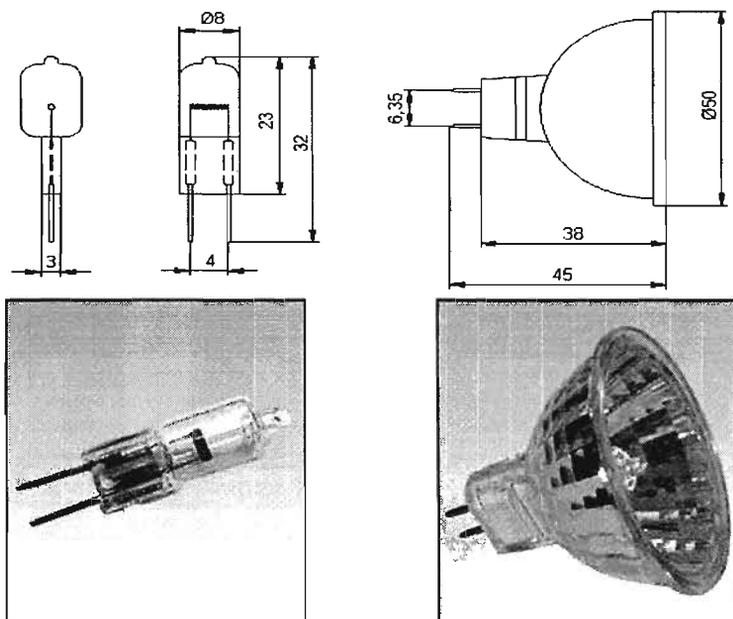


Рис. 4.7. Устройство лампы накаливания

*Галогенные лампы накаливания* (рис. 4.8). Принцип действия такой же, как и у обычных ламп накаливания (свечение вольфрамовой нити), но в колбе находится галогенный газ (бром или йод), контролирующий испарение вольфрама. Колба галогенной лампы изготавливается, как правило, из кварцевого стекла, так как требуется поддержание минимальной температуры стенки колбы лампы на уровне  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это необходимо для того, чтобы галоид вольфрама оставался в газообразном состоянии и не осаждался на стенках лампы. У большинства галогенных ламп срок службы выше, чем у аналогичных ламп накаливания, нить работает при более высокой температуре, излучая более белый цвет. Эти лампы используются там, где требуются малый размер источника света, высокая направленность светового потока и возможность управлять интенсивностью светового потока.

Галогенные лампы могут питаться напряжением 220 и 12 В (рис. 4.8). Низковольтные галогенные лампы изначально предназначались для диаскопов и кинопроекторных аппаратов. При напряжении 12 В нить той же мощности, что и при 220 В становится меньше и толще. Большая масса нити позволяет выдерживать более высокую рабочую температуру и обеспечивает большую световую отдачу, больший срок службы. Поскольку высокая температура источника света вредна для пленки в кинопроекторных аппаратах и диапроекторах, разработан специальный тип рефлектора, который отражает только видимое излучение, позволяя инфракрасному излучению (теплу) уходить через заднюю часть лампы.



а)

б)

Рис. 4.8. Галогенные лампы:

а – напряжение питания 220 В; б – напряжение питания 12 В

В **газоразрядных источниках света** излучение оптического диапазона возникает в результате газового разряда в атмосфере инертных газов, паров металлов и их смесей [5].

По сравнению с лампами накаливания газоразрядные лампы имеют ряд преимуществ:

- у них более высокая световая отдача (до 40 лм/Вт) и более высокий КПД (до 7 %);
- большой срок службы (10–12 тыс. ч), а у ламп высокого давления до 15 тыс. ч;
- относительно низкая яркость самого источника света, что не вызывает ослепления;
- спектр излучения может регулироваться за счет использования различных люминофоров и может быть приближен к спектру естественного света.

Несмотря на ряд очевидных преимуществ газоразрядные источники света не свободны и от некоторых недостатков:

- газоразрядные источники света не могут непосредственно присоединяться к электрической сети, в схему их подключения обязательно входит пускорегулирующий аппарат (ПРА);

- ПРА имеет в своем составе балластное сопротивление в виде дросселя и является источником шума;
- для зажигания газоразрядной лампы требуется некоторое время (от 5 с до 3...10 мин);
- световой поток лампы к концу срока службы существенно снижается и пульсирует;
- для некоторых видов газоразрядных ламп (люминесцентных) существуют ограничения по температуре окружающей среды (при температурах, близких к 0 °С, они зажигаются ненадежно);
- поскольку в газоразрядных лампах содержится ртуть (вещество 1-го класса опасности), то после окончания срока службы необходима их специальная утилизация (переработка или захоронение);
- газоразрядные лампы в сети переменного тока загораются и гаснут 100 раз в секунду. Если не принять специальных мер, то это может, во-первых, вызывать дополнительное зрительное утомление и, во-вторых, привести к очень опасному явлению – стробоскопическому эффекту (вращающиеся предметы могут казаться неподвижными либо вращающимися в обратную сторону). Для устранения этого явления приходится применять специальные схемы включения ламп и принимать меры, предотвращающие стробоскопический эффект.

Способы уменьшения пульсации освещённости на рабочей поверхности следующие.

1. И спользование трехфазной схемы включения ламп (рис. 4.9).

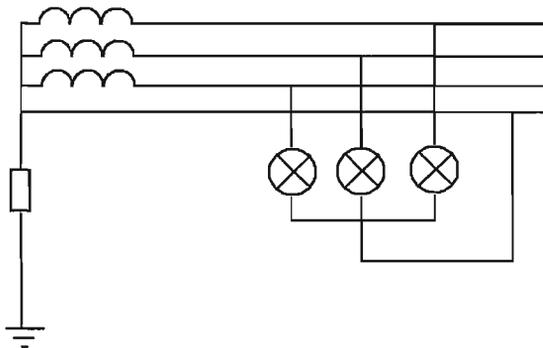


Рис. 4.9. Трехфазная схема включения газоразрядных ламп

Световые потоки ламп, питаемых разными фазами, суммируются в каждый момент времени в отдельных точках пространства, что снижает пульсации общего светового потока. При таком подключении необходимо стремиться к тому, чтобы освещённость в каждой точке создавалась не менее чем от двух-трех ламп.

2. В однофазной сети при использовании двухлампового светильника уменьшение пульсации достигается включением в цепь одной лампы только дросселя, а в цепь другой – дросселя и конденсатора. Параметры дросселей и конденсатора подбираются таким образом, чтобы обеспечить сдвиг токов в цепях ламп относительно друг друга на  $120^\circ$  (рис. 4.10).

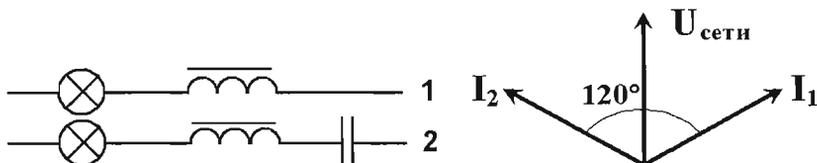


Рис. 4.10. Двухламповая схема включения газоразрядных ламп

Суммарный световой поток двух ламп в этом случае никогда не будет равен нулю, а колеблется вокруг некоторого среднего уровня с частотой меньшей, чем при одиночной лампе.

При сравнительно небольшом количестве ламп в осветительной установке этим методам свойственны также следующие недостатки: усложнение проектирования и монтажа осветительных установок, недостаточно высокая надёжность, так как выход из строя части ламп может увеличивать пульсацию освещённости на отдельных участках рабочей поверхности. Если в многоламповых осветительных установках удаётся достаточно успешно нейтрализовать пульсацию освещённости, то в случае использования однолампового источника света эта проблема остаётся, как правило, нерешённой. Например, для местного освещения желателен одноламповый источник света как наиболее надёжный, экономичный и компактный.

Практика эксплуатации осветительных установок на основе газоразрядных ламп показала, что методы снижения пульсации освещённости на рабочей поверхности при помощи расфазировки светильников или применения схемы с отстающим и опережающим током не обеспечивают допустимых значений коэффициента пульсации для точных работ и при эксплуатации ПЭВМ.

Практически всегда часть ламп в таких осветительных системах горит нестабильно или неисправна, что приводит к значительному увеличению  $K_p$  в большинстве точек рабочей зоны.

3. Увеличение частоты питающего напряжения. Этот способ является наиболее эффективным, поскольку предусматривает снижение пульсации светового потока источника света. При частоте питания более 400 Гц исчезает пульсация, так как в колбе лампы возникает постоянный объемный заряд, который не исчезает при переходе тока через ноль и обеспечивает постоянство светового потока.

В настоящее время вместо традиционных ПРА, имеющих в своем составе балластное сопротивление в виде дросселя, целесообразно использовать высокочастотные «электронные» ПРА (ЭПРА), которые обеспечивают полное отсутствие пульсации светового потока. Кроме того, применение ЭПРА позволяет увеличить световую отдачу и срок службы газоразрядных ламп на 10–15 %. Газоразрядные лампы бывают двух основных типов: лампы низкого давления (люминесцентные) и лампы высокого давления.

*Люминесцентная лампа* представляет собой запаянную с двух сторон стеклянную трубку, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой люминофора – вещества, светящегося под действием ультрафиолетовых лучей. В торцы трубки впаяны два электрода. Воздух из трубки удален, и вместо него введены небольшое количество аргона и капля ртути, которая при работе лампы превращается в пар (аргон облегчает создание электрического разряда). Приложенное к электродам лампы переменное напряжение вызывает электрический разряд между электродами люминесцентной лампы и прохождение тока в парах ртути и аргона, наполняющих трубку. Электрод, с которого происходят выделение потока электронов, называется катодом.

Эмиссия (испускание) электронов в люминесцентной лампе происходит при нагреве катода до достаточно высокой температуры и поэтому называется термоэлектронной. Величина термоэлектронной эмиссии зависит от температуры, материала и формы поверхности катода. Катод изготавливается из вольфрамовой нити, свернутой в небольшую спираль. Спираль покрыта углекислыми солями бария и стронция, превращающимися в процессе обработки в так называемый оксид. Оксидная пленка, покрывающая электрод, увеличивает способность излучения электронов и облегчает зажигание лампы при более низком напряжении.

Промышленностью выпускаются люминесцентные лампы общего назначения мощностью 4, 6, 8, 10, 13, 15, 20, 30, 40, 65, 80, 125, 150 и 200 Вт. Лампы мощностью от 15 до 80 Вт выпускаются серийно в соответствии с ГОСТ 6825-74. Остальные лампы изготавливаются небольшими партиями по соответствующим техническим условиям.

По цветности излучаемого светового потока выпускаются лампы пяти основных типов: лампы дневного света – ЛД; белого света – ЛБ; холодного белого света – ЛХБ; тепло-белого света – ЛТБ; дневного света с улучшенной цветопередачей – ЛДЦ, а также ЛХБЦ и ЛТБЦ, из которых последние преимущественно предназначены для жилых помещений. Кроме вышеуказанных, выпускаются цветные лампы (красные, розовые, желтые, зеленые и голубые), которые применяются для декоративного и театрального освещения. По форме трубки-колбы имеется несколько разновидностей ламп: прямолинейные, П-образные, кольцевые, U-образные и др. Наибольшее распространение получили прямолинейные лампы.

Одной из разновидностей люминесцентных ламп общего назначения являются рефлекторные лампы. В обозначении маркировки ламп вводится буква Р. В этих лампах до слоя люминофора на большую часть внутренней поверхности трубки наносится слой хорошо отражающего свет порошка. Не покрытой таким порошком остается только полоса вдоль трубки. Световой поток лампы направляется отражающим слоем через эту полосу. Основным преимуществом рефлекторных ламп является то, что они могут использоваться в светильниках без отражателей, так как отражающий слой играет роль отражателя. Особенно выгодно применение рефлекторных ламп в помещениях с высоким уровнем пыли, так как пыль оседает главным образом на верхней поверхности лампы, а свет проходит вниз через свободную от пыли поверхность.

*Компактные люминесцентные лампы* (КЛЛ) (рис. 4.11). По принципу своего действия практически не отличаются от обычных люминесцентных (электрический разряд генерирует ультрафиолет, который, в свою очередь, заставляет светиться люминофор), поэтому световая отдача и срок службы КЛЛ имеют те же преимущества перед лампами накаливания, что и у люминесцентных ламп.

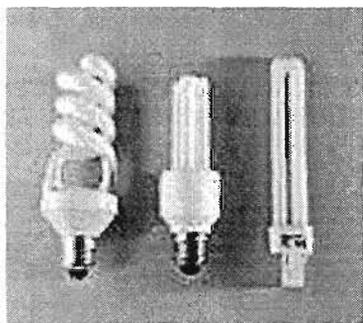


Рис. 4.11. Компактные люминесцентные лампы

КЛЛ или как их иногда называют «энергосберегающие» лампы явились результатом усовершенствования всех технико-экономических характеристик газоразрядных ламп, что привело к устранению типичных недостатков ламп накаливания и люминесцентных ламп при одновременном сохранении и развитии их достоинств.

Прежде всего, специалистам удалось уменьшить размеры ламп. Новые технологические возможности позволили уменьшить диаметр трубки до 7 мм, и, изогнув её дважды или трижды, получить компактную конструкцию (см. рис. 4.11). Уменьшение габаритов позволило сократить применение ртути более чем в 10 раз (до 2–3 мг), а в амальгамных КЛЛ ртути в чистом виде нет вообще, она находится в связанном состоянии.

Пожаро- и взрывобезопасность, а также защита от поражения потребителя электрическим током возросли на порядок, кроме того, качественные КЛЛ, как правило, имеют защиту при повреждении излучающего блока, травмобезопасные неизвлекаемые цоколи и ряд других усовершенствований.

Уменьшение габаритов КЛЛ позволило применять их как в отдельной осветительной установке, так и для прямой замены ламп накаливания в светильниках со стандартными патронами, рассчитанными на использование резьбового цоколя.

подавляющее большинство КЛЛ оснащены ЭПРА, которые значительно энергоэкономичней, чем традиционные электромагнитные ПРА, так как потери мощности в балласте не происходит, и, кроме того, гарантируют практически мгновенное включение лампы.

*Специальные люминесцентные лампы.* Кроме описанных выше осветительных люминесцентных ламп, выпускаются бактерицидные и эритемные лампы.

*Бактерицидные лампы* являются источником коротковолнового ультрафиолетового излучения, уничтожающего бактерии, обеззараживающего (стерилизующего) воздух помещений, воду, пищевые продукты, тару на пищевых предприятиях и пр.

В отличие от осветительных люминесцентных ламп, у которых стекло трубки и люминофор не пропускают ультрафиолетовые лучи, в бактерицидных лампах трубки изготавливаются из специального увиолевого стекла, хорошо пропускающего ультрафиолетовое излучение с короткой волной. Бактерицидные лампы не покрываются люминофором. Промышленностью выпускаются бактерицидные лампы типа ДБ15, ДБ30-1 и ДБ60 (дуговые бактерицидные) мощностью соответственно 15, 30 и 60 Вт, напряжение на лампах 55, 100 и 103 В и средняя продолжительность горения 2000, 3000 и 5000 ч.

*Эритемные лампы* являются источником ультрафиолетового излучения и используются для компенсации ультрафиолетовой недостаточности. Отличительными особенностями эритемных ламп являются сорт стекла и состав люминофора. Для эритемных ламп применяется увиолевое стекло, хорошо пропускающее ультрафиолетовое излучение, но с более длинной волной, чем в бактерицидных лампах, и со специально подобранным люминофором. Такой люминофор преобразует излучение ртутного разряда в ультрафиолетовое излучение с соответствующим диапазоном длин волн, что соответствует недостающему осенью и зимой ультрафиолетовому излучению Солнца. Своё название эти лампы получили по тому действию, которое они оказывают на кожу человека: вызывают её покраснение, загар-эритему. Такие лампы применяют в установках для искусственного ультрафиолетового облучения людей и животных с оздоровительной целью.

Промышленно выпускаются эритемные лампы типа ЛЭ15, ЛЭ30-1 и ЛЭР40 мощностью соответственно 15, 30 и 40 Вт; напряжение на лампах 58, 108 и 103 В; средняя продолжительность горения 600, 2000 и 1500 ч. Лампа типа ЛЭР имеет на внутренней поверхности рефлекторный слой, покрывающий примерно  $2/3$  поперечного сечения трубки и позволяющий сконцентрировать излучение лампы в определенном направлении. Свечение эритемных ламп синевато-голубое.

*Дуговые ртутные лампы высокого давления (ДРЛ).* В отличие от люминесцентных ламп, где давление паров ртути составляет доли миллиметров ртутного столба, в ртутных лампах ДРЛ используется газовый разряд в парах ртути при давлениях, намного превышающих атмосферное (рис. 4.12). Такие лампы представляют собой толстостенную кварцевую трубку (горелку) с двумя или более электродами, вмонтированную во внешнюю колбу из термостойкого стекла, стенки которой изнутри покрыты люминофором. Внутри горелки находятся дозированная капля ртути и газ аргон; в торцы ее впаяны вольфрамовые электроды. Аргон облегчает зажигание разряда в холодной трубке, и после зажигания разряда начинается процесс испарения ртути, которая переходит в парообразное состояние.

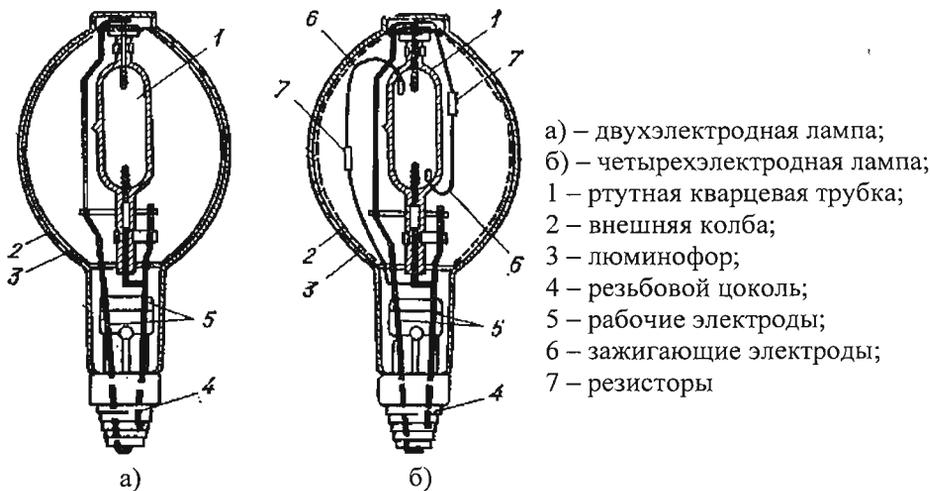


Рис. 4.12. Дуговая ртутная люминесцентная лампа типа ДРЛ с исправленной цветностью

При установлении дугового разряда между рабочими электродами плотность и температура паров ртути по диаметру трубки будут неодинаковыми: по оси трубки температура будет максимальной. Благодаря этому плотность тока в центре трубки максимальна, и разряд имеет вид светящегося шнура, расположенного по оси трубки.

С повышением давления паров ртути меняется характер спектра, излучаемого газовым разрядом. Чем выше давление, тем больше яркость сплошного фона. В связи с изменением спектра излучения меняется цветность света, создаваемого ртутной лампой от сине-зеленой при низких давлениях до белой при высоких давлениях. Применение ламп ДРЛ для освещения оказалось возможным в результате получения температуростойких люминофоров, при помощи которых удалось исправить цветность излучения ртутного разряда. Дело в том, что цветность излучения разряда в парах ртути, дающего интенсивный свет синеватого оттенка, делает невозможным правильное восприятие цветовых оттенков: лица людей становятся мертвенно-бледными, губы – синевато-серыми, краски окружающих предметов искажаются. Поэтому ртутные лампы без люминофора считают практически малопригодными для освещения даже в тех случаях, когда к цветопередаче не предъявляются высокие требования, например, при освещении улиц. От этого недостатка удалось избавиться при помощи люминофора, который наносится на внутреннюю поверхность внешней колбы лампы ДРЛ. Колба эта имеет форму, обеспечивающую при работе лампы одинаковую температуру всей поверхности, покрытой люминофором. Люминофор хорошо поглощает невидимое ультрафиолетовое излучение, проходящее через кварцевые стенки трубки, и преобразует его в оранжево-красное видимое излучение, исправляя тем самым цветность излучения лампы. При этом видимое излучение ртутного разряда люминофор почти не поглощает.

Лампы типа ДРЛ выпускаются мощностью 80–1000 Вт, имеют довольно высокую световую отдачу (от 40 до 50 лм/Вт, в зависимости от их мощности), срок службы составляет до 7500 часов. Ртутные лампы высокого давления имеют значительное преимущество по сравнению с лампами накаливания и люминесцентными лампами из-за способности сосредоточить значительную световую мощность в небольшом объеме. Лампы ДРЛ требуют последовательного с ними включения ПРА.

Параметры окружающей среды не оказывают значительного влияния на работу ламп ДРЛ, что позволяет использовать их для уличного освещения, где другие лампы могут применяться лишь в светильниках с тепловой изоляцией и при наличии специальных схем включения.

Кп у ламп ДРЛ составляет около 60 %, что не позволяет рекомендовать их для освещения производственных помещений, где производится напряжённая зрительная работа.

Ртутные лампы ДРЛ выпускают двух модификаций: двухэлектродные и четырехэлектродные.

#### 4.4. Светильники

Светильник состоит из источника света и арматуры, которая выполняет ряд функций [4]:

- обеспечивает перераспределение светового потока в пространстве;
- предохраняет глаза работающих от чрезмерной яркости источника света;
- предохраняет источник света от загрязнения и механического повреждения.

Наиболее важной функцией осветительной арматуры является перераспределение светового потока. Распределение светового потока в пространстве определяется конструкцией светильника. В зависимости от доли светового потока, приходящегося на нижнюю полусферу, светильники подразделяются на пять классов:

- прямого света (П), если эта доля более 80 % (рис. 4.13);
- преимущественно прямого (ПП), если эта доля 60...80 %;
- рассеянного (Р), если эта доля 40...60 % (рис. 4.13);
- преимущественно отраженного (ПО), если эта доля 20...40 %;
- отраженного (О), если эта доля менее 20 % (рис. 4.13).

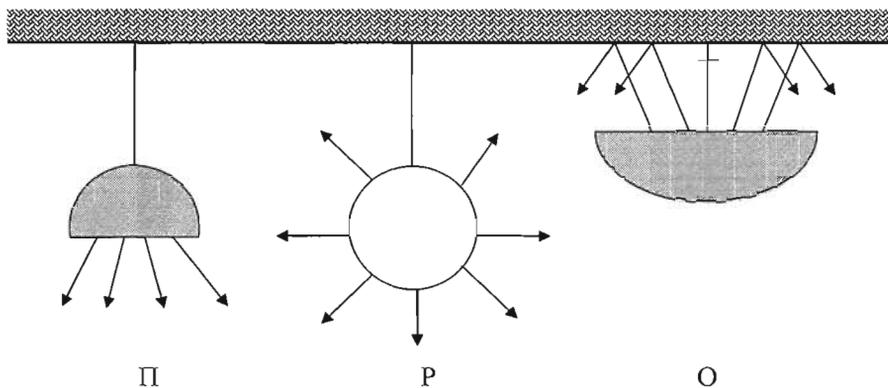


Рис. 4.13. Виды светильников в зависимости от доли светового потока, приходящейся на нижнюю полусферу

Выбор тех или иных светильников по светораспределению зависит от характера выполняемых в помещении работ, возможности запыления, загрязнения воздушной среды, отражательной способности поверхностей в помещении. Например, светильники рассеянного и отраженного света применяются в таких помещениях, где требуется большая равномерность

освещения, когда необходимо смягчить резкость теней или бликов на поверхностях с большим отражением и т. д.

Степень защиты глаз работающих светильником от чрезмерной яркости источника света характеризует *защитный угол светильника*  $\alpha$  (рис. 4.14).

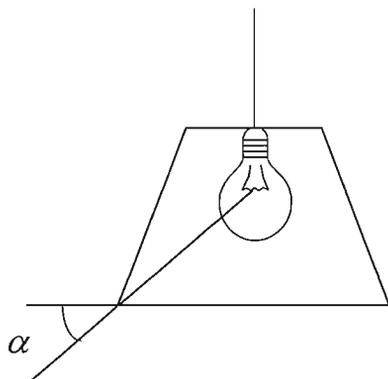


Рис. 4.14. Защитный угол светильника

Любой светильник характеризует коэффициент полезного действия (КПД) – это отношение фактического светового потока светильника к световому потоку источника.

Светильники классифицируются также по степени защиты от пыли, воды, взрыва, по способу установки, электроизоляции. На рис. 4.15 приведен общий вид пылевлагозащищенного светильника.



Рис. 4.15. Пылевлагозащищенный светильник

На рис. 4.16 представлен светильник аварийного освещения. Он предназначен для обеспечения освещения в случае исчезновения или значительного падения напряжения в сети. Источником энергии является кислотный аккумулятор емкостью 4 А·ч, а источником света – две независимые линейные флюоресцентные лампы Т5 мощностью 8 Вт. В случае аварии флюоресцентная лампа автоматически с помощью соеди-

ненной со светильником электронной системы переключается на питание от аккумулятора.

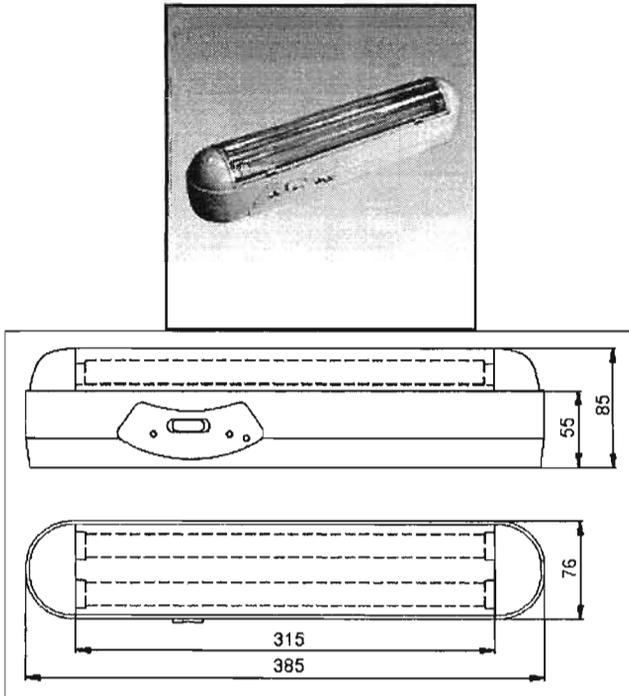


Рис. 4.16. Светильник аварийного освещения

Применение переключателя позволяет включить одну флюоресцентную лампу (время свечения около 8 ч), две (время свечения около 4 ч) или вообще выключить их. Светильник можно повесить к потолку или монтировать на стене.

#### Контрольные вопросы к главе 4

1. Какие виды производственного освещения Вы знаете?
2. Какие виды искусственного освещения Вы знаете?
3. Может ли использоваться одно местное освещение? Почему?
4. По какому параметру нормируется естественное освещение?
5. По какому параметру нормируется искусственное освещение?
6. Как определяется минимально допустимая освещенность на рабочем месте?
7. Почему ограничивается величина коэффициента пульсации освещенности?

8. Что такое прямая и отраженная блескость?
9. Какие искусственные источники света используются в настоящее время?
10. Какие существуют способы уменьшения пульсации светового потока газоразрядных ламп?
11. Какие виды светильников по распределению в пространстве светового потока Вы знаете?
12. Что такое защитный угол светильника?

#### **Библиографический список к главе 4**

1. Энциклопедия по безопасности и гигиене труда. – Т. 2. Угрозы для здоровья / ред. кол.: А.П. Починок (гл. ред.) и др. – М.: Министерство труда и социального развития Российской Федерации, 2001. – 925 с.
2. СНиП 23-05-95\*. Естественное и искусственное освещение (с изм. №1). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий – М.: Минздрав России, 2003.
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов – 8-е изд., стер. / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова.– М.: Высш. шк., 2008. – 616 с.
5. Зак, С.М. Монтаж светильников с газоразрядными лампами / С.М. Зак, Ю.А. Пленковский. – 3-е изд., доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 112 с.

## Глава 5. ВИБРАЦИЯ

Вибрация как фактор производственной среды встречается в металлообрабатывающей, горнодобывающей, металлургической, машиностроительной, строительной, авиа- и судостроительной промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте и во многих других отраслях. Она используется в ряде технологических процессов: при виброуплотнении, формовании, прессовании, вибрационной интенсификации механической обработки материалов, вибрационном бурении, рыхлении, резании горных пород и грунтов, вибротранспортировке и т. п. Вибрацией сопровождается работа передвижных и стационарных механизмов и агрегатов, в основу действия которых положено вращательное или возвратно-поступательное движение.

Вибрация, создаваемая машинами, механизированным инструментом и оборудованием, способна привести как к нарушениям в работе и выходу из строя самих машин, так и служить причиной повреждения других технических и строительных объектов. Это может повлечь за собой возникновение аварийных ситуаций и, в конечном счете, неблагоприятных воздействий на человека, получение им травм. Непосредственное действие вибрации повышенных уровней может привести к виброзаболеванию – профессиональному поражению работника.

### 5.1. Характеристика основных параметров вибрации

Вибрацию связывают с процессом колебаний, возникающим в различных физических условиях и относящимся к различным объектам. Среди них, в первую очередь нужно отметить материальные тела, совершающие механические движения относительно друг друга (поступательные или угловые). То есть можно выделить класс механических колебаний. Существуют колебания и другой физической природы: электрические колебания, тепловые колебания.

**Вибрация** представляет собой механическое колебательное движение, простейшим видом которого является гармоническое поступательное или крутильное колебание.

*Основные параметры синусоидального поступательного колебания:* частота в герцах (1 кол./с); изменяющиеся во времени вибросмещение  $Y(t)$ ; виброскорость  $V(t)$ ; виброускорение  $a(t)$ . Время, в течение которого колеблющееся тело совершает одно полное колебание, называется периодом колебания  $T(c)$ . Для синусоидальных колебаний амплитудные (пиковые) значения виброскорости  $A_v$  и виброускорения  $A_a$  определяются по формулам

$$A_v = 2\pi f A_Y ; A_a = (2\pi f)^2 A_Y ,$$

где  $\pi - 3,14$ ;  $f$  – частота, Гц;  $A_Y$  – амплитуда вибросмещения, м.

Для крутильных колебаний вибросмещение, виброскорость и виброускорение выражаются в угловых единицах.

Для оценки вибрации используются также логарифмические уровни виброскорости  $L_v$  и виброускорения  $L_a$ , выражаемые в децибелах (Дб) и определяемые по формулам

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{v}{5 \cdot 10^{-8}} \quad \text{и} \quad L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{3 \cdot 10^{-4}}.$$

Величина колебательной энергии, поглощенной телом человека  $Q$ , прямо пропорциональна площади контакта, времени воздействия и интенсивности раздражителя

$$Q = I \cdot S \cdot t,$$

где  $I$  – интенсивность вибрации,  $\text{кгм/м}^2\cdot\text{с}$ ;  $S$  – площадь контакта,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – длительность воздействия, с.

Интенсивность вибрации,  $a$ , следовательно, колебательная энергия прямо пропорциональны квадрату колебательной скорости:

$$I = V^2 (Z/S),$$

где  $V$  – среднеквадратичное значение колебательной скорости,  $\text{м/с}$ ;  $Z/S$  – модуль входного удельного механического импеданса (сопротивления) в зоне контакта,  $\text{кг/с}\cdot\text{м}^3$ .

Механический импеданс определяется как отношение амплитуды колебательной силы к амплитуде результирующей колебательной скорости в точке приложения этой силы.

В общем случае любая физическая величина, характеризующая вибрацию (например, виброскорость), является некоторой функцией времени:  $V = V(t)$ . Математическая теория показывает, что такой процесс можно представить в виде суммы бесконечного числа синусоидальных колебаний (гармоник) с различными периодами и амплитудами. В случае периодического процесса частоты этих гармоник кратны основной частоте процесса:  $f_n = n f_1$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $f_1 = 1/T$  – основная частота процесса).

Амплитуды гармоник определяют по известным формулам разложения в ряд Фурье. Если же процесс не имеет определенного периода (случайные или кратковременные одиночные процессы), то число таких синусоидальных составляющих становится бесконечно большим, а их частоты и амплитуды распределяются непрерывным образом, при этом амплитуды определяют разложением по формуле интеграла Фурье.

Таким образом, спектр периодического или квазипериодического колебательного процесса является дискретным (рис. 5.1, а, б), а случайного или кратковременного одиночного процесса – непрерывным (рис. 5.1, в).

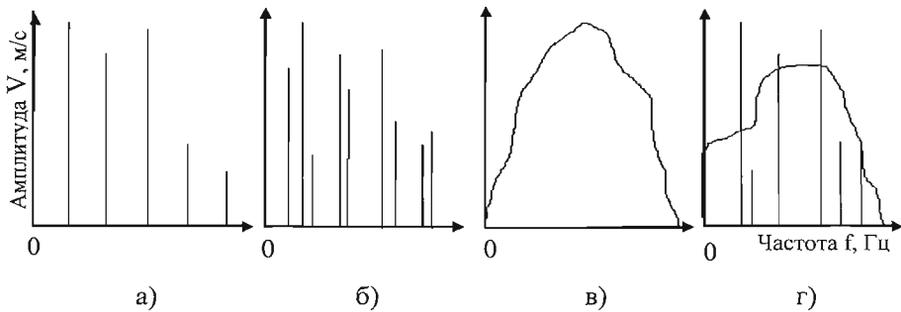


Рис. 5.1. Спектры виброакустических параметров

Чаще всего в дискретном спектре наиболее ярко выражена основная частота колебаний. Если процесс представляет собой сложение нескольких периодических процессов, частоты отдельных составляющих в его спектре могут быть не кратными друг другу, т. е. имеет место квазипериодический процесс (см. рис. 5.1, б). Если процесс есть результат суммирования нескольких периодических и случайных процессов, спектр его является смешанным, т. е. изображается в виде непрерывного и дискретного спектров, наложенных друг на друга (рис. 5.1, г).

В силу специфических свойств органов чувств определяющими являются действующие значения параметров, характеризующих вибрацию. Так, действующее значение виброскорости есть среднеквадратичное мгновенных значений скорости  $V(t)$  за время усреднения  $T_y$ , которое выбирают с учетом характера изменения виброскорости во времени

$$V_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T_y} \int_t^{t+T_y} V^2(t) dt}.$$

Таким образом, для характеристики вибрации используют спектры действующих значений параметров или средних квадратов последних  $V^2 = u_{\text{д}}^2$ . При оценке суммарного воздействия колебаний различных частот или отдельных источников следует иметь в виду, что при сложении некогерентных колебаний результирующую виброскорость (ускорение/смещение) находят соответствующим суммированием мощностей отдельных составляющих спектра (или отдельных источников) или, что одно и то же, суммированием средних квадратов виброскорости

$$V_{\text{сум}}^2 = V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2,$$

где  $n$  – число составляющих в спектре.

В соответствии с этим результирующее действующее значение указанного параметра определяется выражением

$$V_{\text{сум}} = U_{\text{д}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_i^2}.$$

Изображение непрерывного спектра требует обязательной оговорки о ширине  $\Delta f$  элементарных частотных полос, к которым относится изображение. Если  $f_1$  – нижняя граничная частота данной полосы частот,  $f_2$  – верхняя граничная частота, то в качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 f_2}.$$

В практике виброакустических исследований весь диапазон частот вибраций разбивают на октавные диапазоны. В октавном диапазоне верхняя граничная частота вдвое больше нижней ( $f_2 / f_1 = 2$ ). Анализ и построение спектров параметров вибрации могут производиться также в третьоктавных ( $f_2 / f_1 = \sqrt[3]{2}$ ) полосах частот.

Среднегеометрические частоты октавных (третьоктавных) полос частот в виброакустике стандартизованы и составляют: 1; 2; 4; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000 (0,8; 1,0; 1,2 и т. д.) Гц.

В зависимости от характера контакта тела человека с источником производственной вибрации условно различают локальную и общую вибрацию.

Вибрация передаваемая на тело стоящего, сидящего или лежащего человека в точках его опоры (ступни ног, ягодицы, спина, голова) определяется как общая (рис. 5.2, а; 5.3). Вибрация, передаваемая преимущественно через руки человека (работающего) в местах контакта с управляемой машиной или обрабатываемым изделием, определяется как локальная (рис. 5.2, б; 5.4). В производственных условиях часто имеет место сочетание локальной и общей вибраций.

Смешанное воздействие с преобладанием локальной вибрации возникает при работе ряда ручных машин, когда передача колебаний по телу осуществляется не только через верхние, но и через нижние конечности, грудь, спину и другие части тела в зависимости от рабочей позы и конструкции инструмента.

В других случаях преобладает общая вибрация, например, при формовке железобетонных изделий на виброплатформах с одновременным ручным разравниванием бетонной массы.

Локальную вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат  $X_{\text{л}}$ ,  $Y_{\text{л}}$ ,  $Z_{\text{л}}$  (рис. 5.2, б), где ось  $X_{\text{л}}$  параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложемента, руле-

вого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия и т. п.), ось  $Y_{л}$  перпендикулярна ладони, а ось  $Z_{л}$  лежит в плоскости, образованной осью  $X_{л}$  и направлением подачи или приложения силы (или осью предплечья, когда сила не прикладывается).

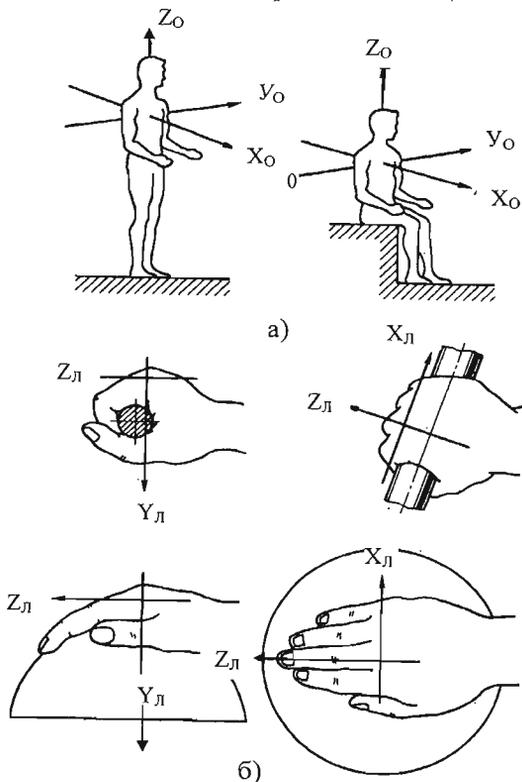


Рис. 5.2. Направление координатных осей при действии вибрации [1, 2]: а – общей (положение стоя и сидя); б – локальной (охват цилиндрических и сферических поверхностей)

По источнику возникновения общую вибрацию классифицируют на категории:

- **общую вибрацию 1-й категории** – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной

вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т. д.); снегоочистители; самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;

- **общую вибрацию 2-й категории** – транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные); краны промышленные и строительные; машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

- **общую вибрацию 3-й категории** – технологическую вибрацию, воздействующую 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; кузнечно-прессовое оборудование; литейные машины; электрические машины, стационарные электрические установки; насосные агрегаты и вентиляторы; оборудование для бурения скважин, буровые станки; машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки); оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков); установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Общую вибрацию категории 3 по месту действия для условий производства подразделяют 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 заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда.

При нормировании общую вибрацию определяют по направлению вдоль осей ортогональной системы координат  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  (см. рис. 5.2, а), где  $X_0$  (от спины к груди) и  $Y_0$  (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям;  $Z_0$  – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т. п.

В отличие от рассмотренных направлений координатных осей и параметров оценки вибрации, в новых национальных стандартах [3, 4, 5], созданных в соответствии с законом о техническом регулировании, при оценке вибрации, действующей на человека, предложена базицентрическая система координат и параметры ее оценки.

Общую вибрацию измеряют в направлении осей системы координат с центром в точке контакта тела человека с вибрирующей поверхностью в базицентрической системе координат, как показано на рис. 5.3. При этом относительно координатных осей X, Y, Z сидящего человека оцениваются также угловые (крутильные) колебания в направлениях  $\Gamma_x$ ,  $\Gamma_y$ ,  $\Gamma_z$ .

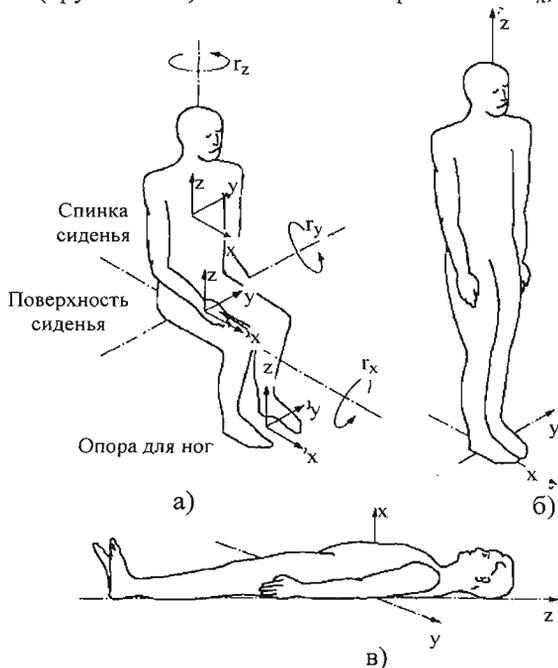


Рис. 5.3. Базицентрическая система координат для тела человека при измерении общей вибрации по [3, 4]: а – положение сидя; б – положение стоя; в – положение лежа

Локальную вибрацию следует измерять в направлении осей ортогональной системы координат, как показано на рис. 5.4. Из практических соображений эту систему координат удобно задавать относительно соответствующей базицентрической системы координат. В случае измерения локальной вибрации положение базицентрической системы координат определяется предметом – обрабатываемой деталью, рукояткой инструмента

или рычагом устройства управления, через который вибрация передается на сжатую кисть.

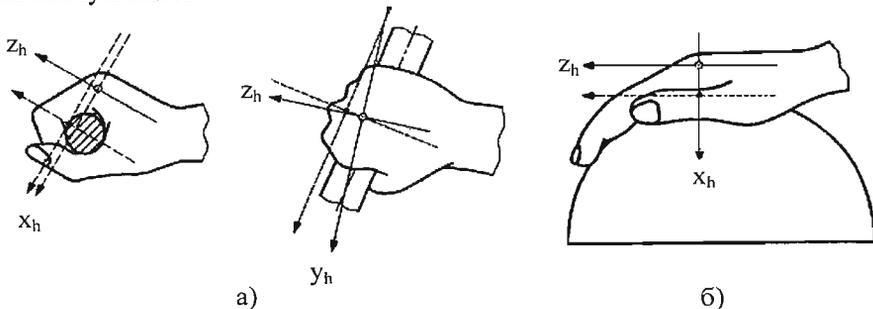


Рис. 5.4. Система координат, связанная с кистью руки при измерении локальной вибрации по [3, 5]: а – положение «сжатая ладонь» (кисть обхватывает цилиндрическую рукоятку); б – положение «плоская ладонь» (кисть нажимает на сферическую поверхность); обозначения: ———— — биодинамическая система координат; - - - - - — базицентрическая система координат

Центром биодинамической системы координат является головка третьей пястной кости. Ось  $z_h$  определена как продольная ось третьей пястной кости с положительным направлением в сторону кончика пальца. Ось  $x_h$  проходит через начало координат, перпендикулярна к оси  $z_h$  и направлена вверх, когда кисть находится в нормальном анатомическом положении (ладонью вверх). Ось  $y_h$  перпендикулярна к двум другим осям и положительно направлена в сторону большого пальца. На практике обычно используют базицентрическую систему координат, получаемую вращением системы координат в плоскости ( $y - z$ ) таким образом, чтобы ось  $y_h$  была параллельна оси предмета, удерживаемого кистью руки (например, рукоятки).

В соответствии с [3] для нормирования и оценки вибрации (в том числе общей низкочастотной в диапазоне от 0,1 до 0,5 Гц) должны применяться следующие параметры скорректированного ускорения.

1. Среднеквадратичное значение скорректированного ускорения  $a_w$  ( $m/c^2$ ): усредненная по времени поступательная или угловая вибрация, определяемая формулой

$$a_w = \left( \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2},$$

где  $a_w(\xi)$  – текущее значение скорректированного ускорения (поступательного или углового) как функция времени  $\xi$ ;  $T$  – период измерений.

2. *Уровень скорректированного ускорения*  $L_w$ : уровень среднеквадратичного значения скорректированного ускорения, дБ, определяемый формулой

$$L_w = 20 \lg \frac{a_w}{a_0},$$

где  $a_w$  – среднеквадратичное значение скорректированного ускорения, м/с<sup>2</sup>;  $a_0$  – опорное значение ускорения, равное 10<sup>-6</sup> м/с<sup>2</sup> (по ИСО 1683:1983).

3. *Текущее среднеквадратичное значение скорректированного ускорения*  $a_{w,\theta}(t)$ : среднеквадратичное значение скорректированного ускорения в момент времени  $t$ , определяемое формулой

$$a_{w,\theta}(t) = \left( \frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^t a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2},$$

где  $a_w(\xi)$  – текущее значение скорректированного ускорения в момент времени  $\xi$ ;  $\theta$  – период интегрирования;  $t$  – текущее время.

*Примечание.* В качестве аппроксимации линейного усреднения может быть использовано экспоненциальное усреднение, определяемое формулой

$$a_{w,\tau}(t) = \left( \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t a_w^2(\xi) \exp\left(-\frac{\xi-t}{\tau}\right) d\xi \right)^{1/2},$$

где  $\tau$  – постоянная времени экспоненциального усреднения.

4. *Максимальное кратковременное среднеквадратичное значение (скорректированного ускорения) MTVV*: максимальное значение текущего среднеквадратичного значения скорректированного ускорения для периода интегрирования  $\theta$ , равного 1 с.

5. *Доза укачивания MSDV*: величина, представляющая собой интеграл квадрата скорректированного ускорения  $a_w(t)$ , выражаемая в м/с<sup>1,5</sup> и определяемая формулой

$$MSDV = \left( \int_0^{\Phi} a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2},$$

где  $\Phi$  – общий период времени, в течение которого наблюдают низкочастотные колебания, вызывающие укачивание (болезнь движения).

*Примечание.* Доза укачивания может быть получена из среднеквадратичного значения скорректированного ускорения умножением на коэффициент  $\Phi^{1/2}$ . Если не определено иначе, время воздействия  $\Phi$  принимают равным периоду измерений  $T$ .

6. *Доза вибрации VDV*: величина, представляющая собой интеграл четвертой степени скорректированного ускорения  $a_w(t)$ , выражаемая в  $m/s^{1,75}$  и определяемая формулой

$$VDV = \left( \int_0^{\Phi} a_w^4(t) dt \right)^{1/4},$$

где  $\Phi$  – общее время воздействия вибрации<sup>1</sup>.

7. *Полная вибрация  $a_v$* : суммарная вибрация по трем осям поступательного движения, определяемая формулой

$$a_v = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2},$$

где  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  и  $a_{wz}$  – среднеквадратичные значения скорректированного ускорения в направлении трех ортогональных измерительных осей  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно;  $k_x$ ,  $k_y$  и  $k_z$  – поправочные множители (коэффициенты), значения которых зависят от целей измерения.

8. *Пиковое значение*: максимальное значение модуля скорректированного ускорения на периоде измерения<sup>2</sup>.

При оценке общей вибрации (по ГОСТ 31319-2006) для каждой  $i$ -й операции измерению (оценке) подлежат следующие основные параметры:

– среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения  $a_{wi}$ ,  $m/s^2$ , вдоль каждой из трех осей системы координат, связанной с опорной поверхностью;

– общая длительность  $T_i$  воздействия вибрации в процессе выполнения  $i$ -й операции в течение рабочего дня.

Для каждого направления  $l$  значение эквивалентного виброускорения  $A_l(8)$ ,  $m/s^2$ , определяют по формуле

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{lwi}^2 T_i},$$

где  $a_{lwi}$  – среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения, определенное на интервале времени  $T_i$ ;  $k_x = k_y = 1,4$  для направлений  $x$  и  $y$ ; и  $k_z = 1$  для направления  $z$ ;  $l$  – индекс, указывающий направление измерений (оценки) вибрации ( $x$ ,  $y$  или  $z$ );  $T_0$  – опорный период времени, равный 8 ч (28 800 с).

<sup>1</sup> В ГОСТ 12.1.012-90\* и других нормативных документов доза вибрации была обозначена символом  $D$  и имеет другое определение, которое теперь для оценки воздействия вибрации не применяют. Следует избегать путаницы между величинами  $D$  и  $VDV$ .

<sup>2</sup> Не следует путать пиковое значение с максимальным среднеквадратичным значением.

Примечания:

1) ГОСТ 31191.1 допускает проводить оценку общей вибрации на основе значения дозы вибрации  $VDV_i$ , рассчитанной для того же периода времени  $T_0$  и направления  $l$ , вместо  $A_l(8)$ . Использование значения дозы вибрации вместо значения эквивалентного виброускорения приводит, как правило, к другой оценке риска вибрационного воздействия;

2) значения  $k_l$  в направлениях  $x$  и  $y$  основаны на чувствительности к вибрации сидящего человека (ГОСТ 31191.1) и распространены на другие возможные позы (например, положение стоя);

3) при наличии отчетливо выраженного доминирующего направления действия вибрации допускается проводить измерения только в этом направлении.

Долю отдельной операции или рабочего цикла  $i$  в значении эквивалентного виброускорения определяют по формуле

$$A_{li}(8) = k_l a_{wli} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}.$$

При оценке локальной вибрации (ГОСТ 31192.1-2004) основной величиной, используемой для описания уровня вибрации, является среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения. Измерения скорректированного виброускорения требуют применения соответствующих полосовых и весовых фильтров. Применение частотной коррекции  $W_h$  исходит из того, что вибрация на разных частотах по-разному влияет на степень получаемых повреждений.

Измерения необходимо проводить во всех трех направлениях. При этом отдельно должны быть зафиксированы среднеквадратичные значения скорректированных виброускорений  $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$ ,  $a_{hw_z}$ .

Полную вибрацию  $a_{hv}$  определяют как корень из суммы квадратов трех составляющих вибрации:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2}.$$

## 5.2. Действие вибрации на организм

Особенности воздействия производственной вибрации определяются частотным спектром и расположением в его пределах составляющих с максимальным уровнем энергии колебания. Местная вибрация малой интенсивности может оказывать благоприятное воздействие на организм человека, восстанавливая трофические изменения, улучшая функциональное состояние центральной нервной системы, ускоряя заживление ран и т. п.

При увеличении интенсивности колебаний и длительности их воздействия возникают изменения, приводящие в ряде случаев к развитию профессиональной патологии – вибрационной болезни. Наибольший удельный вес (распространение) имеет патология, в этиопатогенезе которой существенную роль играет местная (локальная) вибрация.

В производственных условиях ручные машины, вибрация которых имеет максимальные уровни энергии (максимальный уровень виброскорости) в полосах низких частот (до 35 Гц), вызывают вибрационную патологию с преимущественным поражением нервно-мышечного, опорно-двигательного аппаратов. При работе с ручными машинами, вибрация которых имеет максимальный уровень энергии в высокочастотной области спектра (выше 125 Гц), возникают главным образом сосудистые расстройства с склонностью к спазму периферических сосудов. При воздействии вибрации низкой частоты заболевание возникает через 8–10 лет (формовщики, бурьльщики с электросверлами), при воздействии высокочастотной вибрации – через 5 и менее лет (шлифовщики, рихтовщики).

Локальная вибрация широкого спектра преимущественно средне-высокочастотная (35...125 Гц и более) чаще с неравномерным распределением максимальных уровней по ширине спектра энергии и наличием импульсного удара (клепка, обрубка, бурение) вызывает различную степень сосудистых, нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений. Повышенная локальная вибрация может приводить к нарушениям потоков крови в периферических сосудах рук, неврологических и локомоторных функций кисти и всей руки. По оценкам от 1,7 % до 3,6 % рабочих развитых стран подвергаются потенциально опасному воздействию локальной вибрации. Термин «синдром локальной вибрации» широко используют для определения нарушений деятельности периферических сосудов, неврологических и мышечно-скелетных повреждений, обусловленных воздействием локальной вибрации. Проявления неврологических или сосудистых нарушений у рабочих, подверженных воздействию такой вибрации, могут носить как индивидуальный, так и групповой характер. В некоторых странах, в том числе в РФ, болезни сосудов и суставов, вызванные действием локальной вибрации, причислены к профессиональным заболеваниям с соответствующим возмещением нанесенного здоровью ущерба. Сроки развития патологии при воздействии подобной вибрации – от 3 до 8 лет.

Воздействие общей вибрации разных параметров вызывает различную степень выраженности изменений в центральной и вегетативных нервных системах, сердечно-сосудистой системе, обменных процессах, вестибулярном аппарате.

Возникновение и развитие вибрационной болезни обусловлены сложным взаимодействием рефлекторно развивающихся изменений в деятельности различных отделов нервной системы. Большую роль в характере реакций организма играют сопутствующие факторы: микротравматизация,

охлаждение, статическое мышечное усилие, пониженное атмосферное давление, производственный шум.

### 5.3. Гигиеническое нормирование вибрации

Значения нормируемых параметров вибрации, полученные в результате измерений на рабочих местах, непосредственно сравнивают с гигиеническими нормативами. Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, производится следующими методами [1]:

- 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;
- дозой оценкой.

Нормируемые параметры указываются для определенного диапазона частот:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;
- для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полос 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 являются средние квадратические значения виброскорости  $v$  и виброускорения  $a$  или их логарифмические уровни  $L_v$ ,  $L_a$ , измеряемые в октавных и треть октавных полосах частот.

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром является скорректированное значение виброскорости и виброускорения  $U$  или их логарифмические уровни  $L_U$ , измеряемые с помощью корректирующих фильтров или вычисляемые по формулам

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i \cdot K_{U_i})^2} \quad \text{или} \quad L_U = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{U_i} + L_{k_i})},$$

где  $U_i$ ,  $L_{U_i}$  – средние квадратические значения виброскорости или виброускорения (или их логарифмические уровни) в  $i$ -й частотной полосе;  $n$  – число частотных полос (1/3 или 1/1 октав) в нормируемом частотном диапазоне;  $K_{U_i}$ ,  $L_{k_i}$  – весовые коэффициенты для  $i$ -й частотной полосы соответственно для абсолютных значений или их логарифмических уровней, определяемые для локальных и для общих вибраций по таблицам, т. е. скорректированный уровень вибрации – одночисловая характеристика виб-

рации, определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных полосах частот с учетом октавных поправок.

При интегральной оценке вибрации с учетом времени ее воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемым параметром является эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения  $U_{\text{эКВ}}$  или их логарифмический уровень  $L_{U_{\text{эКВ}}}$ , измеренные или вычисленные по формулам

$$U_{\text{эКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 - t_i}{T}} \quad \text{или} \quad L_{U_{\text{эКВ}}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i \cdot t_i} \right),$$

где  $U_i$  – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости ( $v, L_v$ ), м/с или виброускорения ( $a, L_a$ ), м/с<sup>2</sup>;  $t_i$  – время действия вибрации, ч;

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

где  $n$  – общее число интервалов действия вибрации.

Следовательно, эквивалентный (по энергии) скорректированный уровень изменяющейся во времени вибрации – это скорректированный уровень постоянной во времени вибрации, которая имеет такое же среднеквадратичное скорректированное значение виброускорения и/или виброскорости, что и данная непостоянная вибрация в течение определенного интервала времени.

Доза вибрации  $D$  определяется по формуле

$$D = \int_0^T \tilde{U}^m(t) dt,$$

где  $\tilde{U}$  – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра в момент времени  $t$ , м/с<sup>-2</sup> или м/с<sup>-1</sup>;  $m$  – показатель эквивалентности физиологического воздействия вибрации, устанавливаемый санитарными нормами.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в табл. 5.1.

Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.

Таблица 5.1

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 <sup>2</sup>                                      | дБ  | м/с·10 <sup>-2</sup> | 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 |

Предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) для вибрации категории 1 (транспортной вибрации) приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 1 (указаны только для виброускорения)

| Среднегеометрические частоты полос, Гц | Предельно допустимые значения виброускорения |            |              |            |              |            |              |            |
|--|--|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|  | м/с <sup>2</sup>                             |            |              |            | дБ           |            |              |            |
|  | в 1/3 октаве                                 |            | в 1/1 октаве |            | в 1/3 октаве |            | в 1/1 октаве |            |
|  | $Z_0$  | $X_0, Y_0$ | $Z_0$        | $X_0, Y_0$ | $Z_0$        | $X_0, Y_0$ | $Z_0$        | $X_0, Y_0$ |
| 0,80                                   | 0,70   | 0,22       | —            | —          | 117          | 107        | —            | —          |
| 1,00                                   | 0,63   | 0,22       | 1,10         | 0,40       | 116          | 107        | 121          | 112        |
| 1,25                                   | 0,56   | 0,22       | —            | —          | 115          | 107        | —            | —          |
| 1,60                                   | 0,50   | 0,22       | —            | —          | 114          | 107        | —            | —          |
| 2,00                                   | 0,45   | 0,22       | 0,79         | 0,45       | 113          | 107        | 118          | 113        |
| 2,50                                   | 0,40   | 0,28       | —            | —          | 112          | 109        | —            | —          |
| 3,15                                   | 0,35   | 0,35       | —            | —          | 111          | 111        | —            | —          |
| 4,00                                   | 0,32   | 0,45       | 0,56         | 0,79       | 110          | 113        | 115          | 118        |
| 5,00                                   | 0,32   | 0,56       | —            | —          | 110          | 115        | —            | —          |
| 6,30                                   | 0,32   | 0,70       | —            | —          | 110          | 117        | —            | —          |
| 8,00                                   | 0,32   | 0,89       | 0,63         | 1,60       | 110          | 119        | 116          | 124        |

| Средне-геометрические частоты полос, Гц                                | Предельно допустимые значения виброускорения |                                 |                |                                 |                |                                 |                |                                 |
|--|--|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|
|  | м/с <sup>2</sup>                             |                                 |                |                                 | дБ             |                                 |                |                                 |
|  | в 1/3 октаве                                 |                                 | в 1/1 октаве   |                                 | в 1/3 октаве   |                                 | в 1/1 октаве   |                                 |
|  | Z <sub>0</sub>                               | X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub> | Z <sub>0</sub> | X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub> | Z <sub>0</sub> | X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub> | Z <sub>0</sub> | X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub> |
| 10,00  | 0,40   | 1,10                            | –              | –                               | 112            | 121                             | –              | –                               |
| 12,50  | 0,50   | 1,40                            | –              | –                               | 114            | 123                             | –              | –                               |
| 16,00  | 0,63   | 1,80                            | 1,10           | 3,20                            | 116            | 125                             | 121            | 130                             |
| 20,00  | 0,79   | 2,20                            | –              | –                               | 118            | 127                             | –              | –                               |
| 25,00  | 1,00   | 2,80                            | –              | –                               | 120            | 129                             | –              | –                               |
| 31,50  | 1,30   | 3,50                            | 2,20           | 6,30                            | 122            | 131                             | 127            | 136                             |
| 40,00  | 1,60   | 4,50                            | –              | –                               | 124            | 133                             | –              | –                               |
| 50,00  | 2,00   | 5,60                            | –              | –                               | 126            | 135                             | –              | –                               |
| 63,00  | 2,50   | 7,00                            | 4,50           | 13,00                           | 128            | 137                             | 133            | 142                             |
| 80,00  | 3,20   | 8,90                            | –              | –                               | 130            | 139                             | –              | –                               |
| Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни | –  | –                               | 0,56           | 0,40                            | –              | –                               | 115            | 112                             |

#### 5.4. Профилактика вибропоражений

Задачей обеспечения вибрационной безопасности является предотвращение условий, при которых воздействие вибрации могло бы привести к ухудшению состояния здоровья работников, в том числе к профессиональным заболеваниям, а также к значительному снижению комфортности условий труда (особенно для лиц профессий, требующих при выполнении производственного задания исключительного внимания во избежание возникновения опасных ситуаций, например, водителей транспортных средств).

Концепция вибрационной безопасности, принятая в странах Европейского Союза (ЕС) и в Российской Федерации, заключается в том, что на изготовителя машины – источника вибрации, ложится ответственность за характеристики этой машины, непосредственно влияющие на условия ее безопасного применения. После того как изготовитель выполнил свои обязательства и заявил требуемые характеристики машины, последней открывается беспрепятственный доступ на национальный и международные рынки. Дальнейшая ответственность за правильный выбор машин и правильное их применение лежит на работодателе.

**К организационно-техническим мероприятиям** по профилактике вибропоражений относятся: замена операций, требующих применения ручных машин, автоматизацией процессов и их дистанционным управлением; максимальное применение прессовой и односторонней клепки взамен ударной; уменьшение удельного веса обрубных работ за счет внедрения точного литья, дробеструйной чистки литья, газопламенной резки и электроискровой и электрохимической обработки; применение самоходного оборудования с автоматическим управлением взамен ручного бурения; механизация процессов ручной формовки; дистанционное управление бетоноукладчиков и пр., а также плано-предупредительный ремонт и контроль вибрационных параметров.

**Плано-предупредительный ремонт и контроль вибрационных параметров** заключается в том, что ручные машины, находящиеся в эксплуатации, не реже чем 1 раз в 6 мес должны проверяться на соответствие их вибрационных параметров паспортным данным. Все результаты контрольных измерений вибрации машины, отметки о ремонте и профилактике вносятся в специальный журнал и индивидуальный паспорт машины. Ручные машины должны быть индивидуально закреплены за работающими, храниться в специально отведенных местах, регулярно подвергаться смазке.

**К техническим мероприятиям** [6, 7] относится создание новых конструкций инструментов и машин, вибрация которых не должна выходить за пределы безопасной для человека, а усилие, прикладываемое руками работающего к ручной машине, должно быть в пределах 15...20 кг, создание клепальных, рубильных, отбойных, бурильных и других конструкций, в которых используются различные принципы виброзащиты: изменение внутреннего цикла работы молотков, выбор рациональных параметров ударного узла, применение различных демфирующих приспособлений.

Для защиты левой руки от вибрации вставного инструмента применяются виброгасящие насадки из губчатой резины, пластмассы в комбинации с пружинными амортизаторами, подобные насадки используются и для защиты от вибрации рукояток шлифовальных машин. Уменьшения вибрации шлифовальных и других инструментов вращательного действия можно добиться тщательной регулярной балансировкой абразивных кругов и насадок, регулярной заменой кругов с нарушенными поверхностями, создающими дисбаланс.

Для уменьшения вибрации, передаваемой на рабочие места, применяются специальные амортизирующие сиденья, площадки с пассивной пружинной изоляцией, резиновые, поролоновые и другие виброгасящие настилы.

Расчет фундаментов и виброизоляционных средств на стадии проектирования является кардинальным средством снижения общей вибрации при установке мощных машин и агрегатов.

**Гигиенические, лечебно-профилактические и правовые мероприятия.** В соответствии с рекомендациями к разработке положения о режиме труда работников виброопасных профессий общее время контакта с вибрирующими машинами, вибрация которых соответствует санитарной норме, на протяжении смены не должно превышать 2/3 длительности рабочего дня. Операции должны распределяться между работниками так, чтобы продолжительность непрерывного воздействия вибрации, включая микропаузы, не превышала 15–20 мин. Рекомендуются при этом два регламентированных перерыва (для активного отдыха, проведения производственной гимнастики по специальному комплексу, гидропроцедур): 20 мин (через 1–2 ч от начала смены) и 30 мин (через 2 ч после обеденного перерыва).

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза).

При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию.

К работе с вибрирующими машинами и оборудованием допускаются лица не моложе 18 лет, получившие соответствующую квалификацию и сдавшие технический минимум по правилам безопасности выполнения работ. При приеме на работу они должны проходить предварительный медицинский осмотр, а в процессе работы – периодические осмотры не реже 1 раза в год в соответствии с приказом министра здравоохранения.

Работа с вибрирующим оборудованием, как правило, должна проводиться в отапливаемых помещениях с температурой воздуха не менее 16 °С при влажности 40...60 % и скорости его движения не более 0,3 м/с. При невозможности создания подобных условий (работа на открытом воздухе, подземные работы и т. п.) для периодического обогрева должны быть предусмотрены специальные отапливаемые помещения с температурой воздуха не менее 22 °С, относительной влажностью 40...60 % и скоростью движения воздуха 0,3 м/с. В случае необходимости соприкосновения с холодным металлом следует пользоваться теплыми перчатками.

Для повышения защитных свойств организма, работоспособности и трудовой активности следует использовать специальные комплексы производственной гимнастики, витаминпрофилактику (два раза в год комплекс витаминов С, В; никотиновая кислота), спецпитание. Целесообразно проведение в середине или в конце рабочего дня 5–10-минутных гидропроцедур, сочетающих ванночки при температуре воды 38 °С и самомассаж для верхних конечностей.

**Средства индивидуальной защиты.** В качестве индивидуальных средств защиты от вибрации применяются гасящие вибрацию рукавицы и специальная обувь. В настоящее время требования к защитным рукавицам и обуви с применением упруго-демпфирующих материалов регламентируются специальными ГОСТами. Стандартизируются эффективность га-

шения вибрации, толщина упруго-демпфирующего материала, преимущественная область применения и другие требования к защитным изделиям этого типа.

### **Контрольные вопросы к главе 5**

1. В каких отраслях промышленности, и при каких технологических операциях встречается вибрация, как фактор производственной среды?
2. Какое оборудование является источником вибрации, и каковы виброакустические характеристики этого оборудования?
3. По каким причинам при работе, в процессе эксплуатации различного оборудования возможно повышение уровня вибрации (колебательной скорости)?
4. Дайте характеристику основных параметров вибрации.
5. В чем разница между абсолютными значениями параметров вибрации и их уровнями?
6. От чего зависит величина колебательной энергии, поглощенной телом человека?
7. Как связаны интенсивность вибрации, а, следовательно, колебательная энергия с колебательной скоростью?
8. Что характеризует механический импеданс?
9. Что понимается под стандартной среднегеометрической частотой в виброакустике?
10. Как подразделяют вибрацию в зависимости от характера контакта тела рабочего с источником вибрации?
11. В направлении каких координатных осей указывают значения нормируемых параметров для общей и локальной вибраций?
12. Что относят к факторам, усугубляющим воздействие вибрации ручных машин на организм человека?
13. Как подразделяют общую вибрацию по источнику возникновения вибрации?
14. К чему приводит воздействие вибрации на организм человека?
15. Какие параметры являются нормируемыми для вибрации?
16. Какие методы гигиенического нормирования вибрации Вы знаете?
17. Какие мероприятия применяются для профилактики неблагоприятного действия вибрации на организм человека?
18. Как влияет частотный состав вибрации на эффективность инженерно-технических мероприятий по снижению ее уровня?
19. Какие применяются средства индивидуальной защиты от вибрации?

## Библиографический список к главе 5

1. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
2. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
4. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. – Ч. 1. Общие требования
5. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. – Ч. 1. Общие требования
6. Вибрация в технике: справочник. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Р. Левендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
7. Вибрация в технике: справочник. – Т. 6. Защита от вибрации / под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.

## Глава 6. ШУМ. ИНФРАЗВУК И УЛЬТРАЗВУК

Под *шумом* как гигиеническим фактором принято подразумевать совокупность слышимых звуковых волн, неблагоприятно воздействующих на организм человека, мешающих его работе и отдыху. *Ультразвук* и *инфразвук* – это также совокупность звуковых волн, но не слышимых человеком, однако оказывающих неблагоприятное энергетическое воздействие на человека.

В настоящее время акустические факторы, особенно шум, становятся наиболее распространенными социально-гигиеническими факторами внешней, как бытовой, так и производственной среды в связи с расширением сферы потребления, интенсификацией и механизацией технологических процессов, развитием дизелестроения, реактивной авиации, транспорта, строительных технологий. Введение новых высокопроизводительных видов бытового и производственного оборудования с постоянным увеличением скоростей движения машин и механизмов, широкое применение пневматического инструмента различного назначения, расширение станочного парка создают предпосылки для возникновения новых источников интенсивного шума, инфразвука и ультразвука и усиления их интенсивности при интенсификации существующих ранее технологических процессов.

### 6.1. Физические характеристики звуковой волны

По физической сущности звуки представляют собой волнообразно распространяющиеся механические колебательные движения частиц упругой среды (газовой, жидкой или твердой), имеющие, как правило, беспорядочный, случайный характер. Источником звуковых волн может быть любое колеблющееся материальное тело, выведенное из устойчивого состояния покоя внешней силой. Для волны существенно, что она распространяется в пространстве и во времени. Непосредственно примыкающие к источнику колебания частицы упругой среды вовлекаются в колебательный процесс и смещаются, приходя в состояние ритмичного сгущения и разрежения. Этот процесс в силу упругости сплошной среды распространяется последовательно на смежные частицы в виде волны, параметром которой является *звуковое давление*  $p(t)$ . Последнее представляет собой переменное давление, возникающее дополнительно к атмосферному, в той среде, через которую проходят звуковые волны и выражается в Па ( $\text{Н/м}^2$ ).

Звуковая волна характеризуется **периодом колебания**  $T$  (с). Период колебания связан обратным отношением с **частотой**  $f$ , т.е.  $T = 1/f$  (Гц).

Расстояние, на которое в течение одной секунды может распространяться волновой процесс, называется **скоростью звука**  $c$  (м/с). В воздухе при темпе-

ратуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении она равна 334 м/с, при повышении температуры – увеличивается примерно на 0,71 м/с на каждый градус.

Расстояние между двумя соседними сгущениями или разрежениями в звуковом поле характеризует длину волны  $\lambda$  (м). Длина волны связана с частотой  $f$  и скоростью  $c$  звука соотношением

$$\lambda = c/f.$$

Распространение звуковых волн сопровождается переносом колебательной энергии в пространстве. Ее количество, проходящее через площадь 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно направлению распространения звуковой волны, является энергетической характеристикой звуковой волны, называемой **интенсивностью звука**  $I$  (Вт/м<sup>2</sup>), вычисляемой по формуле

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c},$$

где  $\rho$  – плотность среды;  $c$  – скорость звука.

Частотный состав шума характеризует его спектр, т. е. распределение параметров звуковых волн (амплитудных значений звукового давления или интенсивности звука) по частоте, т. е. спектр характеризует распределение звуковой энергии составляющих данного шума по частоте. Если в составе шума присутствуют более интенсивны звуки с частотами колебаний до 400 Гц, то спектр относят к низкочастотному, при более интенсивных звуках с частотами в диапазоне 400...1000 Гц – к среднечастотному, свыше 1000 Гц – к высокочастотному.

По величине интервалов между составляющими звуками шума различают дискретный (линейчатый) и сплошной спектры. В первом случае отдельные составляющие звуки, входящие в спектр шума, разделены значительными частотными интервалами, во втором – следуют друг за другом непрерывно с бесконечно малыми интервалами. Смешанный спектр характеризуется отдельными пиковыми дискретными составляющими на фоне сплошного спектра.

По официальной классификации шумов, принятой в Российской Федерации в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности», шумы следует подразделять по характеру спектра на **широкополосные**, с непрерывным спектром шириной более одной октавы, и **тональные**, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона.

По временным характеристикам шуму следует подразделять на **постоянные**, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени незначительно, и **непостоянные**. Последние, в свою очередь, следует подразделять на *колеблющиеся* во времени, уровень звука которых непрерывно изменяется во времени; *прерывистые*, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума, причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным и превышающим уровень фонового шума, составляет 1 с и более; *импульсные*, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый из них длительностью менее 1 с.

Распространение звуковых волн сопровождается появлением ряда акустических феноменов, имеющих важное значение для характеристики шумового фактора, его гигиенической оценки и выбора мер защиты.

При одновременном распространении в воздушной среде нескольких звуковых волн одинаковой частоты они могут приходить в точку пространства одновременно в одной фазе, повышая результирующую амплитуду колебаний, т. е. громкость звука. При совпадении противоположных фаз громкость звука снижается. Явление наложения волн называется интерференцией.

Звуковая волна, отраженная от препятствия на пути ее распространения, в случае, когда размеры препятствия меньше длины волны, огибает его, а при наличии щелей в преграде проникает через них. Процесс огибания звуковой волной препятствий конечных размеров называется дифракцией. Возникшие внутри замкнутых помещений звуковые волны, распространяясь от источника, многократно отражаются от перекрытий, создавая условия для появления гулкости помещения. Этот процесс называется реверберацией.

Если внешняя сила, вызвав колебания системы, прекращает на нее действовать, эта система начинает колебаться со строго определенной собственной частотой колебания, зависящей от упругих и инерционных сил. В том случае, когда частота колебаний внешней среды совпадает с собственными колебаниями системы, амплитуда резко возрастает. Это явление называется резонансом.

Звукопроводящая механическая система рецепторного отдела слухового анализатора способна реагировать и передавать звуковоспринимающей частью рецептора механические колебания среды, которые совершаются с частотой от 20 до 20 000 колебаний в секунду (рис. 6.1) с величиной звуковой энергии от  $10^{-12}$  до  $10^2$  Вт/м<sup>2</sup> или от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^2$  Н/м<sup>2</sup> (паскалей).

Минимальная величина звуковой энергии, способная трансформироваться в нервный процесс, т. е. воспринимаемая ухом человека как звук, называется слуховым порогом (порогом слышимости) и составляет  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Звуковое давление, соответствующее этой величине, равно  $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup> (Па). Высший

предел, при котором воспринимаемый звук вызывает уже болевое ощущение, соответствует силе звука  $10^2 \text{ Вт/м}^2$  (звуковое давление  $20 \text{ Н/м}^2$ ).

Способность слухового анализатора регистрировать огромный диапазон величин звуковых давлений объясняется тем, что различается не разность, а кратность изменения абсолютных величин (ступенчатость восприятия).

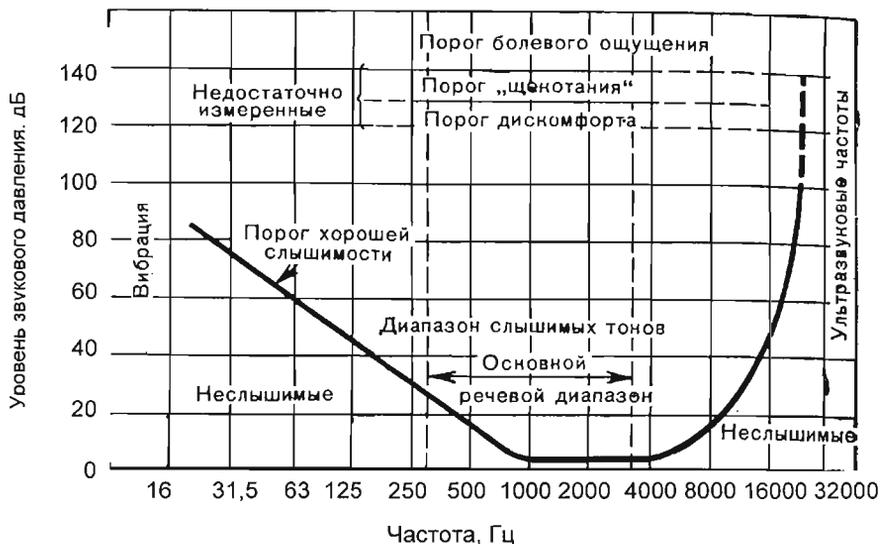


Рис. 6.1. Пороги слышимости звуков различной частоты и интенсивности

Установлено, что каждая последующая ступень восприятия отличается от предыдущей на 12,4 %. Поэтому для характеристики акустического феномена принята специальная измерительная система интенсивности и энергии шума, учитывающая приближенную логарифмическую зависимость между раздражением и слуховым восприятием (закон Вебера-Фехнера), а именно, шкала логарифмических единиц, как наиболее объективная и соответствующая физиологической сущности восприятия. По этой шкале каждая последующая ступень звуковой энергии больше предыдущей в 10 раз. Например, если интенсивность звука больше другого в 10, 100, 1000 раз, то по логарифмической шкале она соответствует увеличению на 1, 2, 3 единицы ( $\lg 10 = 1$ ,  $\lg 100 = 2$  и т. д.). Логарифмическая единица, отражающая десятикратную степень увеличения интенсивности звука над уровнем другого, называется в акустике белом (Б). Использование логарифмической шкалы измерений удобно, так как в практике измерения шума огромного диапазона звуковой энергии в абсолютных величинах громоздко и неудобно. Логарифмические единицы позволяют

оценить интенсивность звука не абсолютной величиной звукового давления, а ее уровнем, т. е. отношением фактически создаваемого давления к давлению, принятому за единицу сравнения.

Такой единицей принято считать минимальное давление, которое человек воспринимает как звук на частоте 1000 Гц, а именно  $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>. Весь диапазон энергии, воспринимаемой слухом как звук, укладывается при этих условиях в 13...14 Б. Для удобства пользуются не белом, а единицей, в 10 раз меньшей, – децибелом (дБ), которая соответствует примерно минимальному приросту силы звука, различаемого ухом. Таким образом, бел и децибел – это условные единицы, которые показывают, насколько данный звук  $I$  в логарифмическом масштабе больше условного порога слышимости  $I_0$ . Измеряемые таким образом величины называются логарифмическими уровнями  $L$  интенсивности шума или уровнями звукового давления.

Десятичный логарифм отношения двух интенсивностей звука  $I$  и  $I_0$  называется уровнем интенсивности:

$$L_I = \lg I/I_0, \text{ Б} \quad \text{или} \quad L_I = 10 \cdot \lg I/I_0, \text{ дБ.}$$

В настоящее время общепринято характеризовать интенсивность звука (шума) в уровнях звукового давления, определяемых по формуле

$$L = 20 \cdot \lg P/P_0,$$

где  $P$  – определяемая величина звукового давления, Па;  $P_0$  – пороговая величина звукового давления ( $2 \cdot 10^{-5}$ , Па).

Между уровнем интенсивности шума  $L_I$  и уровнем звукового давления  $L$  существует соотношение

$$L_I = L + 10 \cdot \lg(\rho_0 c_0 / \rho c),$$

где  $\rho_0$ ,  $c_0$  – плотность среды и скорость звука при нормальных атмосферных условиях;  $\rho$ ,  $c$  – измеренные плотность среды и скорость звука.

При нормальных атмосферных условиях  $L_I = L$ .

Оценка шума по уровню его звукового давления в дБ над пороговым уровнем справедлива лишь для принятого стандартного тона с частотой 1000 Гц. Для тонов других частот ощущение степени громкости шума и порог слышимости не совпадают при одинаковом приросте звуковой энергии со стандартным тоном, смещаясь либо в сторону повышения (пороги низких частот), либо некоторого снижения (пороги высоких частот). Это зависит от различной чувствительности слухового аппарата к различным акустическим частотам.

Ощущение громкости не совпадает также с раздражающим действием шума. На высоких частотах ощущение неприятности звука на 20...30 ед. превышает ощущение громкости.

## 6.2. Гигиеническая характеристика шума

Воздействие шума на организм может проявляться как в виде специфического поражения органа слуха, так и нарушений со стороны многих органов и систем. К настоящему времени накоплены достаточно убедительные данные, позволяющие судить о характере и особенностях влияния шумового фактора на слуховую функцию. Течение функциональных изменений может иметь различные стадии. Кратковременное понижение остроты слуха под воздействием шума с быстрым восстановлением функции после прекращения действия фактора рассматривается как проявление адаптационной защитно-приспособительной реакции слухового органа. Адаптацией к шуму принято считать случаи временного понижения слуха не более чем на 10...15 дБ с восстановлением его в течение 3 мин после прекращения действия шума. Длительное воздействие интенсивного шума может приводить к перераздражению клеток звукового анализатора и его утомлению, а затем и к стойкому снижению остроты слуха.

Степень профессиональной тугоухости зависит от производственного стажа работы в условиях шума, характера шума, длительности воздействия его в течение рабочего дня, от интенсивности и спектра. Установлено, что утомляющее и повреждающее действие шума пропорционально его частоте. Наиболее выраженные изменения наблюдаются на частоте 4000 Гц и близкой к ней области, впоследствии повышение порогов слышимости распространяется и на более широкий спектр.

Показано, что импульсный шум (при эквивалентной мощности) действует более неблагоприятно, чем непрерывный. Особенности его воздействия существенно зависят от превышения уровня импульса над среднеквадратичным уровнем, определяющим шумовой фон на рабочем месте.

В развитии профессиональной тугоухости имеют значение суммарное время воздействия шума в течение рабочего дня и наличие пауз, а также общий стаж работы. Начальные стадии профессионального поражения слуха наблюдаются у рабочих со стажем 5 лет, выраженные (поражение слуха на все частоты, нарушение восприятия шепотной и разговорной речи) – свыше 10 лет.

Помимо действия шума на орган слуха, установлено его повреждающее влияние на многие органы и системы организма, в первую очередь на центральную нервную систему, функциональные изменения в которой происходят раньше, чем диагностируется нарушение слуховой чувствительности. При умственной деятельности на фоне шума происходит снижение темпа работы, ее качества и производительности. У лиц, подвергающихся действию шума, отмечаются изменения секреторной и моторной функций желудочно-

кишечного тракта, сдвиги в обменных процессах (нарушения основного, витаминного, углеводного, белкового, жирового, солевого обменов).

Для рабочих шумовых профессий характерно нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы (гипертензивное, реже гипотоническое состояние, повышение тонуса периферических сосудов, изменения на ЭКГ и пр.).

Наличие симптомокомплекса, который заключается в сочетании профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем у лиц, работающих в условиях шума, дает веские основания рассматривать эти нарушения в состоянии здоровья как профессиональное заболевание организма в целом и включить в список профессиональных заболеваний эту нозологическую форму – шумовую болезнь.

Профессиональный неврит слухового нерва (шумовая болезнь) может встречаться чаще у рабочих различных отраслей машиностроения (в том числе судостроения и самолетостроения), текстильной промышленности, горной, металлургических отраслей промышленности и др. Случаи заболевания встречаются у лиц, работающих на ткацких станках (ткачихи), с рубильными, клепальными молотками (обрубщики, клепальщики), обслуживающих прессоштамповочное оборудование (кузнецы), у испытателей-мотористов и других профессиональных групп, длительно подвергающихся интенсивному шуму. Вероятность повреждения слуха в зависимости от стажа работы и превышения нормативного значения для постоянных рабочих мест приведена на графике (рис. 6.2).

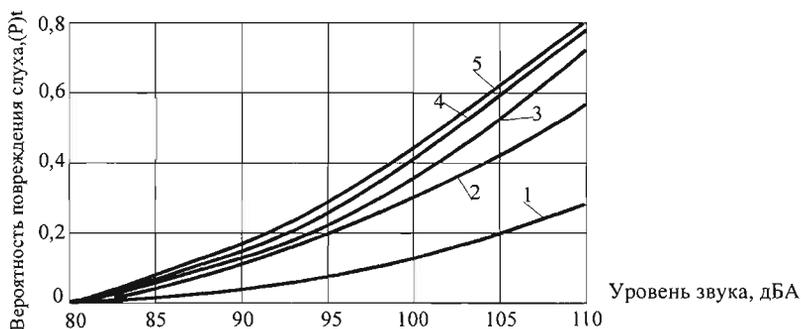


Рис. 6.2. Вероятность повреждения слуха: 1 – стаж работы 1 год; 2 – стаж работы 5 лет; 3 – стаж работы 10 лет; 4 – стаж работы 15 лет; 5 – стаж работы 25 лет

### 6.3. Гигиеническое нормирование шума

Нормирование шума ведется в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 [1], в котором определены основные характеристики производственных шумов и соответствующие им нормы шума на рабочих местах. Нормы соответствуют рекомендациям Технического комитета акустики при Международной организации по стандартизации и устанавливают допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах. Нормы предусматривают дифференцированный подход в соответствии с характером производственной деятельности в условиях шума, т. е. нормируемые уровни звукового давления имеют различные предельные спектры для разных профессиональных групп и помещений, где осуществляется различная по характеру работа (умственный труд, нервно-эмоциональное напряжение, преимущественно физический труд и т. д.). В нормах учитываются характер действующего шума (тональный, импульсный, постоянный) и время воздействия шумового фактора при расчете эквивалентных его уровней для непостоянных шумов. Кроме стандарта, действуют также санитарные нормы [9]. В этих документах характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости применения мер по шумоглушению и др.) допускается за характеристику постоянного широкополосного шума на рабочем месте принимать уровень звука в дБА, измеренный на временной характеристике «медленно» шумомера, определяемый по формуле

$$L_A = 20 \cdot \lg P_A / P_0,$$

где  $P_A$  – среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции по кривой чувствительности «А» шумомера, Па.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах являются эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА и по СН 2.2.4/2.1.8-562-96 максимальные уровни звука  $L_{A \max}$ , дБА

Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным нормам.

Основные нормированные параметры для широкополосного шума приведены в табл. 6.3 (извлечения из ГОСТ 12.1.003-83).

В санитарных нормах предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах приведены с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности и представлены в табл. 6.4.

Количественную оценку тяжести и напряженности трудового процесса рекомендуется проводить в соответствии с руководством Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

Таблица 6.3

Нормированные параметры для широкополосного шума

| Вид трудовой деятельности, рабочие места   | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА |
|--|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|  | 31,5   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |  |
| Предприятия, учреждения и организации  |  |    |     |     |     |      |      |      |      |  |
| Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность;<br>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   | 50   |

Таблица 6.4

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в 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                          | –                        | –                        | –                        |

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах для **тонального** и **импульсного** шума, измеренного шумомером на характеристике «медленно», следует принимать на 5 дБ меньше указанных в табл. 6.4 значений.

Для шума, создаваемого в помещениях установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления, допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах следует принимать на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице, или фактических уровней шума в этих помещениях, если последние не превышают значений, приведенных в табл. 6.4 (поправку для тонального и импульсного шумов в этом случае принимать не следует).

Гигиенические нормы шума СН 2.2.4/2.1.8-562-96 оценивают производственные и коммунальные шумы отдельно, не учитывая суммарной их нагрузки, что побуждает к созданию системы оценки и управления риском при действии шума с учетом видов жизнедеятельности.

В настоящее время возникает необходимость разработки методов и критериев оценки акустического загрязнения для социально-гигиенического мониторинга (СГМ) условий труда и состояния здоровья работающих.

Целесообразно оценивать шумовое загрязнение для основных видов жизнедеятельности человека (работа, отдых и сон), что возможно на основе концепции суточной дозы [4].

#### 6.4. Профилактические мероприятия

Генерация шума в производственных условиях сопутствует вибрации и, как правило, обусловлена многообразными причинами. Это создает трудности в борьбе с этим фактором и обычно требует применения комплекса мероприятий.

Проводятся мероприятия как технического [5, 6], так и медицинского характера [2, 3]. Основными из них являются:

- устранение причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования в процессе проектирования технологических процессов и конструирования оборудования;
- изоляция источника шума (вибрации) от окружающей среды средствами звуко- и виброзащиты, звуко- и вибропоглощения;
- уменьшение плотности звуковой энергии помещений, отраженной от стен и перекрытий;
- рациональная планировка помещений и цехов;
- применение средств индивидуальной защиты от шума;
- рационализация режима труда в условиях шума;
- профилактические мероприятия медицинского характера.

Наиболее рациональный путь борьбы с шумом, причиной которого является вибрация, возникающая от ударов, сил трения, механических усилий и т. п., – улучшение конструкций оборудования, т. е. борьба с шумом в источнике. Наиболее эффективная мера – изменение технологии с целью устранения удара. Рекомендуется заменять клепку пневмоинструментами на гидравлические или сварные процессы; штамповку – на прессование, ручную правку металла – на вальцовку и др.

Снижение шума и вибрации достигается заменой возвратно-поступательных движений в узлах работающих механизмов равномерно вращательными.

Эффективна (особенно для высоких тонов) роль демпфирования, при котором вибрирующая поверхность покрывается материалом с большим внутренним трением (резина, пробка, битум, войлок и др.). Основными требованиями, предъявляемыми к демпфирующим материалам, должны быть высокая эффективность, малая масса, способность прочно удерживаться на металле и предохранять его от коррозии.

Большую роль играют улучшение текущего технического состояния и содержания оборудования, генерирующего шум, а также принятие мер по ограничению параметров его шумовых характеристик в процессе создания новых образцов. Эффективность снижения шума в источнике оценивают путем из-

мерения шумовых характеристик и сравнения их значений, предоставляемых, в частности, поставщиком/производителем (ГОСТ Р 52797.1, разд. 8).

При нереальности достаточно эффективного снижения шума техническими и технологическими средствами следует осуществлять локализацию его у места возникновения путем применения звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций и материалов. Воздушные шумы ослабляются устройством на машинах специальных кожухов или размещением шумящего оборудования в помещениях с массивными стенами без щелей и отверстий. Для исключения резонансных явлений следует кожухи облицовывать материалами с большим внутренним трением.

Для локализации структурных шумов, распространяемых в твердых средах, применяются средства звуко- и виброизоляции перекрытий. Ослабление шума достигается применением под полом упругих прокладок без жесткой их связи с несущими конструкциями зданий, установкой вибрирующего оборудования на амортизаторы или специальные изолированные фундаменты. Вибрации, распространяющиеся по коммуникациям (трубопроводам, каналам), ослабляются стыковкой последних через звукопоглощающие материалы (прокладки из резины и др.). Распространение получили специальные противошумные мастики (№ 579, 580) на битумной основе, наносимые на поверхность металла.

Наряду со звукоизоляцией в производственных условиях широко применяются средства звукопоглощения. Для помещений малого объема (400...500 м<sup>3</sup>) рекомендуется общая облицовка стен и перекрытий, снижающая уровень шума на 7...8 дБ. Звукопоглощающими материалами покрываются изолирующие конструкции. Способность звукопоглощения характеризуется коэффициентом звукопоглощения (отношение звуковой энергии, поглощенной материалом, к энергии, падающей на него). Наиболее высокими коэффициентами в широком спектре частот обладают штукатурки и плиты, минеральная вата, древесно-волоконистые плиты, камышитовые маты, войлок и др. Эффект звукопоглощения увеличивается при многослойном размещении материалов с воздушными зазорами между слоями, а также перфорацией покрытий. В помещениях большого объема эффективны звукопоглощающие барьеры и объемные поглотители, подвешиваемые над шумными агрегатами. В последнем случае звукопоглощение примерно в 2 раза лучше, чем при покрытии звукопоглощающими материалами потолков и стен.

Одним из способов поглощения аэродинамических шумов (выхлоп и всасывание воздуха пневматических инструментов, компрессоров, вентиляторов и др.) является применение активных и реактивных глушителей. Выбор типа глушителя определяется уровнем и спектральным составом шума. Для глушения высокочастотных шумов наиболее целесообразны активные глушители.

ли, основанные на принципе поглощения звуковой энергии, для низкочастотных – реактивные, основанные на принципе акустического фильтра.

Ослаблению производственного шума способствуют планировочные мероприятия по взаиморасположению помещений и объектов с учетом их шумности. Шумные цехи предприятий должны быть сконцентрированы в глубине заводской территории, удалены от тихих помещений, ограждены зоной зеленых насаждений, частично поглощающих шум.

Агрегаты с наиболее интенсивными шумами (более 130 дБ) следует располагать вне территории предприятий и жилой зоны с подветренной стороны и отделять от границ населенных пунктов шумозащитной зоной. Агрегаты, создающие шум более 90 дБ, должны размещаться в изолированных помещениях, с меньшим уровнем – концентрируются в одном участке цеха. Звукоизолирующие, звукопоглощающие, планировочные мероприятия по защите от шума обосновываются специальными расчетами.

Если шумные агрегаты не могут быть звукоизолированы, для защиты персонала от прямого шумоизлучения должны применяться акустические экраны, облицованные звукопоглощающими материалами, а также звукоизолированные кабины наблюдения и дистанционного управления.

Помимо мер технологического и технического характера, широко применяются средства индивидуальной защиты – антифоны, выполненные в виде наушников или вкладышей. В РФ действует система стандартов безопасности труда, в которой существует группа стандартов (шифр 4) по средствам индивидуальной защиты, в том числе от шума, определяющих условия стандартизации, испытания и применения средств индивидуальной защиты органа слуха. В настоящее время в стране применяются десятки вариантов заглушек-вкладышей, наушников и шлемов, рассчитанных на изоляцию наружного слухового прохода от шумов различного спектрального состава. Наиболее приемлемыми, с точки зрения эксплуатации, и достаточно эффективными по защите органа слуха считаются вкладыши из смеси волокон органической бактерицидной ваты и ультратонких полимерных волокон из материала ФП («Беруши»), позволяющие снизить ощущение громкости шума на различных частотах от 15 до 31 дБА, а также антифоны (снижение до 35 дБА).

Отрицательное действие шумов может быть уменьшено путем сокращения времени контакта с ними, построения рационального режима труда и отдыха, предусматривающего кратковременные перерывы в течение рабочего дня для восстановления функции слуха в тихих помещениях, совмещение профессий (в условиях шума и вне его действия) и др.

Для профилактики профессиональных заболеваний, работающие в условиях интенсивного производственного шума, в соответствии с приказом

Министерства здравоохранения РФ при поступлении на работу подвергаются обязательным предварительным и периодическим медицинским осмотрам.

### **6.5. Физическая и гигиеническая характеристики ультразвука и инфразвука**

К ультразвуку относят колебания с частотой выше 16 000...20 000 колебаний в секунду (16...20 кГц), которые не воспринимаются человеческим ухом. Инфразвук представляет собой механические колебания, распространяющиеся в упругой среде с частотами менее 20 Гц. Инфразвуковые колебания подчиняются в основном тем же закономерностям, что и звуковые, но низкая частота колебаний придает им некоторые особенности. Инфразвук отличается от слышимых звуков значительно большей длиной волны. Распространение инфразвука в воздушной среде происходит, в отличие от шума на большие расстояния от источника вследствие малого поглощения его энергии.

Физические параметры ультразвука и инфразвука такие же, как и у звуковых волн, шума.

С увеличением частоты ультразвуковых колебаний увеличивается их поглощение средой и уменьшается глубина проникновения в ткани человека. Поглощение ультразвука сопровождается нагреванием среды.

Прохождение ультразвука в жидкости сопровождается эффектом кавитации.

Ультразвук широко применяется в различных областях техники и промышленности, в особенности для анализа и контроля: дефектоскопия, структурный анализ вещества, определение физико-химических свойств материалов и др. Ультразвук нашел широкое применение в медицине для лечения заболеваний позвоночника, суставов, периферической нервной системы, а также для выполнения хирургических операций и диагностики заболеваний.

Вследствие малой длины волны, высокочастотные ультразвуки не распространяются в воздухе, и воздействие их на работающих возможно только путем контактирования источника ультразвука (датчика) с поверхностью тела человека. Этим определяется локальное воздействие, возможное только при неисправности ультразвуковой аппаратуры.

Другой наиболее широкой областью использования ультразвука являются технологические процессы в промышленности: очистка и обезжиривание деталей, механическая обработка твердых и хрупких материалов, сварка, пайка, лужение, электролитические процессы, ускорение химических реакций и др. Для технологических нужд используются ультразвуковые колебания низкой частоты (от 18 до 30 кГц) и высокой мощности (до 6...7 Вт/см<sup>2</sup>).

Наиболее распространенными источниками ультразвука являются пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи. Основными элементами ультразвукового оборудования являются генератор и акустический преобразователь. Ультразвук распространяется от открытой поверхности преобразователя. Кроме того, в производственных условиях низкочастотный ультразвук нередко образуется при аэродинамических процессах и является спутником шума (слышимых звуков): работа реактивных двигателей, газовых турбин, мощных пневмодвигателей и др.

Низкочастотное ультразвуковое оборудование (сварочные машины, станки для сверления, ванны для очистки деталей и др.) в большинстве случаев генерирует акустический комплекс, состоящий из слышимого шума и низкочастотного ультразвука. Низкочастотный ультразвук вместе с высокочастотным шумом хорошо распространяется через воздух, но отличается от шума заметным затуханием по мере удаления от источника колебаний и неравномерной интенсивностью его в воздушном пространстве.

Акустическое давление на рабочих местах имеет очень широкий спектр и в зависимости от вида ультразвуковых установок колеблется в пределах от 80 до 120 дБ с максимумом энергии на рабочей частоте установок (например, 20, 22, 24 кГц). В слышимой области наиболее высокие уровни шума наблюдаются на частотах, близких к резонансной (рабочей частоте), и на частотах 10...11 кГц. Характер спектра и закономерности распространения ультразвука по воздуху от установок разной мощности одинаковы.

В современном производстве инфразвуковые колебания в настоящее время имеют широкое распространение. Они образуются при работе компрессоров, турбин, дизельных двигателей, электровозов, промышленных вентиляторов и других крупногабаритных машин и механизмов.

Промышленными источниками интенсивных инфразвуковых волн являются механизмы и агрегаты, имеющие поверхности больших размеров, совершающие вращательное или возвратно-поступательное движение с повторением циклов менее чем 20 раз в секунду (инфразвуки механического происхождения), и турбулентные процессы при движении больших потоков газов или жидкости (инфразвуки аэродинамического происхождения).

Многие производственные процессы сопровождаются излучением в окружающую среду интенсивных звуковых волн очень низких частот. Причиной их возникновения являются первоначальные возмущающие силы машин и механизмов. Спектры шума этих объектов имеют широкополосный характер с наибольшей звуковой энергией в области низких частот.

Мощным источником инфразвуковых волн в процессе работы компрессорных машин является воздухозаборная система. Спектры шума всасывания

имеют четко выраженный гармонический характер на низких частотах и широкополосный – на высоких.

Уровень звуковой мощности шума воздухозаборной системы прямо пропорционален мощности компрессора. Увеличение мощности компрессора вдвое повышает уровень звуковой мощности на 3 дБ. При работе компрессоров типа ВП 20/8 на рабочем месте дежурного мастера суммарный уровень звукового давления составляет 113 дБ. Уровень максимальной интенсивности находится в низкочастотном диапазоне и составляет 111 дБ, на частотах выше 50 Гц – 8, 12,5 и 20 Гц.

Во многих случаях инфразвуковые колебания являются доминирующей частью спектров шума. В турбинах интенсивность шума на инфразвуковых частотах наиболее велика.

У виброплощадок основным излучателем звуковой мощности на низких частотах являются колебания подвижной рамы и формы с бетоном. Звуковая мощность на низких частотах и частоте вибрирования пропорциональна площади излучающей поверхности, перпендикулярной направлению распространения колебаний, в значительной мере она зависит от конструкции площадки. Наименьшие уровни инфразвука и низкочастотного шума соответствуют виброплощадкам, конструкции которых близки к излучателю типа поршневой диафрагмы при отсутствии экрана.

Инфразвуковые колебания имеют место в авиационной и космической технике. Источниками инфразвука в авиации являются турбина и компрессор реактивного двигателя. Реактивные двигатели и ракеты генерируют высокие уровни инфразвукового давления с максимальной энергией в низкочастотной области спектра (в диапазоне от 1 до 100 Гц).

## **6.6. Действие ультразвука и инфразвука на организм**

Кроме общего воздействия на организм работающих через воздух, низкочастотный ультразвук оказывает локальное действие при соприкосновении с обрабатываемыми деталями и средами, в которых возбуждены колебания (ультразвуковые вибрации). В зоне наибольшего воздействия ультразвука в зависимости от вида оборудования находятся кисти рук. Оно может быть постоянным (удержание инструмента на обрабатываемой детали при лужении, пайке) или временным (погрузка деталей в ванны, сварка и т. п.).

Воздействие от мощных установок (6...7 Вт/см<sup>2</sup>) представляет собой существенную опасность, так как может приводить к поражению периферического нервного и сосудистого аппаратов в местах контакта (вегетативные полиневриты, парезы пальцев, кистей и предплечья). Контактное воздействие ультразвука чаще всего имеет место в момент загрузки и выгрузки деталей из ультразвуковых ванн.

Трехминутное погружение пальцев в воду ванны с мощностью преобразователя 1,5 кВт вызывает ощущение покалывания, иногда зуда, а спустя 5 мин после прекращения действия ультразвука отмечается ощущение холода, иногда чувство онемения пальцев, вибрационная чувствительность резко снижается, болевая чувствительность у разных лиц при этом может быть либо повышенной, либо пониженной. Кратковременный систематический контакт с озвученной средой длительностью 20...30 с и более на подобных установках уже может приводить к развитию явлений вегетативного полиневрита.

У работающих на низкочастотных ультразвуковых установках, если интенсивность шума выше установленных норм, а интенсивность ультразвука более 100...110 дБ, при систематическом воздействии ультразвука могут наблюдаться функциональные изменения со стороны центральной и периферической нервной системы, сердечно-сосудистой системы, слухового и вестибулярного анализаторов, эндокринные и гуморальные отклонения от нормы. Эти изменения имеют много общего с проявлениями воздействия высокочастотного шума, имеющего место в других производствах, однако имеется и ряд особенностей, обусловленных ультразвуком.

Прежде всего, работающие жалуются на головные боли с преимущественной локализацией в височной области, чрезмерно повышенную утомляемость. Боли появляются вскоре после начала работы и усиливаются к концу рабочего дня. Кроме того, отмечаются чувство давления в ушах, неуверенность походки, головокружение. Отдых после работы устраняет эти нарушения. Характерным синдромом является нарушение сна (сонливость днем). У части работающих наблюдаются раздражительность, гиперакузия, гиперосмия, боязнь яркого света, повышение порогов возбудимости болевого, слухового, вестибулярного и других анализаторов, реже пороги возбудимости анализаторов понижены. У работающих в условиях воздействия интенсивного ультразвука, сопровождаемого шумом, можно отметить недостаточность сосудистого тонуса (понижение артериального давления, гипотония), растормаживание кожно-сосудистых рефлексов в сочетании с яркой вазомоторной реакцией. Общецеребральные нарушения почти всегда сочетаются с явлениями умеренного вегетативного полиневрита рук (реже и ног) разной степени (пастозность, акроцианоз пальцев, термоасимметрия, расстройство чувствительности по типу перчаток или носков). При систематическом воздействии ультразвука иногда отмечаются вестибулярные нарушения, повышение температуры тела и кожи, снижение уровня сахара в крови, эозинофилия. Если наряду с интенсивным ультразвуком имеется сильный шум, то наблюдается выраженное понижение слуха.

Ультразвуковые колебания воздушной среды оказывают воздействие на центральную нервную систему и функцию других систем и органов не только

через слуховой аппарат, но и помимо него, что доказывается наличием нарушений указанных функций у глухонемых при воздействии ультразвуковых колебаний.

При комбинированном воздействии ультразвука и шума, часто наблюдаемом в производстве, не происходит усиления реакции центральной нервной, сердечно-сосудистой систем и слухового анализатора. Однако усиление действия шума и ультразвука сказывается на реакции вестибулярного анализатора, и нарушения вестибулярной функции являются более выраженными, чем при раздельном действии названных факторов.

При клиническом обследовании работающих в условиях контакта с ультразвуком было показано, что степень выраженности патологии связана с уровнем ультразвукового давления. Процент лиц с выраженной стадией ультразвуковой патологии значительно выше среди подвергающихся наиболее интенсивному воздействию низкочастотного ультразвука, достигающего 120...130 дБ; он значительно меньше при интенсивности воздействия ультразвука до 110 дБ и совсем не наблюдается у обследованных, подвергающихся воздействию ультразвука с интенсивностью 90...105 дБ. У работающих, которые, кроме воздействия ультразвука через воздух, подвергаются и выраженному контактному воздействию, симптоматика нарушений здоровья выражена больше, особенно за счет явлений вегетативного полиневрита. Степень выраженности патологических изменений зависит от интенсивности и длительности действия ультразвука; контакт с озвучиваемой средой и наличие шума в спектре также ухудшают состояние здоровья.

По сравнению с высокочастотным шумом ультразвук заметно слабее влияет на слуховую функцию, но вызывает более выраженные отклонения от нормы со стороны вестибулярной функции, болевой чувствительности и терморегуляции.

Интенсивный высокочастотный ультразвук при контакте с поверхностью тела вызывает в основном те же нарушения, что и низкочастотный.

Инфразвук влияет на весь организм человека, отражается на его здоровье и работоспособности. Данные многих исследователей свидетельствуют о высокой чувствительности организма человека к уровням колебаний с максимумом энергии в области инфразвуковых частот.

В результате длительного воздействия низкочастотных колебаний у человека развивается значительная астения, появляются слабость, утомляемость, снижается работоспособность, появляется раздражительность, нарушается сон. У некоторых лиц отмечаются нервно-вегетативные нарушения и даже появляются психические нарушения. Известно, например, что рабочие компрессорных станций предъявляют жалобы на усталость, головную боль, общее недомогание, плохой сон.

У лиц, находящихся на расстоянии 200...300 м от реактивных самолетов, появляется чувство беспричинного страха, повышается артериальное давление, наблюдаются случаи обморочного состояния. При работе реактивных двигателей возникает сотрясение грудной клетки и брюшной полости, появляется состояние, напоминающее морскую болезнь, возникают головокружение, тошнота.

Особенностью действия инфразвука является высокая специфическая чувствительность органа слуха к низкочастотным колебаниям. Описаны случаи неблагоприятного действия инфразвука (патология среднего уха) на рабочих, обслуживающих дизельные двигатели. Четко выявляется снижение слуховой чувствительности (на 10...15 дБ) на всех частотах, причем наибольшее – преимущественно на низких и средних.

Низкочастотные колебания воспринимаются, как физическая нагрузка, у человека увеличивается общий расход энергии, возникают утомление, головная боль, головокружение, вестибулярное нарушение, снижается острота зрения и слуха, изменяется ритм дыхания и сердечных сокращений, кровяное давление; могут быть нарушения периферического кровообращения, центральной нервной системы, пищеварения. Характер и выраженность изменений в организме зависят от диапазона частот, уровня звукового давления и длительности.

В производственных условиях развивающиеся изменения в организме нередко не могут быть отнесены полностью только за счет инфразвука, так как на работающего воздействуют звуковые колебания широкого спектра. Однако в экспериментальных условиях доказано, что инфразвуковые колебания вызывают выраженные изменения в организме. После воздействия инфразвука появляются головная боль, давление на барабанные перепонки, ощущение колебания внутренних органов, брюшной стенки, отдельных групп мышц (икроножных, спинных и др.), жалобы на сухость во рту, затрудненное глотание, влажность рук и резко выраженное чувство усталости. Установлены снижение слуховой чувствительности, преимущественно на низких и средних частотах, изменения в периферическом кровообращении. Обнаруженные сдвиги не были стойкими, через 25–30 мин они возвращались к исходным цифрам, однако чувство усталости сохранялось длительное время.

Инфразвуковые колебания с уровнем звукового давления до 150 дБ находятся в пределах выносливости человека при кратковременном воздействии, низкочастотные колебания с уровнем свыше 150 дБ испытываемые совершенно не переносят. Вначале появляются жалобы на головную боль, головокружение, изменение ритма сердечной деятельности, учащение дыхания, звон в ушах, снижение остроты зрения, колебания в области грудной клетки, кашель. Затем возникают чувство страха, тошнота, общая слабость, утомление.

Частоты колебаний 2...15 Гц являются особенно нежелательными из-за резонансных явлений в организме. Инфразвук с частотой 7 Гц наиболее опасен для человека, так как возможно его совпадение с альфа-ритмом биотоков мозга. При частотах от 1 до 3 Гц возможны кислородная недостаточность, нарушение ритма дыхания. При частотах от 5...9 Гц появляются болезненные ощущения в грудной клетке и в нижней части живота. В диапазоне частот от 8 до 12 Гц появляются боли в пояснице, а при более высоких частотах отмечаются болезненные симптомы в полости рта, гортани, мочевом пузыре, прямой кишке, а также в некоторых мышцах.

Таким образом, инфразвук как профессиональный фактор может воздействовать на весь организм человека и оказывает специфическое действие на орган слуха. Причиной биологического действия инфразвука служат, по-видимому, колебания, воспринимаемые как органом слуха, так и поверхностью тела.

С позиций методологии риска в медицине труда разработана классификация зон риска для здоровья человека от смертельных до очень слабых, неясных, обусловленных действием инфразвука разных параметров.

### 6.7. Гигиеническое нормирование ультразвука и инфразвука

Допустимые уровни звукового давления ультразвуковых установок следует принимать согласно ГОСТ 12.1.001-89 «Ультразвук. Общие требования безопасности» и [7], которые устанавливают: допустимые уровни звуковых и ультразвуковых колебаний, создаваемых на рабочих местах в диапазоне частот 11,2...100 кГц, условия измерения звукового и ультразвукового давления и требования к измерительной аппаратуре, требования по ограничению действия на организм работающих ультразвуковых и звуковых колебаний промышленного, медицинского и бытового назначения.

Допустимые уровни ультразвукового давления на рабочих местах не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Допустимые уровни ультразвукового давления на рабочих местах

| Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, кГц | Уровень звукового давления, дБ |
|---|--------------------------------|
| 12,5  | 80                             |
| 16  | 80 (90)                        |
| 20  | 100                            |
| 25  | 105                            |
| 31,5...100,0  | 110                            |

Допускается по согласованию с заказчиком устанавливать значение показателя, указанное в скобках (см. табл. 6.5).

Характеристикой контактного ультразвука являются пиковые значения виброскорости  $L_v$  или ее логарифмические уровни в децибелах в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31 500 кГц, определяемые по формуле

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

где  $v$  – пиковое значение виброскорости, м/с;  $v_0$  – опорное значение виброскорости, равное  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с.

Допустимые уровни виброскорости и ее пиковые значения на рабочих местах не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Допустимые уровни виброскорости и ее пиковые значения

| Среднегеометрические частоты октавных полос, кГц | Пиковые значения виброскорости, м/с | Уровни виброскорости, дБ |
|--|-------------------------------------|--------------------------|
| 8...63   | $5 \cdot 10^{-3}$                   | 100                      |
| 125...500  | $8,9 \cdot 10^{-3}$                 | 105                      |
| $1 \cdot 10^3 \dots 31,5 \cdot 10^3$             | $1,6 \cdot 10^{-2}$                 | 110                      |

Допустимые уровни контактного ультразвука следует принимать на 5 дБ ниже значений, указанных в табл. 6.6, в тех случаях, когда работающие подвергаются совместному воздействию воздушного и контактного ультразвуков.

Документом, устанавливающим нормативные параметры инфразвука, являются санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583-96 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки» [8].

Нормируемыми характеристиками постоянного инфразвука являются уровни звукового давления  $L_p$ , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц,

Нормируемыми характеристиками непостоянного инфразвука являются эквивалентные по энергии уровни звукового давления  $L_{эКВ}$  (дБ) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц и эквива-

лентный общий уровень звукового давления, измеренные по шкале шумомера «Лин», определяемые по формуле

$$L_{\text{экв}} = \frac{1}{T} \left( \sum_{i=1}^n t_i L_i \right),$$

где  $T$  – период наблюдения, ч;  $t_i$  – продолжительность действия шума с уровнем  $L_i$ ;  $n$  – общее число временных промежутков действия инфразвука;  $L_i$  – логарифмический уровень звукового давления инфразвука в  $i$ -й промежуток времени, дБ.

Эквивалентный уровень звукового давления может быть установлен при непосредственном инструментальном измерении или путем расчета по измеренному уровню и продолжительности воздействия.

В качестве дополнительной характеристики для оценки инфразвука (например, в случае тонального инфразвука) могут быть использованы уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16 и 20 Гц.

Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, дифференцированные для различных видов работ, приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах  
(извлечение из СН 2.2.4/2.1.8.562-96)

| Назначение помещений  | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |     |    |    | Общий уровень звукового давления, дБ |
|---|--|-----|----|----|--------------------------------------|
|   | 2  | 4   | 8  | 16 |                                      |
| Работы с различной степенью тяжести и напряженности трудового процесса в производственных помещениях и на территории предприятий: |  |     |    |    |                                      |
|   | • работы различной степени тяжести;  | 100 | 95 | 90 | 85                                   |
| • работы различной степени эмоционально-интеллектуальной напряженности  | 95   | 90  | 85 | 80 | 95                                   |

Для колеблющегося во времени и прерывистого инфразвука уровни звукового давления, измеренные по шкале шумомера «Лин», не должны превышать 120 дБ.

Для шумов, спектр которых охватывает инфразвуковой и слышимый диапазоны, измерение и оценка скорректированного уровня звукового давления инфразвука являются дополнительными к измерению и оценке шума в соответствии с нормативными документами [7].

### **6.8. Меры предупреждения вредного действия ультразвука и инфразвука**

В основе предупреждения вредного действия ультразвука, а также шума ультразвукового технологического оборудования лежат в первую очередь меры технологического характера: создание автоматического ультразвукового оборудования (для мойки тары, очистки деталей), а также установок с дистанционным управлением. Это позволяет почти полностью устранять контактное воздействие колебаний на работающих до безопасного минимума, сократить время пребывания работающих в условиях воздействия ультразвука и шума. Большую роль играет переход на использование маломощного оборудования. В этом случае интенсивность ультразвука и шума уменьшается на 20...40 дБ (например, при ультразвуковой очистке деталей, пайке, сверлении и др.). Переход на маломощное оборудование во многих случаях не противоречит технологическим требованиям.

Учитывая, что пороговые интенсивности шума по ряду показателей заметно ниже пороговых интенсивностей ультразвука, при проектировании ультразвуковых установок целесообразно выбирать рабочие частоты, по возможности больше удаленные от слышимого диапазона частот (не ниже 22 кГц), чтобы избежать действия выраженного высокочастотного шума.

Все ультразвуковые установки, при работе которых уровни шума и ультразвука превышают допустимые, должны быть оборудованы звукоизолирующими устройствами (кожухи, экраны) из листовой стали или дюрала, покрытого звукопоглощающими материалами. В качестве звукопоглощающих материалов рекомендуются: рубероид, техническая резина, пластмассы типа «Агат», анти-вибрит, гетинакс, покрытие противощумной мастикой ВМ. Звукоизолирующие укрытия ультразвуковых установок не должны иметь щелей и отверстий и должны быть изолированы от пола резиновыми прокладками. Электрические провода, соединяющие генератор с ультразвуковым образователем, нужно экранировать для защиты от электромагнитных волн. В тех случаях, когда шум и ультразвук не могут быть снижены до допустимых величин с помощью экранов и кожухов, установки, генерирующие колебания с общим уровнем 135 дБ, нужно размещать в кабинах со звукоизоляцией.

Чтобы исключить воздействие ультразвука при контакте с жидкими и твердыми средами, необходимо выключать ультразвуковые преобразователи при операциях, во время которых возможен контакт; необходимо применять специальный рабочий инструмент с виброизолирующей рукояткой и защиту рук резиновыми перчатками с хлопчатобумажной подкладкой. Уровни виброскорости в диапазоне частот от 8 до 2000 Гц на поверхностях ультразвуковых инструментов (паяльники, сварочные пистолеты и др.) и приспособлений для фиксации деталей не должны превышать величин, предусмотренных санитарными нормами при работе с инструментами, механизмами и оборудованием, создающими вибрации, передаваемые на руки работающих. При превышении этих уровней необходимо прибегать к демпфирующим покрытиям, снижающим вибрацию до норм.

Ультразвуковые установки, генерирующие шум и ультразвук не выше допустимых уровней, могут устанавливаться в общих помещениях без ограждений. Если шум и ультразвук от установок выше допустимых величин, то установки размещаются в изолированных помещениях. Однако если по условиям технологии ультразвуковые установки требуется размещать в общих помещениях (в поточных линиях и др.), то они должны быть отделены перегородками на всю высоту помещения. При большой высоте помещения установки ограждают в виде кабин, боксов, выгородок с целью снижения шума и ультразвука на рабочих местах до допустимых величин. Существенно снижает уровни шума и ультразвука размещение ультразвукового оборудования в звукоизолированных помещениях или кбинах с дистанционным управлением.

При необходимости кратковременного обслуживания действующего оборудования, генерирующего повышенные уровни шума и ультразвука, нужно использовать средства индивидуальной защиты – антифоны в соответствии с ГОСТом.

При работах на ультразвуковых установках с применением химических веществ принимаются меры по профилактике их вредного действия: не допускается при очистке и обезжиривании деталей применение в качестве растворителей ароматических углеводородов бензольного ряда (бензол, толуол, ксилол), а при применении хлорированных углеводородов (дихлорэтан, трихлорэтилен и др.) руководствуются действующими санитарными правилами.

При применении высокочастотного ультразвука мероприятия должны быть направлены на защиту рук работающих. При работе в жидкой среде в условиях лаборатории или при проведении подводного массажа в физиотерапевтических кабинетах контакт с жидкостью должен быть полностью исключен. При дефектоскопии работающие должны избегать прикосновения рук с пьезоэлементом дефектоскопического оборудования.

При испытании преобразователей дефектоскопов, при наладочных работах с высокочастотным оборудованием руки должны быть защищены резиновыми перчатками.

Требования к ультразвуковой характеристике оборудования определяются ГОСТ 12.1.001-89. Предприятие-изготовитель должно указывать в эксплуатационной документации производственного оборудования ультразвуковую характеристику – уровни звукового давления в третьоктавных полосах принятого диапазона частот, измеряемые в контрольных точках вокруг оборудования. В этой же документации должен быть указан режим работы, при котором должно проводиться определение характеристик ультразвука.

При определении ультразвуковой характеристики оборудования измерения необходимо проводить в контрольных точках на высоте 1,5 м от пола, на расстоянии 0,5 м от контура оборудования и не менее 2 м от отражающих поверхностей. При этом измерения следует производить не менее чем в четырех контрольных точках по контуру оборудования; при этом расстояние между точками измерения не должно превышать 1 м. В паспорт оборудования вносятся максимальная из измеренных величин.

Если в процессе создания оборудования применены все возможные средства снижения уровней звукового давления, но ультразвуковые характеристики превышают нормативы, разработчики оборудования должны создать документацию на средства локализации и планировочные мероприятия, которые позволяют снизить уровни ультразвукового давления на рабочих местах до нормативных величин.

Работающие с ультразвуковым оборудованием проходят инструктаж о характере действия ультразвука и мерах защиты и безопасного обслуживания ультразвуковых установок.

Противопоказаниями к приему на работу являются:

- хронические заболевания центральной и периферической нервных систем, невриты, полиневриты;
- невроты общие и сосудистые;
- перенесенные травмы черепа (сотрясение мозга);
- обменные и эндокринные нарушения;
- лабиринтопатия и хронические заболевания органа слуха;
- стойкое снижение слуха любой этиологии;
- гипотоническая и гипертоническая болезни.

Периодические медосмотры следует проводить 1 раз в год с участием невропатолога, терапевта, оториноларинголога; заключение о состоянии слуха при этом должно основываться на данных аудиометрии и исследовании шепотной речи; важно исследование вестибулярного аппарата. Лица с пони-

жением слуха между двумя периодическими медосмотрами на 20 дБ и более или с нарушением вестибулярного аппарата переводятся на работу вне действия ультразвука и шума.

Появление характерных жалоб на расстройство здоровья, астенического состояния или симптомов периферической сосудистой дистонии служит показанием к временному переводу на работы, не связанные с воздействием ультразвука с последующим наблюдением и общеукрепляющим лечением. По исчезновении симптомов заболевания работающие возвращаются на прежнюю работу при условии осуществления мер, направленных на снижение уровней ультразвука на рабочих местах.

Снижение интенсивности инфразвука на производстве – одна из первоочередных задач гигиены труда.

Борьба с неблагоприятным воздействием производственного инфразвука предусматривает целый комплекс мероприятий, относящихся к технической и медицинской компетенции, и должна проводиться в следующих направлениях:

- ослабление инфразвука в его источнике, устранение причин возникновения;
- изоляция инфразвука;
- поглощение инфразвука, установка глушителей;
- индивидуальные средства защиты;
- медицинская профилактика.

Уменьшение интенсивности инфразвука, генерируемого агрегатами или механизмами, представляет собой сложную техническую задачу, поэтому вопросы уменьшения интенсивности низкочастотных колебаний рационально решать на стадии проектирования. Борьба с инфразвуком должна начинаться с разработки проектного задания на строительство предприятия.

Важное место в борьбе с инфразвуком принадлежит методам и средствам строительной акустики. Большое значение имеют рациональная планировка помещений и размещение инфразвукового оборудования. Необходимо агрегаты изолировать в отдельное помещение.

Предупредительный и текущий санитарный надзор является частью большой работы по предупреждению инфразвуковой патологии. Ослабление инфразвука в самом источнике образования является наиболее радикальным средством борьбы с низкочастотными колебаниями машин и механизмов.

Для уменьшения амплитуды инфразвуковых колебаний могут быть использованы следующие способы: интерференционный, отражение звуковых волн к источнику их генерирования, поглощение звуковой энергии и некоторые другие.

Интенсивность инфразвуковых составляющих в шуме всасывания компрессоров может быть уменьшена при помощи глушителей динамического и кольцевого типов. Наибольшую эффективность в широком диапазоне частот обеспечивает динамический глушитель.

Инфразвук оказывает влияние на органы слуха и равновесия и на всю поверхность человеческого тела, поэтому необходима надежная защита как органа слуха применением противошумов, так и поверхности тела от воздействия инфразвука.

Одной из важнейших мер медицинской профилактики вредного влияния инфразвука является проведение предварительных и периодических медицинских осмотров. Особое внимание надо уделять профессиональному отбору лиц, поступающих на постоянную работу с оборудованием, генерирующим инфразвук.

Лица, подвергающиеся воздействию инфразвука, проходят предварительные и периодические медицинские осмотры

### **Контрольные вопросы к главе 6**

1. В каких отраслях промышленности встречаются шум, ультразвук и инфразвук как факторы производственной среды?
2. Какое оборудование является источником шума, ультразвука и инфразвука и каковы виброакустические характеристики этого оборудования?
3. Дайте характеристику основных параметров шума, ультразвука и инфразвука.
4. Что означают порог восприятия и порог болевого ощущения?
5. Что понимается под стандартной среднегеометрической частотой в виброакустике?
6. К чему приводит воздействие шума, ультразвука и инфразвука на организм человека?
7. Какие параметры являются нормируемыми для шума, ультразвука и инфразвука?
8. Какие методы гигиенического нормирования шума, ультразвука и инфразвука Вы знаете?
9. Какие мероприятия применяются для профилактики неблагоприятного действия шума, ультразвука и инфразвука на организм человека?
10. Как влияет частотный состав шума, ультразвука и инфразвука на эффективность инженерно-технических мероприятий по снижению их уровня?
11. Какие применяются средства индивидуальной защиты от шума, ультразвука и инфразвука и насколько они эффективны?

## Библиографический список к главе 6

1. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав России, 1997.
4. Суворов, Г. Акустическая нагрузка – это риск / Г. Суворов, Э. Денисов // Охрана труда и социальное страхование. – 2002. – № 5.
5. Борьба с шумом на производстве: справочник / под ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
6. ГОСТ Р 52797.2-2007 (ИСО 11690-2:1996). Акустика. Рекомендуемые методы проектирования малозумных рабочих мест производственных помещений. – Ч. 2. Меры и средства защиты от шума.
7. СН 2.2.4/2.1.8.583-96. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.
8. СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения.

## Глава 7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ

### 7.1. Гипогеомагнитное поле

#### 7.1.1. Геомагнитное поле Земли

Человечество на всем пути своего развития испытывало и испытывает действие геомагнитного поля (ГМП) Земли. Геомагнитное поле состоит из *главного* геомагнитного поля, источники которого находятся во внешнем электропроводящем ядре Земли, *аномального*, создаваемого намагниченными горными породами, и *внешнего* геомагнитных полей.

Вклад главного геомагнитного поля составляет более 95 %. В соответствии с общей теорией геомагнетизма Гаусса главное геомагнитное поле состоит из дипольной и недипольной части. В первом приближении теории геомагнитное поле является полем диполя, наклоненного к оси вращения Земли на угол 10–12 градусов. Аномальное поле составляет около 3 % геомагнитного поля, а внешнее, связанное с солнечно-земными взаимодействиями, – менее 1 %.

Измерения магнитного поля Земли выполняются на магнитных обсерваториях. Магнитные съемки проводятся сухопутными, водными, воздушными и спутниковыми системами. Величина магнитного поля у магнитных полюсов составляет приблизительно 55,7 А/м, на магнитном экваторе – 33,4 А/м [1].

Силовые линии и напряжённость геомагнитного поля находятся в непрерывном изменении. Изменения (вариации) геомагнитного поля имеют периоды как в сотни и тысячи лет, так и от нескольких месяцев, до долей секунд. Кроме того, имеется тенденция смещения силовых линий геомагнитного поля на запад со скоростью 0,2 градуса в год (так называемый западный дрейф). Длиннопериодные вариации с периодом от 60 до 1800 и более лет называются «вековыми». Короткопериодные вариации (с периодом меньше одного года) очень различны как по своим периодам, так и по своей природе. Источники вековых вариаций, по современным представлениям, находятся в ядре Земли, источники короткопериодных – в верхних слоях атмосферы, в ионосфере и магнитосфере. Интенсивность короткопериодных вариаций зависит от активности солнечно-земных взаимодействий.

На Земной поверхности существуют так называемые магнитные аномалии, напряженность которых существенно превышает среднее аномальное геомагнитное поле. Магнитные аномалии во многих случаях связаны с залежами полезных ископаемых. Поэтому непосредственные измерения геомагнитного поля прямо связаны с поиском полезных ископаемых как на суше, так и на дне мирового океана.

Верхние слои атмосферы характеризуются значительным содержанием заряженных частиц и носят название **ионосферы**. Ионосфера является «электрическим небом» нашей планеты. Она отражает и поглощает радиоволны. Здесь же теряется самая коротковолновая часть ультрафиолетовых лучей (с длиной волны меньше 0,099 микрона). Ионосфера состоит из положительных и отрицательных ионов. Заряженные частицы из космоса (главным образом от Солнца) «захватываются» магнитным полем Земли и образуют радиационные пояса (рис. 7.1), в которых траектории заряженных частиц как будто бы навиваются на линии магнитной индукции. Эти частицы перемещаются туда и обратно по спиралеобразным траекториям между северным и южным магнитными полюсами за доли секунды. В полярных областях некоторая часть частиц вторгается в верхние слои атмосферы, вызывая полярные сияния. Радиационные пояса Земли простираются на расстояния от 500 км до десятков земных радиусов [2].

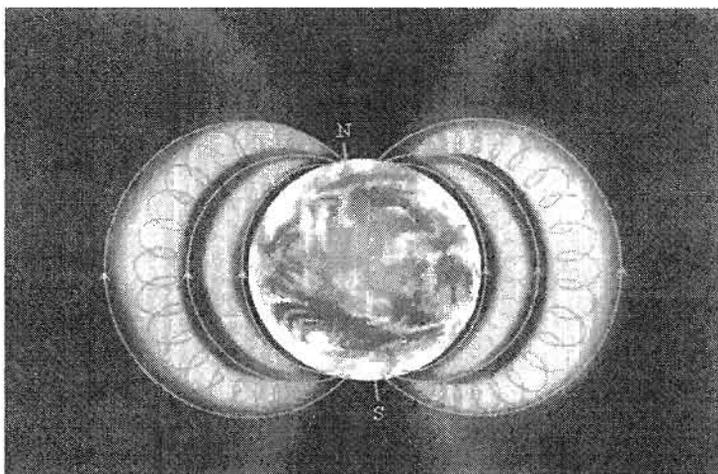


Рис. 7.1. Радиационные пояса Земли

Разность потенциалов между электрически заряженной ионосферой и Землей приводит к тому, что между ними образуются магнитное и электрическое поля с током, направленным к поверхности Земли.

### **7.1.2. Гигиеническое нормирование степени ослабления интенсивности геомагнитного поля**

Геомагнитное поле Земли, являясь естественной средой для человека, оказывает на него положительное действие. Отмечается, что в кабинах самолетов, в кораблях и подводных лодках, где оно сильно понижено экранирующим действием металлической обшивки, у людей наступает вялость,

сонливость, снижение работоспособности. То же происходит при долгом пребывании в железобетонных зданиях [2, 3].

В настоящее время в нашей стране приняты санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09 «Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях» [4], устанавливающие требования к степени ослабления геомагнитного поля на рабочих местах, расположенных:

- в экранированных помещениях (объектах) специального назначения;
- в помещениях (объектах) гражданского и военного назначения, расположенных под землей (в метро, шахтах и др.);
- в помещениях (объектах), в конструкции которых используется большое количество металлических (содержащих железо) элементов;
- в наземных, водных, подводных и воздушных передвижных технических средствах гражданского и военного назначения;
- в жилых помещениях, общественных зданиях (детских, учебных, медицинских и др.).

Оценка и нормирование уровня ослабления геомагнитного поля производится по значению коэффициента ослабления геомагнитного поля на основании измерения интенсивности геомагнитного поля внутри помещения, объекта, транспортного средства (далее – помещения) и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту его расположения. Коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля  $K_O^{ГМП}$  рассчитывается по следующим формулам:

$$K_O^{ГМП} = \frac{|\vec{B}_O|}{|\vec{B}_B|},$$

где  $|\vec{B}_O|$  – модуль вектора магнитной индукции в открытом пространстве;  $|\vec{B}_B|$  – модуль вектора магнитной индукции ГМП на рабочем месте в помещении;

$$K_O^{ГМП} = \frac{|\vec{H}_O|}{|\vec{H}_B|},$$

где  $|\vec{H}_O|$  – модуль вектора напряженности магнитного поля в открытом пространстве;  $|\vec{H}_B|$  – модуль вектора напряженности магнитного поля ГМП на рабочем месте в помещении.

Если время работы в гипогеомагнитных условиях не превышает 2-х часов за смену, то предельно допустимый уровень (ПДУ) ослабления интенсивности геомагнитного поля устанавливается равным 4 (ПДУ  $K_O^{ГМП} = 4$ ).

Если время работы в гипогеомагнитных условиях более 2-х часов за смену, то предельно допустимый уровень ослабления интенсивности геомагнитного поля устанавливается равным 2 ( $ПДУ K_O^{ГМП} = 2$ ).

В помещениях жилых и общественных зданий (жилые комнаты и кухни квартир и общежитий, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальни и игровые помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах, учебные комнаты в общеобразовательных учреждениях и учреждениях профессионального образования, палаты больниц и санаториев) предельно допустимый уровень ослабления геомагнитного поля устанавливается равным 1,5 ( $ПДУ K_O^{ГМП} = 1,5$ ).

### ***7.1.3. Контроль уровня степени ослабления геомагнитного поля и мероприятия по защите от вредного влияния гипогеомагнитных условий на здоровье человека***

***Контроль уровня*** степени ослабления геомагнитного поля должен осуществляться [4]:

- при проектировании, строительстве, приемке в эксплуатацию, реконструкции производственных объектов, жилых и общественных зданий;
- при организации новых рабочих мест;
- при аттестации рабочих мест;
- в порядке санитарно-эпидемиологического надзора;
- по жалобам и обращениям граждан и организаций.

Контроль может проводиться путем использования расчетных методов и/или проведения измерений. Для вновь создаваемых и реконструируемых объектах контроль ведется преимущественно расчетным методом, на действующих – измерением. Инструментальный контроль должен осуществляться приборами, прошедшими государственную аттестацию и имеющими свидетельство о поверке с допустимой относительной погрешностью измерения не более  $\pm 20\%$ . Не допускается проведение измерений при наличии атмосферных осадков, а также при температуре и влажности воздуха, выходящих за пределы рабочих параметров средств измерений. Результаты измерений следует оформлять в виде протокола, включающего при необходимости карту распределения уровней геомагнитных полей (или коэффициентов ослабления ГМП), совмещенной с планом размещения оборудования или помещения, где производились измерения. До начала измерения ГМП в помещениях должны быть отключены все технические средства, которые могут создавать постоянные магнитные поля. Измерения должны проводиться на расстоянии не ближе 0,5 м от железосодержащих предметов, конструкций, оборудования.

Гигиеническая оценка гипогеомагнитных условий производится на основании расчета коэффициента ослабления ( $K_{\text{О}}^{\text{ГМП}}$ ) для каждого помещения, объекта, транспортного средства и его сопоставления с гигиеническим нормативом (ПДУ) с учетом времени пребывания в этих условиях.

Измерения интенсивности ГМП в открытом пространстве, прилегающем к обследуемому объекту, должны производиться в 3-х точках, расположенных на расстоянии не менее 10 м от здания и друг от друга на уровнях 1,5 м от поверхности земли. Вычисляется среднее арифметическое значение интенсивности ГМП.

Измерения интенсивности геомагнитного поля внутри помещения на каждом рабочем месте производятся на 3 уровнях от поверхности пола с учетом рабочей позы:

0,5 м, 1,0 м и 1,2 м – при рабочей позе сидя;

0,5 м, 1,0 м и 1,7 м – при рабочей позе стоя.

Определяющим при расчете коэффициента ослабления ГМП является минимальное из всех зарегистрированных на рабочем месте значений интенсивности ГМП.

При отсутствии постоянных рабочих мест измерения интенсивности геомагнитного поля внутри помещения проводятся в нескольких точках рабочей зоны (не менее чем в 3-х) с последующим вычислением среднего арифметического значения.

Измерения интенсивности геомагнитного поля на рабочем месте в транспортном и транспортно-технологическом средстве производятся в одной точке на расстоянии 1 м от пола кабины; в жилых помещениях и общественных зданиях – на расстоянии от поверхности пола 1,0 м.

Измерения производятся с учетом площади помещения в стандартных точках и в местах наиболее длительного пребывания человека.

Количество стандартных точек измерения устанавливается в зависимости от площади помещения (S):

при  $S \leq 2 \text{ м}^2$  – одна точка в центре помещения;

при  $S > 2-10 \text{ м}^2$  – одна точка в центре помещения и в точках, расположенных на расстоянии 0,5 м от середины каждой стены;

при  $S > 10 \text{ м}^2$  – одна точка в центре помещения и в точках, расположенных на расстоянии 0,5 м от каждой стены с шагом 1 м.

**Лечебно-профилактические мероприятия** предусматривают медицинские осмотры. Персонал, выполняющий работы в условиях измененного геомагнитного поля, должен проходить предварительные и периодические профилактические медосмотры.

Лица, не достигшие 18-ти лет, и женщины в состоянии беременности допускаются к работе в гипогеомагнитных условиях в случаях, когда коэффициент ослабления ГМП на рабочих местах не превышает ПДУ, установленного для населения.

Для повышения адаптационных возможностей организма целесообразно использование комплексов психофизиологической разгрузки, производственной гимнастики и фито- и витаминoproфилактики [4].

### Контрольные вопросы к пункту 7.1

1. В каких случаях необходим контроль ослабления геомагнитного поля?
2. Какой величиной характеризуется интенсивность геомагнитного поля?
3. По какой формуле рассчитывается коэффициент ослабления геомагнитного поля?
4. Какой предельно допустимый уровень ослабления геомагнитного поля установлен на рабочих местах, если время нахождения в гипогомагнитных условиях составляет 3 ч?

### 7.2. Постоянное магнитное поле (ПМП)

ПМП создается проводниками с постоянным током, равномерно движущимися электрическими зарядами или заряженными частицами. Характеризуется напряженностью магнитного поля  $H$  (А/м). Другой часто используемой характеристикой постоянного магнитного поля является плотность магнитного потока, называемая также магнитной индукцией  $B$  (Тл). Магнитная индукция и напряженность магнитного поля связаны в вакууме соотношением  $B = \mu_0 H$ , где магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (Гн/м). Для изотропной среды, отличающейся от вакуума,  $B = \mu_0 \mu H$ , где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды. Силовые линии магнитного поля замкнуты.

Постоянные магнитные поля (МП) используются:

- *слабые* (до 0,05 Тл) – в электротехнике, радиотехнике, электронике и т. д.;
- *средние* (0,05...4 Тл) – в геологических исследованиях (магнитная разведка, основанная на различии магнитных свойств горных пород); для обработки водных систем (ускоряет коагуляцию взвесей, смачивание твердых поверхностей, адсорбцию поверхностно-активных веществ, процессы кристаллизации и растворения); в производстве алюминия, цинка и других цветных металлов (на основе явления электролиза); в транспортных средствах на магнитной подвеске; в научных исследованиях (ускорителях заряженных частиц, камере Вильсона, пузырьковой камере, трековых детекторах ионизирующих частиц, в масс-спектрометрах, при изучении действия магнитного поля на живые организмы и др.); в медицине для диагностики и лечения (в диагностических целях применяется ядерный магнитный резонанс (ЯМР));
- *сильные* (4...100 Тл) – получают с помощью сверхпроводящих соленоидов, которые находят применение при исследованиях магнитных,

электрических и оптических свойств веществ, в экспериментах по изучению плазмы, атомных ядер и элементарных частиц;

- *сверхсильные* (более 100 Тл) – используют для получения данных о свойствах веществ, изучения процессов, происходящие в недрах планет и звезд. Сверхсильные МП получают методом направленного взрыва.

### ***7.2.1. Действие постоянного магнитного поля на человека***

Воздействие ПМП на функциональное состояние и здоровье человека изучено не в полной мере. Большинство исследователей отмечает наличие следующих симптомов: повышенной раздражительности, утомляемости, расстройства сна, потери аппетита, головной боли давящего характера с локализацией в области темени, висков, лба. Боль возникает приступообразно к концу рабочего дня, а у лиц со стажем стабилизируется и появляется чувство постоянной тяжести в голове. Отмечаются жалобы на головокружение при переходе в вертикальное положение, быстром разгибании туловища с потемнением в глазах. При проведении медицинского обследования были выявлены наличие брадикардии (уменьшение числа сердечных сокращений – менее 60 ударов в минуту) или тахикардии (увеличение числа сердечных сокращений – более 90 ударов в минуту) в зависимости от индивидуальных особенностей работника, понижение кровяного давления, изменение электроэнцефалограммы состава крови, гиперемия кожных покровов кистей рук с усилением потоотделения и повышением температуры, боль и онемение пальцев рук.

Основная масса симптомов свидетельствует о функциональных расстройствах в деятельности нервной и сердечно-сосудистой систем. Стойкость и глубина вызванных постоянным магнитным полем нарушений определяются величиной напряженности ПМП, длительностью и периодичностью пребывания в нем, а также условиями (общее или локальное) воздействия поля на организм человека.

### ***7.2.2. Гигиеническое нормирование постоянного магнитного поля***

В настоящее время основным нормативным документом, устанавливающим требования к уровню постоянных магнитных полей на рабочих местах персонала являются санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03\* «Электромагнитные поля в производственных условиях» (\*с изм. на 2 марта 2009 г.) [5].

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) воздействий.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности (индукции) ПМП на рабочих местах представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

ПДУ постоянного магнитного поля

| Время воздействия за рабочий день, мин | Условия воздействия     |                             |                         |                             |
|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|  | общее                   |                             | локальное               |                             |
|  | ПДУ напряженности, кА/м | ПДУ магнитной индукции, мТл | ПДУ напряженности, кА/м | ПДУ магнитной индукции, мТл |
| 0...10                                 | 24                      | 30                          | 40                      | 50                          |
| 11...60                                | 16                      | 20                          | 24                      | 30                          |
| 61...480                               | 8                       | 10                          | 12                      | 15                          |

При выполнении работ в зонах с различной напряженностью ПМП общее время пребывания персонала в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

**7.2.3. Мероприятия по защите от вредного действия постоянного магнитного поля**

**Защита расстоянием.** Поскольку интенсивность ПМП уменьшается пропорционально квадрату расстояния до магнитной системы, защита расстоянием является одной из наиболее эффективных и надежных. Магнитные изделия и магнитные системы должны размещаться на отдельных участках или в помещениях, изолированных от других рабочих мест. Пульты управления магнитными устройствами и системами должны быть вынесены за пределы зоны, в которой напряженность ПМП превышает ПДУ.

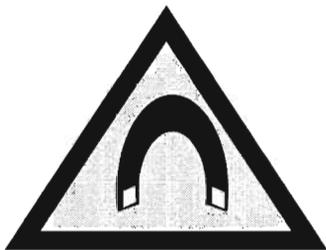


Рис. 7.2. Предупреждающий знак: «Внимание! Магнитное поле»

Расстояния до источников ПМП должны определяться по результатам измерения напряженности ПМП и соответствия их ПДУ. Участки и помещения с напряженностями ПМП, превышающими ПДУ, должны обозначаться специальным предупреждающим знаком по ГОСТ Р 12.4.026-2001 «Внимание! Магнитное поле» (рис. 7.2) [6].

**Защита временем.** В случае если интенсивность ПМП превышает ПДУ для восьмичасового пребывания (см. табл. 7.1), то защита работника может осуществляться сокращением времени пребывания в ПМП [5].

**Экранирование** источников ПМП или рабочих мест. Для защиты персонала, обслуживающего мощные электромагнитные системы, можно применять магнитостатическое экранирование отдельных рабочих мест и производственных участков. Магнитостатический режим экранирования основан на замыкании силовых линий магнитного поля в материале экрана.

Целью таких экранов является отвод магнитного потока из защищаемой области и направление этого потока по желаемому пути, где он не приносит вреда. При конструировании магнитостатических экранов используются только магнитные материалы. Большая эффективность экранов достигается не за счет увеличения их толщины, а за счет создания многослойных конструкций с чередованием магнитных и немагнитных слоев с воздушными промежутками [3].

**Компенсация** ПМП в защищаемом объеме (полная или частичная) дополнительными источниками МП, силовые линии которого противоположны по направлению силовым линиям внешнего поля. Однако задача синтеза этих дополнительных источников ПМП является довольно сложной.

**Исключение контакта** работников с ПМП осуществляется с применением средств механизации. Хранение, погрузку и перемещение монтажных изделий следует осуществлять с применением специальной тары из немагнитных материалов (дерево, пенопласт и др.) или в «ярах» – приспособлениях, полностью или частично замыкающих магнитное поле.

**Контроль уровня ПМП** проводится путем измерения значений В или Н на постоянных рабочих местах персонала или в нескольких точках рабочей зоны, расположенных на разных расстояниях от источника при всех режимах работы или только при максимальном режиме. Определяющим является наибольшее измеренное значение напряженности.

**Лечебно-профилактические мероприятия** предусматривают предварительные и периодические (1 раз в 2 года) медицинские осмотры с обязательным участием терапевта и невропатолога, а также исследованием содержания эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов в крови и записью ЭКГ.

При появлении признаков неблагоприятного действия ПМП на организм работающих рекомендуются следующие лечебные мероприятия: общеукрепляющая терапия, санаторно-курортное лечение, лечебная физкультура; при наличии сосудистых нарушений на кистях рук: вибрационный массаж, водные ванночки, препараты, уменьшающие отечность рук, витамины групп В и С и т.п. Лица с нейросенсорной полиневропатией рук подлежат временному переводу сроком на 1–1,5 месяца на работы не связанные с действием ПМП, а также прохождению курса лечения.

## Контрольные вопросы к пункту 7.2

1. Какие виды постоянного магнитного поля в зависимости от интенсивности используются в технике?
2. Какое действие оказывает постоянное магнитное поле на организм человека в целом и при локальном воздействии на конечности?
3. От каких факторов зависит ПДУ ПМП?
4. Как изменяется ПДУ ПМП с увеличением времени воздействия?
5. Если работы выполняются работником в зонах с напряженностью ПМП 25 мТл, 18 мТл и 5 мТл, каково предельно допустимое время выполнения работ?
6. Какие меры используются для защиты работников от ПМП?

### 7.3. Электромагнитное поле промышленной частоты (50 Гц)

Источниками электромагнитных полей промышленной частоты являются любые электротехнические устройства, питающиеся от сети частотой 50 Гц. Мощными источниками электрических полей промышленной частоты являются, например, линии электропередачи напряжением 220, 330, 500 кВ и выше. В качестве мощных источников магнитных полей промышленной частоты можно назвать индукционные печи, токопроводы, трансформаторы и т. д.

Поскольку облучение человека электромагнитным полем установок, питаемых током промышленной частоты, происходит в «ближней зоне» излучения\*, то принято рассматривать электрическую и магнитную составляющие поля независимо друг от друга.

#### *7.3.1. Действие электромагнитных полей промышленной частоты на здоровье человека*

*Электрическое поле промышленной частоты* может оказывать вредное воздействие на человека. Различают следующие виды воздействия:

– непосредственное воздействие, проявляющееся при пребывании в электрическом поле. Эффект этого воздействия усиливается с увеличением напряженности поля и времени пребывания в нем;

---

\* Ближняя зона излучения (зона индукции) это область пространства, в которой расстояние до источника излучения существенно меньше длины волны. В этой зоне электромагнитная волна не сформирована. При промышленной частоте (50 Гц) длина волны  $\lambda = 6000$  км и в любом удалении от источника расположена ближняя зона, а интенсивность поля оценивается напряженностями электрического и магнитного полей [3]

– воздействие электрических разрядов (импульсного тока), возникающих при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизмов на пневматическом ходу и протяженным проводникам, или при прикосновении человека, изолированного от земли, к заземленным конструкциям и другим заземленным объектам;

– воздействие тока, проходящего через человека, находящегося в контакте с изолированными от земли объектами – крупногабаритными предметами, машинами и механизмами, протяженными проводниками – тока стекания [8].

Кроме того, электрическое поле может стать причиной воспламенения или взрыва паров горючих материалов и смесей в результате возникновения электрических разрядов при соприкосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Длительное действие электрического поля промышленной частоты на организм человека субъективно выражается жалобами на головную боль в височной и затылочной частях головы, вялость, расстройство сна, снижение памяти, повышенную раздражительность, апатию, боли в области сердца, сопровождающиеся сердцебиениями и аритмией. При проведении медицинских исследований отмечены нарушения функционального состояния центральной нервной системы и сердечно-сосудистой системы, изменения в составе периферической крови [7].

**Магнитное поле (МП)** индуцирует в теле человека вихревые токи. Согласно современным представлениям индуцирование вихревых токов является основным механизмом биологического действия МП. Основным параметром, его характеризующим, является плотность вихревых токов. Биологическая эффективность МП зависит от его интенсивности и продолжительности воздействия.

МП вызывает изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем. Имеется вероятность увеличения риска развития лейкозов и злокачественных новообразований центральной нервной системы. Так, например, исследования ученых Швеции показали, что у детей до 15 лет, проживающих около линий электропередач (ЛЭП) при магнитной индукции 0,2 мкТл, вероятность заболевания лейкемией в 2,7 раза выше, чем в контрольной группе детей, проживающих вдали от ЛЭП, и в 3,8 раза выше, если индукция превышает 0,3 мкТл, т.е. составляет около 0,24 А/м. В настоящее время в Швеции индукция 0,2 мкТл принята как обязательная при строительстве новых зданий, в которых могут находиться дети, в том числе и для жилых помещений [7].

### **7.3.2. Нормирование интенсивности электрического и магнитного полей промышленной частоты**

Список нормативных документов, регламентирующих требования к уровням электрических (ЭП) и магнитных (МП) полей промышленной частоты приведен в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Нормативные документы по электромагнитным полям  
промышленной частоты

| №<br>п/п                                     | Обозначение   | Наименование   |
|--|---|--|
| <i>Государственные стандарты РФ</i>          |   |  |
| 1  | ГОСТ 12.1.002-84<br>ССБТ  | Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах            |
| <i>Межотраслевые правила по охране труда</i> |   |  |
| 2  | ПОТ РМ-016-2001,<br>РД 153-34.0150-00                                 | Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок)   |
| <i>Санитарные нормы и правила</i>            |   |  |
| 3  | СанПиН 2.2.4.1191-03<br>(утв. 30.01.2003 с изменениями на 02.03.2009) | Электромагнитные поля в производственных условиях  |
| 4  | СанПиН № 2971-84<br>(утв. 23.02.1984)                                 | Санитарные нормы и правила «Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого ВЛЭП переменного тока промышленной частоты |
| 5  | СанПиН 2.1.2.1002-00<br>(утв. 15.12.2000 с изменением № 1)            | Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям   |
| 6  | ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07<br>(утв. 21.08.2007)                           | Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях           |

Для работников, обслуживающих электроустановки, согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 [5]:

- пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня;

• допустимое время пребывания (ч) в ЭП напряженностью от 5 до 20 кВ/м включительно вычисляют по формуле

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где  $E$  – напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

• при напряженности ЭП от 20 и до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин;

• предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м, пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

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

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП вычисляют по формуле

$$T_{\text{пр}} = 8 \cdot \left( \frac{t_{E_1}}{T_{E_1}} + \frac{t_{E_2}}{T_{E_2}} + \dots + \frac{t_{E_n}}{T_{E_n}} \right),$$

где  $T_{\text{пр}}$  – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;  $t_{E_1}, t_{E_2}, \dots, t_{E_n}$  – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , ч;  $T_{E_1}, T_{E_2}, \dots, T_{E_n}$  – предельно допустимое время пребывания в зонах с напряженностью  $E_1, E_2, \dots, E_n$ .

Приведенное время не должно превышать 8 ч [5, 9, 10].

В основу нормирования уровня МП положено допустимое значение плотности вихревого тока в организме человека (с разными коэффициентами запаса).

Для персонала, обслуживающего электроустановки, допустимая напряженность  $H$  или индукция  $B$  магнитного поля устанавливается отдельно для условий общего (все тело) и локального (на конечности) воздействия в зависимости от продолжительности пребывания в магнитном поле. Допустимые уровни магнитного поля приведены в табл. 7.3.

Допустимые уровни магнитного поля внутри временных интервалов определяются интерполяцией (рис. 7.3) [5, 10].

Таблица 7.3

## Допустимые уровни магнитного поля

| Время пребывания,<br>ч | Допустимые уровни магнитного поля<br>H (А/м)/В (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  |

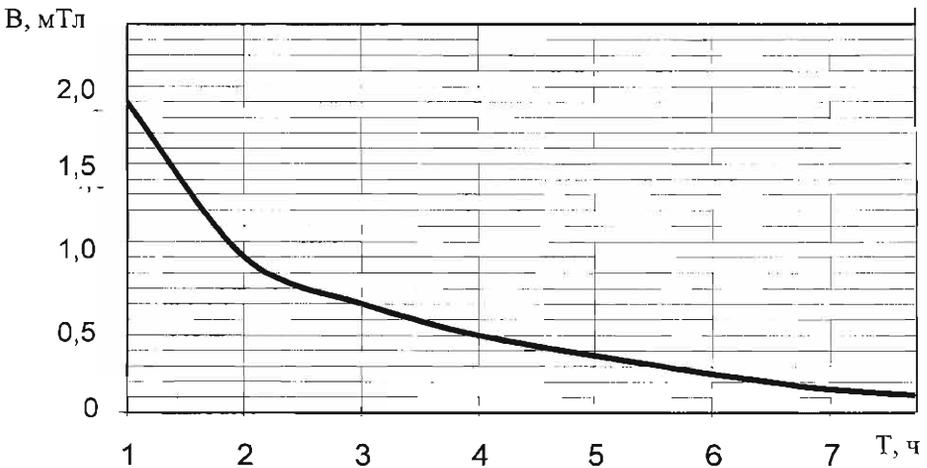


Рис. 7.3. ПДУ производственных воздействий МП промышленной частоты в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего воздействия

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью магнитного поля общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

Допустимое время пребывания персонала в магнитном поле может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня. При изменении режима труда и отдыха (сменная работа) предельно допустимый уровень не должен превышать установленный для 8-часового рабочего дня.

Для условий воздействия импульсных магнитных полей 50 Гц предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности поля

$H_{\text{пду}}$  дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену  $T$  и характеристики импульсных режимов генерации.

Для населения в СанПиН № 2971-84 [8] и СанПиН 2.1.2.1002-00 [11] установлены предельно допустимые уровни электрического поля промышленной частоты, величины которых приведены в табл. 7.4. Термин «население» включает лиц, проживающих, работающих или временно находящихся вблизи воздушных линий (ВЛ), в том числе работников сельскохозяйственных предприятий, автохозяйств и других организаций, проводящих работы вблизи ВЛ.

Таблица 7.4

Допустимые уровни воздействия ЭП частотой 50 Гц на население

| № п/п | Тип воздействия, территория   | Интенсивность ЭП частотой 50 Гц, кВ/м |
|-------|---|---------------------------------------|
| 1     | Внутри жилых зданий (на расстоянии от 0,2 м от стен и окон и на высоте 0,5–1,8 м от пола)   | 0,5                                   |
| 2     | На территории зоны жилой застройки  | 1,0                                   |
| 3     | В населенной местности вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов | 5,0                                   |
| 4     | На участках пересечения воздушных линий электропередачи с автомобильными дорогами I–IV категорий  | 10,0                                  |
| 5     | В ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья)  | 15,0                                  |
| 6     | В труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения   | 20,0                                  |

Согласно ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 [12] для населения установлены следующие предельно допустимые уровни интенсивности магнитного поля частотой 50 Гц (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Гигиенические нормативы (предельно допустимые уровни)  
магнитных полей частотой 50 Гц

| № п/п | Тип воздействия, территория   | Интенсивность МП частотой 50 Гц (действующие значения), мкТл (А/м) |
|-------|---|--|
| 1     | В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждениях  | 5 (4)  |
| 2     | В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на селитебной территории, в том числе на территории садовых участков  | 10 (8)   |
| 3     | В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохождения воздушных и кабельных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок | 20 (16)  |
| 4     | В ненаселенной и труднодоступной местности с эпизодическим пребыванием людей  | 100 (80)   |

**Контроль уровней электрического и магнитного полей на рабочих местах [5] персонала должен проводиться:**

- при приемке в эксплуатацию новых и расширении действующих электроустановок;
- при оборудовании помещений для постоянного или временного пребывания персонала, находящихся вблизи электроустановок (только для магнитного поля);
- при аттестации рабочих мест.

Уровни электрического и магнитного полей должны определяться во всей зоне, где может находиться персонал в процессе выполнения работ, на маршрутах следования к рабочим местам и осмотра оборудования.

Измерения напряженности электрического поля должны производиться:

- а) при работах без подъема на оборудование и конструкции – на высоте 1,8 м от поверхности земли, плит кабельного канала (лотка), площадки обслуживания оборудования или пола помещения;

б) при работах с подъемом на оборудование и конструкции – на высоте 0,5, 1,0 и 1,8 м от пола площадки рабочего места (например, пола люльки подъемника) и на расстоянии 0,5 м от заземленных токоведущих частей оборудования.

Измерения напряженности (индукции) магнитного поля должны производиться на высотах 0,5, 1,0 и 1,8 м от пола площадки рабочего места, земли, пола помещения, настила переходных мостиков и т.п., а при нахождении источника магнитного поля под рабочим местом – дополнительно на уровне пола площадки рабочего места.

Измерения напряженности (индукции) магнитного поля должны проводиться при максимальном рабочем токе электроустановки или измеренные значения должны пересчитываться на максимальный рабочий ток  $I_{\max}$  путем умножения измеренных значений на отношение  $I_{\max}/I$ , где  $I$  – ток в источнике магнитного поля в момент измерения.

Напряженность (индукция) магнитного поля измеряется в производственных помещениях с постоянным пребыванием персонала, расположенных на расстоянии менее 20 м от токоведущих частей электроустановок, в том числе отделенных от них стеной.

Электрическое поле промышленной частоты 50 Гц в жилых помещениях [11] оцениваются при полностью отключенных изделиях бытовой техники включая устройства местного освещения. Уровень электрического поля измеряется на расстоянии от 0,2 м от стен и окон и на высоте 0,5–1,8 м от пола.

Измерения напряженности (индукция) МП промышленной частоты 50 Гц внутри помещений [11, 12] проводятся на минимальном расстоянии от стен, окон и пола (согласно паспорту средства измерения), а также на высоте 0,5–1,5 м от пола при полностью отключенных изделиях бытовой техники, включая устройства местного освещения, и полностью включенном освещении.

Напряженность электрического поля промышленной частоты 50 Гц на территории жилой застройки от воздушных линий электропередачи переменного тока и других объектов измеряется на высоте 1,8 м от поверхности земли [8].

Напряженность (индукция) МП промышленной частоты 50 Гц вне зданий измеряется на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м от поверхности земли [12].

### ***7.3.3. Средства защиты персонала, работающего в зоне действия электромагнитных полей частотой 50 Гц***

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 [5] защита работающих от неблагоприятного воздействия электрических полей должна обеспечиваться выполне-

нием организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

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

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

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

К **экранирующим** средствам защиты, применяемым при эксплуатации электроустановок сверхвысокого напряжения, относятся экранирующие навесы, козырьки, перегородки, переносные экранирующие устройства [13], экранирующие комплекты (костюмы) [14, 15].

Отметим, что защитные свойства экранирующих устройств основаны на эффекте ослабления напряженности и искажении электрического поля в пространстве вблизи заземленного электрического предмета (рис. 7.4).

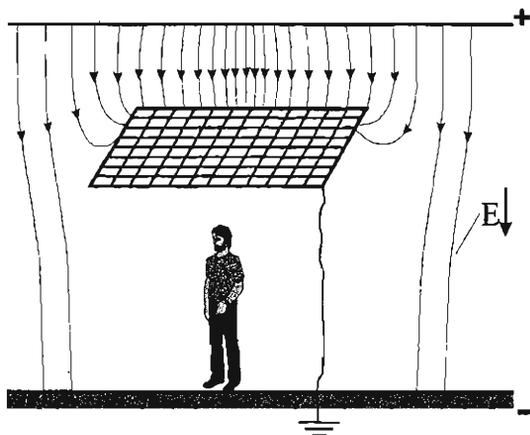


Рис. 7.4. Принцип действия экранирующего навеса

Экранирующие навесы являются одним из эффективных средств защиты персонала, занятого работой на ОРУ. Они выполняются в виде параллельных проводов, натянутых над проходами между высоковольтным оборудованием либо над пешеходными дорожками (рис. 7.5).

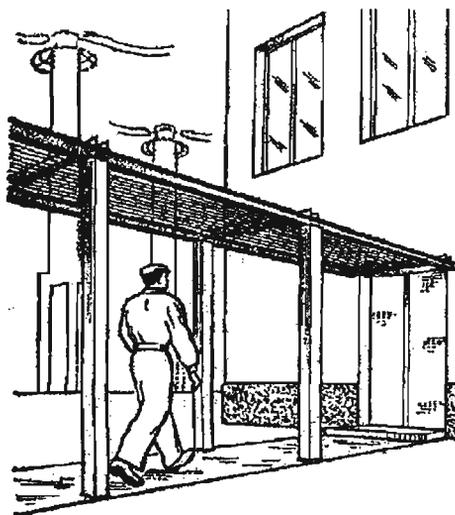


Рис. 7.5. Экранирующий навес над проходом в здании

Навесы изготавливаются из стальных прутков либо из отрезков стального троса или провода диаметром 5...8 мм, которые натягивают параллельно друг другу при расстоянии между ними 10...20 см. Навесы целесообразно устанавливать на уровне 2,3...2,5 м над землей над проходами и участками ОРУ, с которых производят осмотр оборудования. При этом необходимо, чтобы расстояние от головы человека до навеса было не менее 30 см. Ширина навеса должна быть не менее 1,5 м, а длина – зависит от размеров защищаемого участка.

Экранирующие козырьки изготавливают из металлической сетки с ячейками не крупнее 50 x 50 мм, укрепляемой на раме из угловой стали. Устанавливают их над рабочими местами, с которых производятся работы по управлению и обслуживанию: у агрегатных шкафов и шкафов управления воздушных выключателей, приводов разъединителей и других устройств и аппаратов, требующих периодического обслуживания. Ширина козырька должна быть не меньше объекта обслуживания, а длина его выступающей части – не менее 1 м. Целесообразно устанавливать козырек на высоте 2,5 м над землей.

Экранирующие перегородки устанавливаются вертикально и точно посередине между соседними ячейками воздушных выключателей. Они изготавливаются из металлической сетки или стальных прутков, смонтированных на стальной раме соответствующих размеров, и крепятся на специальных опорах с оттяжками. При этом нижняя грань перегородки должна находиться над поверхностью земли на высоте 2...3 м, чтобы не мешать прохождению людей и проезду машин. Длина и высота перегородки должны быть, по крайней мере, равны длине и высоте воздушного выключателя с учетом всех его токоведущих частей. Переносные экранирующие устройства (временные устройства) предназначены для защиты персонала, выполняющего в течение длительного времени какие-либо работы на участках действующей электроустановки, не защищенных стационарными экранами. На рис. 7.6 приведены примеры использования временных устройств.

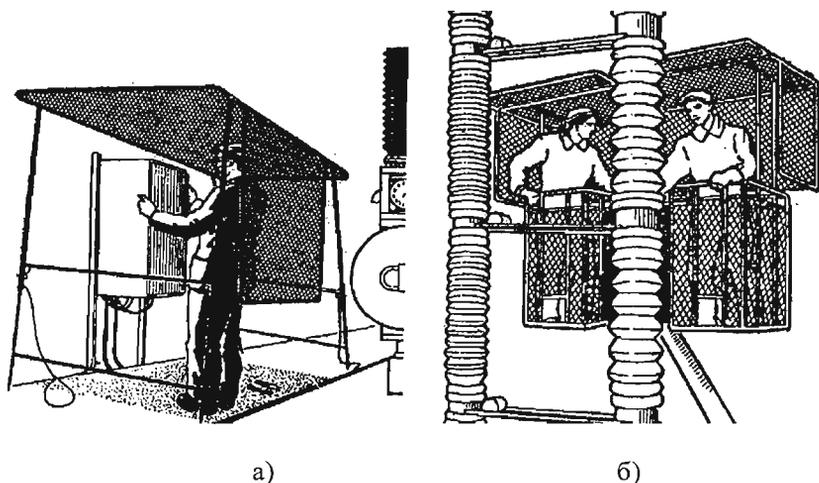


Рис. 7.6. Временные экранирующие устройства: а) временный (переносной) экранирующий козырек; б) экранирование люлек с помощью сетчатых щитов

При пересечении воздушными линиями (ВЛ) 500 кВ транспортных путей на участке пересечения используется тросовое экранирование. В этом случае для снижения электрического влияния ВЛ на переездах и в местах прохода людей могут быть использованы экранирующие заземленные тросы.

Конструктивно экраны целесообразно выполнять в виде расщепленных в горизонтальной плоскости проводов, подвешиваемых под каждой фазой ВЛ.

Разработка экранирующих костюмов была начата еще во второй половине 60-х годов XX века. Экранирующие комплекты предназначены для

индивидуальной защиты персонала при проведении различных видов работ по обслуживанию электроустановок в зоне действия электрического поля (рис. 7.7) [15].



Рис. 7.7. Комплект экранирующий

Индивидуальные экранирующие комплекты (комплекты) в зависимости от назначения подразделяются [14]:

- для работ на потенциале земли в ОРУ и ВЛ напряжением 330...1150 кВ при напряженности электрического поля не более 60 кВ/м;
- для работ на потенциале проводов (с непосредственным касанием проводов, находящихся под напряжением) ВЛ напряжением 110...1150 кВ.

Все комплекты применяются с каской общего назначения и электропроводящим накусником.

Экранирующий комплект создает замкнутое экранированное пространство вокруг тела человека (индивидуальную клетку Фарадея), исключаящее проникновение электрического поля внутрь экранированного пространства. Кроме того, обладая высокой проводимостью, он шунтирует тело человека, что обеспечивает стекание в землю, минуя пользователя, тока смещения, импульсных токов и тока, возникающего при касании частей, находящихся под наведенным напряжением.

Все составные части комплекта выполняются из электропроводящих материалов и имеют контактные выводы, выполненные из электропроводящего материала (электропроводящей ткани, металлического проводника,

металлических кнопок), для гальванического соединения частей комплекта между собой (рис. 7.8).

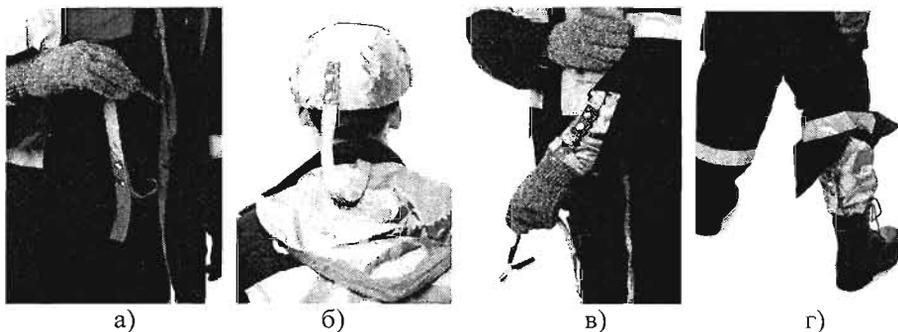


Рис. 7.8. Гальваническое соединение частей экранирующего комплекта: а – соединение куртки и полукомбинезоне между собой; б – присоединение наkasника к куртке; в – присоединение рукавиц к рукаву куртки; г – присоединение экранирующей обуви к полукомбинезону

Схема электрических (гальванических) соединений включает каналы повышенной проводимости, сборные шины и электропроводящие контактные выводы (ЭПКВ). Контактные соединения обеспечиваются металлическими полукольцами и кнопками. Указанное построение гальванических соединений обеспечивает надежное прохождение тока смещения и импульсного тока, минуя тело человека, даже при снижении электрической проводимости комплекта в процессе эксплуатации.

Куртка, полукомбинезон, наkasник и ботинки выполнены с использованием экранирующей ткани. Экранирующая ткань прочная. Разрывы этой ткани, которые могут произойти в процессе эксплуатации, не лишают комплект защитных свойств, так как частота электрического поля (50 Гц) мала. Кроме того, обеспечивается высокая ремонтпригодность. Сшивание разорванных участков экранирующей ткани восстанавливает защитные свойства изделия.

Заземление экранирующих комплектов производится с помощью электропроводящей подошвы экранирующей обуви или заземляющих проводников, которые входят в экранирующий комплект.

Для защиты персонала в холодный период разработаны специальные зимние варианты экранирующих комплектов, которые включают утепленные экранирующие куртку и полукомбинезон, утепленные экранирующие ботинки и утепляющие рукавицы помимо экранирующих перчаток и наkasника [15].

Спецобувь представляет собой ботинки на электропроводящей подошве с кожаным верхом и межподкладкой из электропроводящей ткани.

В верхней части верха ботинка и язычка нашиты накладки из экранирующей ткани, гальванически соединенные с межподкладкой. Эти полоски обеспечивают гальваническое соединение с межподкладкой ботинок и полукombineзона с ботинками. Для повышения надежности указанного соединения ботинки снабжены ЭПКВ с полукольцами и полукнопками. Их следует пропускать через полукольца на штанинах полукombineзона и застегивать на кнопку (см. рис. 7.8, г).

Экранирующие перчатки выполнены из комплексной пряжи, включающей посеребренную мишурную нить, шунтированную карбонизированной нитью и высокопрочную кевларовую нить, обеспечивающую износостойкость перчаток. Верх перчатки в виде манжета выполнен целиком из хлопчатобумажной пряжи с вплетением мишурной нити для обеспечения гальванического соединения перчаток с рукавами куртки. Для повышения надежности указанного соединения перчатки снабжены ЭПКВ, которые необходимо пропускать через полукольца на рукавах куртки, и застегивать на кнопки [15].

Для снижения напряженности вдоль линий электропередачи напряжением 500 кВ рекомендуются зеленые насаждения. Расчеты и исследования показывают, что наличие растительности высотой 2,5...4 м ограничивает напряженность поля под линиями переменного тока до уровней, обеспечивающих допустимые условия для людей и животных. Однако выбор типа насаждений необходимо решать со специалистами [16, 17].

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

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

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

Дополнительные меры безопасности при работе в зоне влияния электрического и магнитного полей должны быть отражены в строке «отдельные указания» наряда-допуска для работы в электроустановках [5].

#### ***7.3.4. Средства защиты населения, проживающего или работающего вблизи источников электромагнитных полей частотой 50 Гц***

Для защиты населения от воздействия электрического поля воздушных линий электропередачи устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ). Санитарно-защитной зоной воздушной линии электропередачи является

территория вдоль трассы ВЛ, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м [8].

В пределах СЗЗ запрещается:

- размещение жилых и общественных зданий и сооружений, площадок для стоянки и остановки всех видов транспорта, предприятий по обслуживанию автомобилей и складов нефти и нефтепродуктов;
- производить операции с горючим, выполнять ремонт машин и механизмов.

В местах возможного пребывания человека напряженность электрического поля может быть уменьшена путем:

- удаления жилой застройки от линий электропередачи;
- применения экранирующих устройств и других средств снижения напряженности электрического поля.

Сельскохозяйственные угодья, находящиеся в СЗЗ воздушных линий электропередачи, рекомендуется использовать под выращивание сельскохозяйственных культур, не требующих ручной обработки.

Машины и механизмы на пневматическом ходу, находящиеся в санитарно-защитных зонах линий электропередачи, должны быть заземлены. В качестве заземлителя допускается использовать металлическую цепь, соединенную с рамой или кузовом и касающуюся земли.

Машины и механизмы без крытых металлических кабин, применяемые при сельскохозяйственных работах в СЗЗ линии электропередачи напряжением 750 кВ и выше, должны быть оснащены экранами для снижения напряженности электрического поля на рабочих местах механизаторов.

Металлические кровли зданий, оказавшихся в СЗЗ воздушных линий электропередачи напряжением 330–500 кВ, должны быть заземлены не менее чем в двух местах. Сопротивление заземления не нормируется.

Напряженность электрического поля в зданиях, расположенных в СЗЗ линии электропередачи напряжением 330–500 кВ и имеющих неметаллическую кровлю может быть снижена путем установки заземленной металлической сетки на крыше этих зданий. Напряженность электрического поля на открытых территориях, расположенных в этих зонах, может быть снижена путем установки экранирующих перегородок (железобетонных заборов, тросовых экранирующих устройств) или посадкой деревьев и кустарника высотой не менее 2 м.

Шпалерную проволоку для подвески винограда, хмеля и т.п., находящуюся в санитарно-защитных зонах линий электропередачи, рекомендуется располагать перпендикулярно к оси ВЛ. Каждый проводник должен быть заземлен не менее чем в трех точках. Сопротивление заземления не нормируется.

При проведении строительно-монтажных работ в СЗЗ линий электропередачи необходимо заземлять протяженные металлические объекты

(трубопроводы, кабели, провода линий связи и пр.) не менее чем в двух точках, а также на месте производства работ. Сопротивление заземления не нормируется.

В местах пересечения автодорог с воздушными линиями электропередачи должны устанавливаться дорожные знаки, запрещающие остановку транспорта в СЗЗ этих линий.

Обеспечение защиты населения от неблагоприятного влияния магнитного поля частотой 50 Гц достигается:

- удалением источников МП от мест проживания;
- разработкой специальных инженерно-технических решений, позволяющих снизить уровни МП от уже имеющихся источников до значений ПДУ.

Снижение уровней МП частотой 50 Гц локальных источников может обеспечиваться применением экранов, изготовленных из материалов с высокой магнитной проницаемостью, либо применением средств активной компенсации МП частотой 50 Гц.

Снижение уровней МП частотой 50 Гц внутри зданий от источников, вызванных наличием токов утечки и несбалансированных токов в кабельных линиях и металлоконструкциях здания, включая системы трубопроводов, обеспечивается путем устранения токов утечки и дисбаланса токов.

Снижение уровней МП частотой 50 Гц на селитебных территориях и внутри жилых и общественных зданий от протяженных источников (включая воздушные и кабельные линии электропередачи) обеспечивается посредством применения контурных экранов, либо путем оптимального расположения источников МП.

Владельцы источников МП частотой 50 Гц, зданий и территорий, где расположены эти источники, должны проходить обучение по вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологических требований электромагнитной безопасности работающих и населения [8].

### **Контрольные вопросы к пункту 7.3**

Назовите основные источники электромагнитного поля промышленной частоты.

Какое действие оказывает на организм человека магнитное поле промышленной частоты?

Какое действие оказывает на организм человека электрическое поле промышленной частоты?

Определите предельно допустимое время пребывания работников в зонах с напряженностью 2,5 кВ/м, 14 кВ/м, 22,5 кВ/м, 30 кВ/м, 50 кВ/м.

По какой формуле определяют время пребывания персонала в зонах с различной напряженностью в течение рабочего дня?

Определите предельно допустимое время пребывания работников в зонах с напряженностью 0,4 мТл, 0,7 мТл, 1,0 мТл, 1,5 мТл.

Если работы выполняются работником в зонах с напряженностью ПМП 0,8 мТл, 1,2 мТл и 2,0 мТл, каково предельно допустимое время выполнения работ?

Какие меры используются для защиты персонала от электрического поля промышленной частоты?

Какие меры используются для защиты персонала от магнитного поля промышленной частоты?

10. В каком документе указываются дополнительные меры безопасности при ведении работ в зоне влияния электрического и магнитного полей промышленной частоты?

#### **7.4. Электромагнитное поле радиочастотного диапазона**

Радиочастотный диапазон составляют частоты от 3 кГц до 6000 ГГц.

Источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) являются:

- радиостанции низкочастотного (НЧ) (130...285 кГц), средневолнового (СВ) (415...1606 кГц), коротковолнового (КВ) (3,95...26,1 МГц) и ультракоротковолнового диапазонов (УКВ, FM) (87,5...108 МГц);
- телевизионные передатчики (47...68 МГц, 174...239 МГц, 470...890 МГц);
- индивидуальные и мобильные средства связи, в том числе ручные телефоны и телефоны, установленные в автомобилях, системы мобильной радиосвязи и системы спутниковой связи;
- системы охраны и радиолокационные системы службы слежения авиатранспорта (9...35 ГГц);
- установки СВЧ-нагрева (2,45 ГГц);
- медицинское диагностическое и терапевтическое оборудование;
- видеодисплейные терминалы и персональные компьютеры.

##### ***7.4.1. Действие электромагнитных полей радиочастотного диапазона на организм человека***

Электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) обладают выраженным биологическим действием, характер которого зависит от интенсивности ЭМП, времени облучения, частоты и характера электромагнитного сигнала, с одной стороны, и состава тканей (в частности, содержание в ней воды), формы организма, подвергающегося облучению с другой стороны. Могут вызывать существенные изменения в состоянии

практически всех систем организма человека как обратимые, так и достаточно стойкие.

При воздействии электромагнитных излучений сверхвысокочастотного диапазона в биологических тканях возникают эффекты, которые можно разделить на тепловые, наблюдаемые при мощных потоках СВЧ-излучений, и нетепловые, происходящие при малых уровнях мощности излучения [7].

Поглощение в тканях организма энергии электромагнитного излучения вызывает повышение температуры ткани. Связано это с тем, что электромагнитные колебания могут приводить в движение молекулы организма: свободные заряды, ионы начинают колебаться, а дипольные молекулы вращаться с частотой приложенного поля. Движение ионов и молекул сопровождается трением, а в результате трения выделяется тепло. Организм разогревается изнутри, при этом температурные датчики – рецепторы кожи не могут предупредить о нагреве, так как находятся в поверхностных кожных слоях. Тепловой обмен организма с окружающей средой происходит при помощи механизма терморегуляции. Если механизм терморегуляции способен рассеянием избыточного тепла предупредить перегрев, то температура организма остается нормальной, если нет, происходит повышение температуры, которое приводит к нарушению деятельности организма.

Все биологические ткани по своим свойствам делятся на ткани с высоким содержанием воды (мышцы, кожа), с низким (жировая, костная ткани) и промежуточные (ткани головного и костного мозга, легких). Эти ткани отличаются составом ионов и полярных молекул. При одинаковых значениях напряженности поля коэффициент поглощения в тканях с высоким содержанием воды примерно в 60 раз больше, чем в тканях с низким содержанием. В результате отражения электромагнитных волн, падающих на организм, на границе раздела тканей с высоким и низким содержанием воды могут образовываться стоячие волны. А они, в свою очередь, обуславливают возникновение так называемых «горячих пятен». Следствием этого эффекта является местное воспаление или даже разрушение (ожог) кожи и расположенной под ней ткани. Эти ожоги имеют, как правило, большую глубину (ожоги четвертой степени) [7].

Наиболее подвержены перегреву ткани с плохой циркуляцией крови и недостаточной терморегуляцией: глаза, желчный пузырь, участки желудочно-кишечного тракта, семенники. Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте), причем развитие катаракты является одним из немногих специфических поражений, вызываемых электромагнитным полем радиочастотного диапазона.

Взаимодействие ЭМП со средой человеческого организма не ограничивается тепловыми эффектами, так как воздействие электромагнитного из-

лучения проявляется и при сверхмалых интенсивностях, когда нагрев тканей не является определяющим или вообще становится невозможным.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий длительного воздействия СВЧ поля «нетепловой» интенсивности на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы. ЭМП преимущественно тормозит текущую нервную деятельность, что проявляется в ухудшении запоминания, сложности понимания нового, бессоннице, депрессии, головных болях, нарушении чувства равновесия, дезориентации в пространстве, головокружении и т. д.).

Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы выражаются в нестабильности пульса и артериального давления, склонности к гипотонии, появлении болей в области сердца и др.

ЭМП могут выступать в качестве аллергена или пускового фактора в развитии сенсibilизации: у больных аллергией при контакте с ЭМП могут развиваться тяжелые аллергические реакции.

Нарушения половой функции при контакте с ЭМП обычно связывают с изменением ее регуляции со стороны нервной и нейроэндокринной систем. Воздействие на половую систему проявляется в снижении функции сперматогенеза, нарушении коэффициента рождаемости мальчиков и девочек, изменении менструального цикла, замедлении эмбрионального развития (чувствительность эмбриона к ЭМП значительно выше, чем у материнского организма), врожденных уродств у новорожденных детей и уменьшении лактации у кормящих матерей.

Описанные расстройства могут быть довольно стойкими и наблюдаются после прекращения контакта работающего с ЭМП в течение 1–2 месяцев, а в ряде случаев требуют госпитализации и перевода людей на работы, не связанные с ЭМП.

Следует принимать также во внимание возможность возникновения так называемых резонансных эффектов при воздействии на биообъекты, в том числе и на человека, модулированного электромагнитного поля. Особенно неприятным является тот случай, когда частота модуляции составляет 6...16 Гц, что соответствует биоритмам мозга человека, которые по интенсивности превышают другие ритмы электрической активности мозга здорового человека [7].

#### ***7.4.2. Нормирование электромагнитных полей радиочастотного диапазона***

Перечень нормативных документов в области электромагнитных полей различных частот приведен в табл. 7.6.

Нормативные документы по электромагнитным полям  
радиочастотного диапазона

| № п/п                               | Обозначение   | Наименование   |
|-------------------------------------|---|--|
| <i>Государственные стандарты РФ</i> |   |  |
| 1                                   | ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ<br>(утв. в ноябре 1987, с изм. № 1)             | Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля  |
| <i>Санитарные правила и нормы</i>   |   |  |
| 2                                   | СанПиН 2.2.4.1191-03<br>(утв. 30.01.2003, с изм. на 02.03.2009)       | Электромагнитные поля в производственных условиях  |
| 3                                   | СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03<br>(утв. 13.03.2003)                       | Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи   |
| 5                                   | СанПиН 2.2.4.1329-03<br>(утв. 27.05.2003)                             | Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей  |
| 6                                   | СанПиН 2.5.2/2.2.4.1989-06<br>(утв. 06.03.2006)                       | Электромагнитные поля на плавательных средствах и морских сооружениях  |
| 7                                   | СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03<br>(с изм. на 19.12.2007)                  | Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов  |
| 8                                   | СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03<br>(утв. 09.06.2003)                       | Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы   |
| 9                                   | СанПиН 2.1.2.1002-00<br>(с изм. № 1, утв. 15.12.2000)                 | Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям   |
| <i>Методические указания</i>        |   |  |
| 10                                  | МУК 4.3.044-96  | Определение уровней электромагнитного поля, границ санитарно-защитной зоны и зон ограничения застройки в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов |
| 11                                  | МУК 4.3.045-96<br>(в части базовых станций действует МУК 4.3.1677-03) | Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания   |

| № п/п | Обозначение   | Наименование  |
|-------|---|---|
| 12    | МУК 4.3.046-96<br>(в части базовых станций действует МУК 4.3.1677-03) | Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазонов                           |
| 13    | МУК 4.3.679-97<br>(утв. 06.11.1997)                                   | Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов                               |
| 14    | МУК 4.3.677-97<br>(утв. 06.11.1997)                                   | Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах                     |
| 15    | МУК 4.3.1676-03<br>(утв. 29.06.2003)                                  | Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи                         |
| 16    | МУК 4.3.1677-03<br>(утв. 29.06.2003)                                  | Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи |
| 17    | МУ 4.3.2320-08<br>(утв. 22.01.2008)                                   | Порядок подготовки и оформления санитарно-эпидемиологических заключений на передающие радиотехнические объекты  |

В качестве предельно допустимого уровня (ПДУ) ЭМП принимают значения, которые при ежедневной (кроме выходных дней), но не более 40 часов в неделю, в течение рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Оценка воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) РЧ на людей осуществляется отдельно:

1) для лиц, работа и обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ;

2) для лиц, работа и обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния ЭМИ РЧ, а также для работающих или учащихся, лиц, не достигших 18-ти лет, для беременных женщин и остального населения, подвергающихся воздействию внешнего ЭМИ РЧ в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, на территории жилой застройки и в местах массового отдыха [5].

Для первой группы (персонал, обслуживающий источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона) нормирование ведется по энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью электромагнитного поля и временем его воздействия на человека, а для второй группы (население) – по значениям интенсивности поля.

Интенсивность электромагнитного поля в диапазоне частот:

- 30 кГц...300 МГц оценивается значениями напряженности электрического поля  $E$ , В/м и магнитного поля  $H$ , А/м;
- 300 МГц...300 ГГц – значениями плотности потока энергии (ППЭ), Вт/м<sup>2</sup>.

В диапазоне частот 30 кГц...300 МГц энергетическая экспозиция (ЭЭ) определяется, как произведение квадрата напряженности электрического или магнитного поля на время воздействия на человека [5, 18]:

Энергетическая экспозиция, создаваемая электрическим полем, определяется по формуле:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 \cdot T, \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч},$$

где  $E$  – напряженность электрического поля на рабочем месте,  $T$  – время воздействия поля на работника.

Энергетическая экспозиция, создаваемая магнитным полем:

$$\text{ЭЭ}_H = H^2 \cdot T, \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч},$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля на рабочем месте.

В диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц энергетическая экспозиция, создаваемая электромагнитным полем, определяется по формуле:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ}_{\text{пду}} \cdot T, \text{ (Вт/м}^2\text{)} \cdot \text{ч},$$

где ППЭ – плотность потока энергии электромагнитного поля на рабочем месте.

Предельно допустимые для профессионального воздействия значения энергетической экспозиции за рабочий день (рабочую смену) приведены в табл. 7.7 [5].

## Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

| Диапазон частот   | Предельно допустимая энергетическая экспозиция       |  |  |
|-------------------|--|--|--|
|                   | по электрической составляющей, (В/м) <sup>2</sup> ·ч | по магнитной составляющей, (А/м) <sup>2</sup> ·ч | по плотности потока энергии, (мкВт/см <sup>2</sup> )·ч |
| 30 кГц...3 МГц    | 20 000,0   | 200,0  | –  |
| 3...30 МГц        | 7 000,0  | –  | –  |
| 30...50 МГц       | 800,0  | 0,72   | –  |
| 50...300 МГц      | 800,0  | –  | –  |
| 300 МГц...300 ГГц | –  | –  | 200,0  |

Предельно допустимые значения интенсивности электромагнитного поля ( $E_{ПДУ}$ ,  $H_{ПДУ}$ ,  $ППЭ_{ПДУ}$ ) в зависимости от времени воздействия в течение рабочего дня ( $T$ ) определяются по формулам:

$$E_{ПДУ} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ЭПД}}{T}},$$

$$H_{ПДУ} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{НПД}}{T}},$$

$$ППЭ_{ПДУ} = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}}{T}.$$

При любом значении времени воздействия электромагнитного поля на работника напряженности электрического и магнитного полей, плотность потока энергии не должны превышать максимальные допустимые уровни, представленные в табл. 7.8 [5].

Таблица 7.8

Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот  $\geq 30$  кГц–300 ГГц

| Параметр                  | Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц) |                 |                  |                   |                         |
|---------------------------|---|-----------------|------------------|-------------------|-------------------------|
|                           | $\geq 0,03-3,0$   | $\geq 3,0-30,0$ | $\geq 30,0-50,0$ | $\geq 50,0-300,0$ | $\geq 300,0-300\ 000,0$ |
| $E$ , В/м                 | 500   | 300             | 80               | 80                | –                       |
| $H$ , А/м                 | 50  | –               | 3,0              | –                 | –                       |
| ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup> | –   | –               | –                | –                 | 1000<br>5000*           |

\* Для условий локального облучения кистей рук

Для случаев облучения от устройств с перемещающейся диаграммой излучения (вращающиеся и сканирующие антенны с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 20) и локального облучения рук при работах с микрополосковыми устройствами предельно допустимый уровень плотности потока энергии для соответствующего времени облучения ( $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}$ ) рассчитывается по формуле

$$\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = k \frac{\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}}}{T},$$

где  $k$  – коэффициент снижения биологической активности воздействий;  $k = 10$  – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн [5, 18];  $k = 12,5$  – для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать  $10 \text{ мкВт/см}^2$ );  $\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}}$  – предельно допустимая энергетическая экспозиция.

В диапазонах частот  $\geq 30 \text{ кГц}$ – $3 \text{ МГц}$  и  $\geq 30$ – $50 \text{ МГц}$  учитываются  $\text{ЭЭ}$ , создаваемые как электрическим ( $\text{ЭЭ}_{\text{Е}}$ ), так и магнитным полями ( $\text{ЭЭ}_{\text{Н}}$ ):

$$\frac{\text{ЭЭ}_{\text{Е}}}{\text{ЭЭ}_{\text{Е}_{\text{ПДУ}}}} + \frac{\text{ЭЭ}_{\text{Н}}}{\text{ЭЭ}_{\text{Н}_{\text{ПДУ}}}} \leq 1,$$

где  $\text{ЭЭ}_{\text{Е}}$ ,  $\text{ЭЭ}_{\text{Н}}$  – энергетическая экспозиция, создаваемая соответственно электрическим и магнитным полем;  $\text{ЭЭ}_{\text{Е}_{\text{ПДУ}}}$  и  $\text{ЭЭ}_{\text{Н}_{\text{ПДУ}}}$  – предельно допустимое значение энергетической экспозиции, создаваемой электрическим и магнитным полями [5].

При облучении работающего от нескольких источников ЭМП радиочастотного диапазона, для которых установлены одинаковые ПДУ,  $\text{ЭЭ}$  за рабочий день определяется путем суммирования  $\text{ЭЭ}$ , создаваемых каждым источником [5]

$$\sum_{i=1}^n E_i^2 \cdot T_i \leq \text{ЭЭ}_{\text{Е}_{\text{ПД}}},$$

$$\sum_{i=1}^n H_i^2 \cdot T_i \leq \text{ЭЭ}_{\text{Н}_{\text{ПД}}},$$

$$\sum_{i=1}^n \text{ППЭ}_i \cdot T_i \leq \text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}}.$$

При облучении от нескольких источников ЭМП, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены разные ПДУ, должны соблюдаться следующие условия [5]

$$\sum_{i=1}^n \frac{\text{ЭЭ}_{E_i}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{пду}_i}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\text{ЭЭ}_{E_2}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{пду}_2}}} + \dots + \sum_{i=1}^n \frac{\text{ЭЭ}_{E_n}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{пду}_n}}} \leq 1;$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\text{ЭЭ}_{E_i}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{пду}_i}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_i}}{\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{пду}_i}}} \leq 1.$$

Уровни ЭМП, создаваемые ПРТО на рекреационной территории, в местах массового отдыха, внутри жилых, общественных и производственных помещений, подвергающихся воздействию внешнего ЭМП РЧ, не должны превышать ПДУ, указанных в табл. 7.9 (с учетом вторичного излучения) [11, 20].

Таблица 7.9

Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот  
30 кГц–300 ГГц для населения

| Диапазон частот             | 30–300 кГц                                 | 0,3–3 МГц | 3–30 МГц | 30–300 МГц | 0,3–300 ГГц   |
|-----------------------------|--|-----------|----------|------------|---|
| Нормируемый параметр        | Напряженность электрического поля, E (В/м) |           |          |            | Плотность потока энергии, ППЭ (мкВт/см <sup>2</sup> ) |
| Предельно допустимые уровни | 25   | 15        | 10       | 3          | 10<br>25*   |

При одновременном облучении от нескольких источников, для которых установлены одни и те же ПДУ, должны соблюдаться следующие условия [20]:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} = E_{\text{сумм}} \leq E_{\text{пду}};$$

$$\sum_{i=1}^n \text{ППЭ}_i = \text{ППЭ}_{\text{сумм}} \leq \text{ППЭ}_{\text{пду}},$$

где  $E_i$  – напряженность электрического поля, создаваемая источником ЭМП под  $i$ -м номером;  $\text{ППЭ}_i$  – плотность потока энергии, создаваемая ис-

\* Для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования.

точником ЭМП под  $i$ -м номером;  $E_{\text{ПДУ}}$  – ПДУ напряженности электрического поля нормируемого диапазона;  $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}$  – ПДУ плотности потока энергии нормируемого диапазона;  $n$  – количество источников ЭМП.

При одновременном облучении от нескольких источников ЭМП, для которых установлены разные ПДУ, должны соблюдаться следующие условия [20]:

$$\sum_{j=1}^m \left( \frac{E_{\text{сумм}j}}{E_{\text{ПДУ}j}} \right)^2 + \sum_{k=1}^Q \left( \frac{\text{ППЭ}_{\text{сумм}k}}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}k}} \right) \leq 1,$$

где  $E_{\text{сумм}j}$  – суммарная напряженность электрического поля, создаваемая источниками ЭМП  $j$ -го нормируемого диапазона;  $E_{\text{ПДУ}j}$  – ПДУ напряженности электрического поля  $j$ -го нормируемого диапазона;  $\text{ППЭ}_{\text{сумм}k}$  – суммарная плотность потока энергии, создаваемая источниками ЭМП  $k$ -го нормируемого диапазона;  $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}k}$  – ПДУ плотности потока энергии  $k$ -го нормируемого диапазона;  $m$  – количество диапазонов, для которых нормируется  $E$ ;  $Q$  – количество диапазонов, для которых нормируется ППЭ.

### **7.4.3. Контроль интенсивности электромагнитного поля радиочастотного диапазона**

**Контроль уровня ЭМИ на рабочих местах.** Контроль должен осуществляться на рабочих местах персонала, обслуживающего производственные установки, генерирующее, передающее и излучающее оборудование радио- и телевизионных центров, радиолокационных станций, физиотерапевтические аппараты и пр. [5].

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

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

Контроль уровня ЭМИ РЧ в производственных условиях проводится:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Измерения интенсивности ЭМИ РЧ в помещениях жилых и общественных зданий** [11] следует проводить при условии работы источника ЭМИ на полной мощности в точках помещения, наиболее приближенных к источнику (на балконах, лоджиях, у окон), а также у металлических изделий, находящихся в помещениях, которые могут являться пассивными ретрансляторами ЭМИ и при полностью отключенных изделиях бытовой техники, являющихся источниками ЭМИ РЧ. Минимальное расстояние до металлических предметов определяется инструкцией по эксплуатации средства измерения. Измерения ЭМИ РЧ в жилых помещениях от внешних источников целесообразно проводить при открытых окнах.

#### ***7.4.4. Защита от воздействия электромагнитного поля радиочастотного диапазона***

Для **защиты населения** от воздействия ЭМИ РЧ, создаваемых передающими радиотехническими объектами (радиолокационными, радиопередающими, телевизионными станциями, земными станциями спутниковой связи и другими объектами), устанавливаются санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки [20].

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

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

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

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

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

Помимо прямого излучения, опасность может представлять вторичное электромагнитное излучение, переизлучаемое элементами конструкции здания, коммуникациями, внутренней проводкой и т. д. Для защиты от него в случае необходимости батареи отопления и другие элементы коммуникаций и сетей следует закрывать диэлектрическими (деревянными и т.п.) коробами, препятствующими непосредственному доступу к этим элементам. Необходимое расстояние между элементом коммуникаций и сетей и коробом определяется путем измерений интенсивности электромагнитного поля [11].

На каждый передающий радиотехнический объект должно оформляться санитарно-эпидемиологическое заключение согласно МУ 4.3.2320-08 [21]. Санитарно-эпидемиологические заключения выдаются отдельно: на размещение передающего радиотехнического объекта и на его эксплуатацию. Санитарно-эпидемиологические заключения на передающие радиотехнические объекты выдаются управлениями Роспотребнадзора субъектов Российской Федерации, на территории которых находятся конкретные передающие радиотехнические объекты, на основании результатов санитарно-эпидемиологической экспертизы [20].

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

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

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

$$T = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{\text{пл}}}}{E^2}, \text{ ч};$$

$$T = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{\text{пл}}}}{H^2}, \text{ ч}.$$

В диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц по формуле

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

Предельно допустимое время работы вносится в инструкции по технике безопасности и в технологические документы, а на источниках ЭМИ РЧ или в непосредственной близости от них размещаются соответствующие предупреждения. Сокращение продолжительности воздействия должно быть подтверждено технологическими, распорядительными документами и/или результатами хронометража.



Рис. 7.9. Знак «Внимание! Электромагнитное поле»

*Защита расстоянием* предполагает увеличение расстояний между излучателем и персоналом. Расстояние, соответствующее предельно допустимой интенсивности облучения, определяется расчетом и проверяется инструментально. На дверях помещений, где имеет место повышенный уровень электромагнитного излучения, а также на приборах размещают знак «Внимание! Электромагнитное поле» (рис. 7.9) [6].

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

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

*Экранирование источников излучения* используют для снижения интенсивности ЭМИ РЧ на рабочем месте или ограждения опасных зон излучений. Экраны могут быть отражающими или поглощающими; стационар-

ными или переносными. Материалы, размеры и конструкции экранов определяются особенностями технологического процесса, характеристиками экранируемого оборудования, требуемой эффективностью экранирования и допустимыми потерями в экране.

Экраны часто изготавливают в виде замкнутых камер, шкафов или кожухов (рис. 7.10).

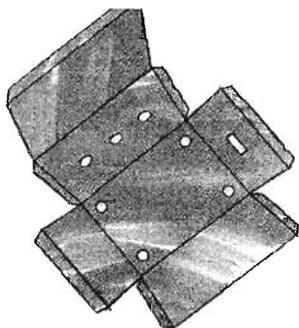


Рис. 7.10. Экран, выполненный в виде замкнутой камеры (развертка)

Обычно для отражающих экранов в качестве материала экрана применяют металлические листы. Однако во многих случаях экономически выгодно вместо металлического экрана использовать проволочные сетки, фольговые материалы, сотовые решетки. Эффективность экранирования электромагнитного поля при использовании проволочных сеток зависит от диаметра провода и шага сетки. В перечень фольговых материалов толщиной 0,01...0,5 мм входят в основном диамагнитные материалы: алюминий, латунь, цинк.

Радиопоглощающие экраны изготавливают из материалов, отвечающих следующим требованиям: максимальное поглощение электромагнитных волн в широком частотном диапазоне, минимальное отражение, отсутствие выделения вредных веществ, пожаробезопасность, небольшие габариты и вес. Защита, основанная на принципе радиопоглощения, применяется при создании аналогов свободного пространства при антенных нагрузках; при невозможности применения каких-либо других защитных материалов вследствие возможного нарушения технологического процесса; для обкладывания мест стыков внутренней поверхности шкафов с генераторной и усилительной аппаратурой, являющейся источником ЭМИ; для заполнения щелей между теми деталями волноведущих структур, которые не могут быть соединены сваркой или пайкой.

Радиопоглощающие материалы разделяются на материалы, в которых электромагнитная энергия превращается в тепловую, за счет наведения рассеянных токов, магнитогистерезисных или высокочастотных диэлектриче-

ских потерь, и материалы интерференционного типа, где гашение электромагнитных волн происходит за счет интерференции (рис. 7.11).

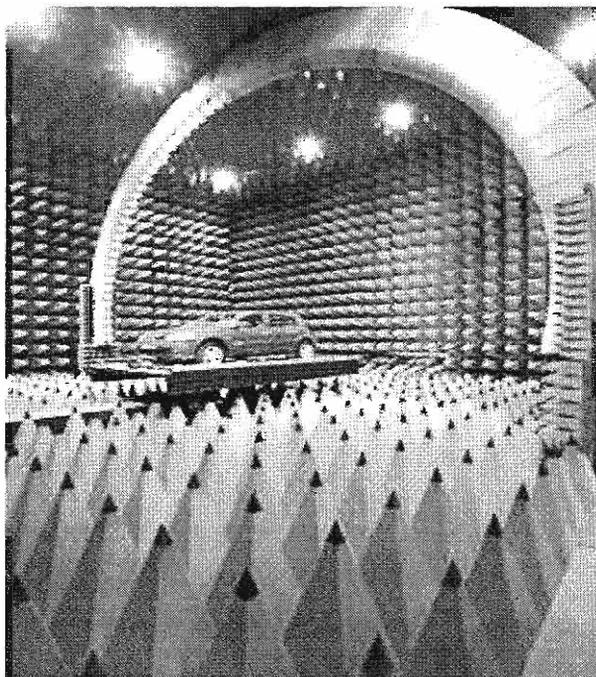


Рис. 7.11. СВЧ поглотители (пирамидальные пустотелые радиопоглощающие материалы для безэховых камер больших размеров и испытаний на электромагнитную совместимость)

По рабочему диапазону различают узко-и широко-диапазонные материалы. Со стороны, не подлежащей облучению, радиопоглощающие материалы покрываются, как правило, радиоотражающими, в результате чего характеристики радиоэкранирующей конструкции в целом улучшаются.

Радиопоглощающие материалы имеют вид эластичных и жестких пенопластов, тонких листов, рыхлой сыпучей массы или заливочных компаундов, специальных красок.

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

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

Уменьшение коэффициентов отражения поглощающих материалов достигается в основном двумя путями. В первом случае материалу придается структура или форма, увеличивающая его активную переднюю поверхность, обращенную к излучению, например, материал делается волокнистым или со сложной, покрытой пирамидами или конусами поверхностью. При такой поверхности волна многократно отражается от неровностей, и общая энергия, прошедшая в материал, оказывается значительно больше, чем при однократном падении на гладкую ровную поверхность. Выполненные по этому способу материалы являются широкополосными, но они чувствительны к действию эрозии, воды, пыли и т. д., хотя и обладают малой плотностью. Их толщина находится в пропорции с длиной волны.

При создании материалов интерференционного типа поглощающий материал толщиной в  $1/4$  длины волны наклеивают на металлический лист или сетку. Если такой материал поставить на пути излучения, то электромагнитная волна частично отразится от него, частично же пройдет в него, в определенной степени поглотится в материале, отразится от металлической подложки, снова частично поглотится, достигнет передней поверхности, частично отразится обратно в материал и частично выйдет в воздух. В результате волна, вышедшая из материала, изменит свою фазу на  $180^\circ$  по сравнению с волной, отраженной от передней поверхности поглощающего материала, что сопровождается интерференцией волн. Соответствующим сочетанием коэффициента отражения от передней поверхности с коэффициентом поглощения материала добиваются минимального отражения волн от такого материала. Недостаток этих материалов состоит в том, что они эффективны только на конкретных частотах.

Обычно радиопоглощающие материалы отражают примерно 1 % падающей на них энергии, в некоторых случаях отражение может быть снижено до  $0,01 \dots 0,001$  %. Поглощающая способность зависит от свойств материала: для радиопоглощающих материалов на основе каучука, поролона и т.п. она составляет  $0,155 \dots 0,465 \text{ Вт/см}^2$ , на полиуретановой основе достигает  $1,3 \text{ Вт/см}^2$ , а пенокерамических материалов –  $7,75 \text{ Вт/см}^2$ . В последнее время все большее распространение получают керамико-металлические композиции.

В табл. 7.10 приведены характеристики некоторых радиопоглощающих материалов.

Таблица 7.10

## Основные характеристики радиопоглощающих материалов

| Наименование материала                            | Рабочая частота излучения, ГГц | Коэффициент отражения, % |
|---|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Резиновые коврики:</i>                         |                                |                          |
| В2Ф2  | 7,5–37,5                       | 2                        |
| В2Ф3  | 7,5–37,5                       | 2                        |
| ВКФ-1   | 7,5–37,5                       | 2                        |
| <i>Магнетодиелектрические пластины:</i>           |                                |                          |
| ХВ-0.8  | 37,5                           | 2                        |
| ХВ-2.0  | 15,0                           | 2                        |
| ХВ-3.2  | 9,4                            | 2                        |
| ХВ-4.4  | 6,8                            | 2                        |
| ХВ-6.2  | 4,8                            | 2                        |
| СВЧ-068   | 0,15–2,0                       | 3–4                      |
| <i>Поглощающие материалы на основе поролона:</i>  |                                |                          |
| Б-2   | 37,5                           | 2                        |
| Б-3   | 1,1                            | 2                        |
| БР-3  | 0,75                           | 2                        |
| ВРПМ  | не выше 10,0                   | 1–2                      |
| <i>Поглощающие материалы на основе древесины:</i> |                                |                          |
| ЛУЧ-50  | 1,5–37,5                       | 3                        |
| ЛУЧ-100   | 0,75–37,5                      | 3                        |
| ЛУЧ-150   | 0,5–37,5                       | 3                        |
| <i>Текстолит графитированный № 369-61</i>         | 1,9–37,5                       | До 50                    |
| <i>Краска НТСО 014-003</i>                        | 1,9–37,5                       | До 50                    |

Экраны в виде сотовых решеток применяют для экранирования вентиляционных отверстий в экранирующих кожухах аппаратуры (рис. 7.12, а) вплоть до сантиметрового диапазона излучения. Эффективность сотовых решеток зависит от отношения глубины к ширине ячейки. Если требуется особенно высокая эффективность экранирования, рекомендуется применять сотовые решетки с пересекающимися ячейками (рис. 7.12, б). Такие решетки получают наложением друг на друга тонких решеток в одном экране.

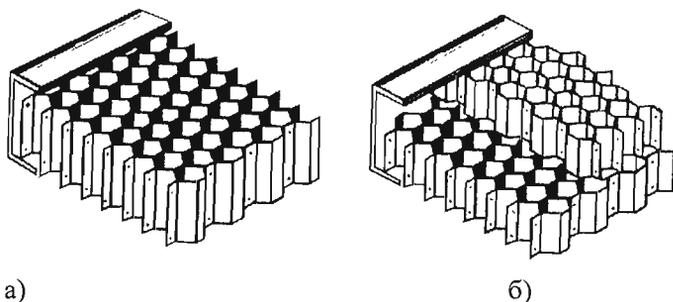


Рис. 7.12. Экраны в виде сотовых решеток с обычными (а) и с пересекающимися (б) ячейками

Достоинствами сотовых решеток являются небольшой вес, высокие экранирующие свойства, низкое сопротивление воздушному потоку и др.

Для экранирования неплотностей корпуса и крышек в кожухах источников излучения используют мягкие экранирующие материалы, верхний слой которых состоит из металлизированной ткани, а внутренним наполнителем является мягкий пористый материал, например, поролон (рис. 7.13).

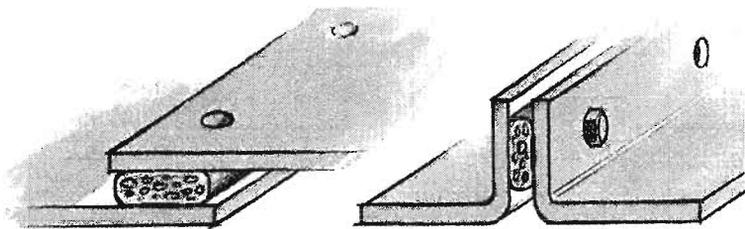


Рис. 7.13. Экранирование неплотностей корпуса аппаратуры

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

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

химической металлизации (из растворов) суровых тканей различной структуры и плотности.

Для защиты органов зрения применяют сетчатые очки, имеющие конструкцию полумасок из медной или латунной сетки и очки ОРЗ-05 (очки радиозащитные) со специальным стеклом с токопроводящим слоем двуоксида олова.

#### **Контрольные вопросы к пункту 7.4**

1. Какие источники электромагнитных полей радиочастотного диапазона Вы знаете?

2. Каков механизм теплового воздействия электромагнитных полей СВЧ диапазона на организм человека?

3. Какие виды нетепловых эффектов, возникающих в организме человека под действием электромагнитных излучений радиочастотного диапазона, Вы знаете?

4. По какому критерию оценивается воздействие ЭМИ РЧ на лиц, работа или обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ, а также для работающих или учащихся, лиц, не достигших 18 лет, для женщин в состоянии беременности и остального населения, подвергающегося воздействию внешнего ЭМИ РЧ в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях (кроме зданий и помещений передающих радиотехнических объектов), на территории жилой застройки и в местах массового отдыха?

5. По какому параметру оценивается воздействие ЭМИ РЧ на лиц, чья профессиональная деятельность или условия обучения связаны с воздействием ЭМИ РЧ?

6. Какой величиной характеризуется интенсивность ЭМИ РЧ в диапазоне частот от 30 кГц до 300 МГц, а также в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц?

7. По какой формуле определяется энергетическая экспозиция (ЭЭ) в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц?

8. Какими мерами обеспечивается защита населения от действия ЭМИ РЧ?

9. Что такое санитарно-защитная зона радиопередающего объекта?

10. Что такое зона ограниченной застройки вокруг радиопередающего объекта?

11. Какие существуют организационные меры защиты персонала, работа или обучение которого связана с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ?

## 7.5. Лазерное излучение

Лазер, источник электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов, основанный на вынужденном излучении атомов и молекул. Слово «лазер» составлено из начальных букв (аббревиатура) слов английской фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что означает «усиление света в результате вынужденного излучения». В советской литературе употребляется также термин «оптический квантовый генератор» (ОКГ). Создание лазеров (1960) и несколько ранее мазеров\* (1955) послужило основой развития нового направления в физике и технике, которое называется квантовой электроникой. В 1964 советским физикам Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому физика Ч. Таунсу за работы в области квантовой электроники присуждена Нобелевская премия по физике.

Лазер – источник света. По сравнению с другими источниками света лазер обладает рядом уникальных свойств, связанных с когерентностью\*\* и высокой направленностью его излучения. Излучение «нелазерных» источников света не имеет этих особенностей. В естественной природной среде лазерное излучение не встречается.

Сама по себе лазерная установка является источником целого комплекса опасных и вредных факторов, действующих на обслуживающий персонал. В зависимости от типа, конструкции и целевого назначения лазеров и лазерных установок это могут быть [22]:

- лазерное излучение (прямое, отраженное и рассеянное);
- сопутствующие ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения от источников накачки, плазменного факела и материалов мишени;
- высокое напряжение в цепях управления и источниках электропитания;
- электромагнитное излучение промышленной частоты и радиочастотного диапазона;
- рентгеновское излучение от газоразрядных трубок и других элементов, работающих при анодном напряжении более 5 кВ;
- шум;

---

\* Мазер – квантовый генератор электромагнитного излучения в сантиметровом диапазоне, характеризуется высокой монохроматичностью, когерентностью и узкой направленностью излучения; применяется в радиосвязи, радиоастрономии, радиолокации, а также в качестве генератора стабильных частот. англ. Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

\*\* Когерентность (от латинского *cohaerens* – находящийся в связи), согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их сложении. Колебания называются когерентными, если разность их фаз остаётся постоянной во времени и при сложении колебаний определяет амплитуду суммарного колебания.

- вибрация;
- токсические газы и пары от лазерных систем с прокачкой, хладагентов и др.;
- продукты взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемыми материалами;
- повышенная температура поверхности лазерного изделия;
- опасность взрыва в системах накачки лазеров.

Биологическое действие собственно лазерного излучения зависит от длины волны и интенсивности излучения. В связи с этим весь диапазон длин волн делится на ряд областей:

- 180 <  $\lambda$  ≤ 380 нм – ультрафиолетовая область;
- 380 <  $\lambda$  ≤ 750 нм – видимая область;
- 750 <  $\lambda$  ≤ 1400 нм – ближняя инфракрасная область;
- 1400 <  $\lambda$  ≤ 10<sup>5</sup> нм – дальняя инфракрасная область.

### ***7.5.1. Действие лазерного излучения на организм человека***

Различают следующие шесть видов воздействия лазерного излучения на живой организм.

1. Термическое (тепловое) действие. При фокусировке лазерного излучения выделяется значительное количество теплоты в небольшом объеме за короткий промежуток времени.

2. Энергетическое действие определяется большим градиентом электрического поля, обусловленного высокой плотностью мощности. Это действие может вызывать поляризацию молекул, резонансные и другие эффекты.

3. Фотохимическое действие проявляется в выцветании ряда красителей.

4. Механическое действие проявляется в возникновении колебаний типа ультразвуковых в облучаемом организме.

5. Электрострикция – деформация молекул в электрическом поле лазерного излучения.

6. Образование в пределах клетки микроволнового электромагнитного поля.

Под действием лазерного излучения происходит нарушение жизнедеятельности, как отдельных органов, так и организма в целом.

При больших интенсивностях облучения возможны повреждения внутренних органов, которые имеют характер отеков, кровоизлияний, кровотечений, омертвений тканей и др.

Лазерное излучение (ЛИ) представляет особую опасность для тех тканей, которые максимально поглощают излучение. Сравнительно легкая уязвимость роговицы и хрусталика глаза, а также способность оптической

системы глаза увеличивать плотность энергии (мощности) излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (750...1400 нм) на глазном дне до  $6 \cdot 10^4$  раз по отношению к роговице делают глаз наиболее уязвимым органом. Степень повреждения глаза может изменяться от слабых ожогов сетчатки до полной потери зрения.

ЛИ с длиной волны 380...1400 нм (видимая и ближняя инфракрасная области)<sup>1</sup> представляет наибольшую опасность для сетчатки глаза, а излучение с длиной волны 180...380 нм (ультрафиолетовая)<sup>2</sup> и свыше 1400 нм (дальняя инфракрасная область)<sup>3</sup> – для передних сред глаза.

При повреждении роговицы появляется боль в глазах, спазм век, слезотечение, гиперемия слизистых век и глазного яблока, их отек, отек эпителия роговицы и эрозии. Тяжелые повреждения роговицы сопровождаются помутнением влаги передней камеры.

При повреждении сетчатки легкой степени на глазном дне наблюдается небольшой участок помутневшей сетчатки. В тяжелых случаях имеется участок некроза сетчатки, разрыв ее ткани, возможен выброс участка сетчатки в стекловидное тело. Эти повреждения сопровождаются кровоизлиянием в сетчатку, в пред- или подсетчаточное пространство или стекловидное тело.

Повреждение кожи может быть вызвано лазерным излучением любой длины волны в спектральном диапазоне  $\lambda = 180 \dots 100\,000$  нм. Под воздействием лазерного излучения преобладают тепловые эффекты, следствием которых является коагуляция (свертывание) белка, а при больших мощностях – испарение биоткани. При контакте с лазерным излучением появляется ощущение тепла или боли. Интенсивность боли зависит от распространенности очага поражения кожных покровов. Степень повреждения кожи зависит от первоначально поглощенной энергии. Повреждение кожи энергией лазерного излучения ультрафиолетового диапазона спектра (нетепловые уровни энергии) может происходить без возникновения каких-либо ощущений. Характер поражения кожи под воздействием лазерного излучения аналогичен термическим ожогам, и, в зависимости от уровня воздействовавшей энергии, может быть различным: от покраснения до поверхностного обугливания и образования глубоких дефектов кожи. Значи-

---

<sup>1</sup> Излучение видимой области может вызывать ожоги и разрушение сетчатой и сосудистой оболочки глаза от обратимого повреждения до слепоты.

<sup>2</sup> Излучение ультрафиолетовой области вызывает разрушение молекул белка роговой оболочки и ожог конъюнктивы глаза. Болевые ощущения возникают через несколько секунд, повреждение глаз через несколько минут, часов, дней. Повреждение может быть необратимым – слепота.

<sup>3</sup> Излучение инфракрасной области поглощается радужной оболочкой, хрусталиком и стекловидным телом. Богатая пигментом радужная оболочка нагревается за счет теплопроводности, белки хрусталика свертываются. Повреждение глаз может происходить через большой промежуток времени т.к. из-за нагрева роговой оболочки сразу возникает мигательный рефлекс. В тяжелых случаях повреждение может быть необратимым и приводить к слепоте.

тельные повреждения развиваются на пигментированных участках кожи (родимых пятнах, местах с сильным загаром). Минимальное повреждение кожи развивается при плотности энергии  $0,1 \dots 1$  Дж/см<sup>2</sup>.

При воздействии мощного импульса лазерного излучения на организм в облученных тканях возникает ударная волна непосредственно от «удара» самого импульса. Появление ударной волны обусловлено возникновением градиентов давления внутри облучаемой системы за счет объемного расширения (как с изменением фазового состояния, так и без него), вызванного кратковременным локальным нагревом ткани, а также импульсом отдачи при испарении биоткани с поверхности. Тепловое расширение может возникнуть на поверхности или во внутренней зоне облучаемой ткани, механические нагрузки при этом характеризуются величинами порядка десятков паскалей. Высокая интенсивность потока лазерного излучения сопровождается ударной волной такой силы, при которой повреждаются внутренние органы. Импульсный режим воздействия лазерного излучения с малой длительностью импульса связан с преобразованием энергии излучения в энергию механических колебаний, в частности, ударной волны. Ударная волна состоит из группы импульсов разливной длительности и амплитуды. Максимальную амплитуду имеет первый импульс сжатия, который является определяющим в возникновении повреждения глубоких тканей. Например, прямое облучение поверхности брюшной стенки может вызвать повреждение печени, кишечника и других органов брюшной полости; при облучении головы возможны внутричерепные и внутримозговые кровоизлияния.

Длительное хроническое действие диффузно отраженного лазерного излучения вызывает неспецифические, преимущественно вегетативно-сосудистые нарушения; функциональные сдвиги могут наблюдаться со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, желез внутренней секреции.

По степени опасности выходного излучения лазеры подразделяются на 4 класса [22]:

I-й класс – лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности для глаз и кожи;

II-й класс – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением;

III-й класс – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз прямым, зеркально отраженным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности<sup>4</sup>;

---

<sup>4</sup> Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучения в спектральном диапазоне 380...1400 нм

IV-й класс – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности.

Лазеры классифицирует предприятие-изготовитель по выходным характеристикам излучения расчетным методом.

### **7.5.2. Нормирование интенсивности лазерного излучения**

Предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения устанавливаются в соответствии с нормативным документом «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров (утв. 31 июля 1991 г. № 5804-91) [22] для двух условий облучения: однократного и хронического для трех диапазонов длин волн:

I диапазон –  $180 < \lambda \leq 380$  нм;

II диапазон –  $380 < \lambda \leq 1400$  нм;

III диапазон –  $1400 < \lambda \leq 10^5$  нм.

Нормируемыми параметрами являются энергетическая экспозиция  $H$  и облученность  $E$ , усредненные по ограничивающей апертуре. Апертура – это отверстие в защитном корпусе лазера, через которое испускается ЛИ.

Для определения ПДУ ( $H_{\text{ПДУ}}$  и  $E_{\text{ПДУ}}$ ) при воздействии ЛИ на кожу усреднение производится по ограничивающей апертуре.

Наряду с энергетической экспозицией и облученностью нормируемыми параметрами являются также энергия  $W$  и мощность  $P$  излучения, прошедшего через ограничивающую апертуру.

При оценке воздействия на глаза лазерного излучения в диапазоне II нормирование энергии и мощности лазерного излучения, прошедшего через ограничивающую апертуру, является первостепенным.

Указанные выше энергетические параметры связаны соотношениями:

$$H_{\text{ПДУ}} = \frac{W_{\text{ПДУ}}}{S_a} \quad \text{и} \quad E_{\text{ПДУ}} = \frac{P_{\text{ПДУ}}}{S_a},$$

где  $H_{\text{ПДУ}}$  – предельно допустимое значение энергетической экспозиции лазерного излучения, Дж · м<sup>2</sup>;  $W_{\text{ПДУ}}$  – предельно допустимый уровень энергии лазерного излучения, Дж;  $S_a$  – площадь ограничивающей апертуры, м<sup>2</sup>;  $E_{\text{ПДУ}}$  – предельно допустимый уровень облученности, Вт м<sup>2</sup>;  $P_{\text{ПДУ}}$  – предельно допустимый уровень мощности ЛИ, Вт.

При одновременном воздействии на глаза и кожу лазерного излучения нескольких источников с различными длинами волн эти источники в общем случае могут иметь различные характеристики:

- спектральные (два или несколько типов лазеров, генерация нескольких длин волн одним лазером, генерация гармоник);

- временные (режимы: непрерывный, импульсный, непрерывный с модуляцией мощности и т. д.);
- пространственные (коллимированный пучок, диффузно отраженное или рассеянное излучение).

Степень опасности при одновременном действии излучения различных источников является аддитивной в следующих случаях:

- воздействие на кожу излучения любых длин волн в диапазоне  $180 < \lambda \leq 10^5$  нм;
- воздействие на передние среды глаза излучения в диапазонах длин волн  $180 < \lambda \leq 380$  нм и  $1400 < \lambda \leq 10^5$  нм;
- воздействие на сетчатку глаза излучения в диапазоне длин волн  $380 < \lambda \leq 1400$  нм.

Для каждого из перечисленных случаев предельно допустимые уровни устанавливаются независимо.

Предельно допустимая суммарная энергия или мощность излучения от нескольких источников, действие которых является аддитивным, определяется следующими формулами:

$$W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = C_1 W_{\text{ПДУ}}^{(1)} + \dots + C_n W_{\text{ПДУ}}^{(n)} = \sum_{i=1}^n C_i W_{\text{ПДУ}}^{(i)},$$

$$P_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = P_1 P_{\text{ПДУ}}^{(1)} + \dots + C_n P_{\text{ПДУ}}^{(n)} = \sum_{i=1}^n C_i P_{\text{ПДУ}}^{(i)},$$

где  $n$  – число источников излучения, действие которых аддитивно;  $i$  – условный порядковый номер источника;  $W_{\text{ПДУ}}^{(i)}$ ,  $P_{\text{ПДУ}}^{(i)}$  – предельно допустимые значения энергии (мощности) источника с порядковым номером  $i$  к суммарной энергии (мощности) всех источников;  $C_i$  – относительный энерговклад каждого источника, определяемый как отношение энергии (мощности) источника с порядковым номером  $i$  к суммарной энергии (мощности) всех источников;

$$C_i = \frac{W^{(i)}}{\sum_{i=1}^n W^{(i)}} = \frac{P^{(i)}}{\sum_{i=1}^n P^{(i)}}.$$

Данные формулы применимы в тех случаях, когда длительность экспозиции или импульсов излучения рассматриваемых источников имеют один и тот же порядок. При проведении практических расчетов значения энергии (мощности) могут быть заменены эквивалентными значениями энергетической экспозиции (облученности).

### **7.5.3. Контроль уровня лазерного излучения**

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

Различают две формы дозиметрического контроля [22, 24, 25]:

- предупредительный (оперативный);
- индивидуальный.

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

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

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

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

Методы проведения различных форм дозиметрического контроля ЛИ определены ГОСТ 12.1.031-81.

Аппаратура, применяемая для измерений, должна быть аттестована органами Госстандарта России и проходить государственную поверку в установленном порядке. Дозиметры ЛИ должны соответствовать требованиям ГОСТ 24469.

### **7.5.4. Средства защиты от лазерного излучения**

Действующие лазерные установки следует размещать в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. Лазеры IV класса должны размещаться только в отдельных помещениях. Внутренняя поверхность помещения, а также предметы, находящиеся

ся в этом помещении (за исключением используемых в работе элементов оптических систем), не должны иметь поверхностей с коэффициентом отражения больше 0,4; стены, потолок, пол помещения и предметы, находящиеся в помещении, должны иметь матовую поверхность, обеспечивающую минимальное отражение [23].

Средства защиты от ЛИ подразделяются на коллективные и индивидуальные. Выбор средства защиты в каждом конкретном случае осуществляется с учетом требований безопасности для данного процесса.

**Коллективные средства защиты** от повышенного уровня лазерного излучения разделяют на следующие группы.

**Оградительные устройства.** Надежной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование луча на всем его пути распространения, если позволяют технические возможности. Экраны для защиты от лазерного излучения могут быть непрозрачными или прозрачными [23].

Непрозрачные экраны или ограждения, препятствующие выходу ЛИ наружу, должны изготавливаться из металлических листов (сталь, дюралюминий и т. п.). В некоторых случаях допускается изготовление непрозрачных экранов из пластмасс.

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

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

Для снижения уровня отраженного ЛИ линзы, призмы и другие твердые с зеркальной поверхностью предметы на пути луча должны снабжаться блендами, а облучаемый объект – защитными экранами – диафрагмами с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр луча (рис. 7.14). В этом случае через отверстие проходит только прямое излучение, отраженные лучи от объекта попадают на экран, который их частично поглощает и рассеивает. Для этой цели можно использовать даже фанеру, покрытую черной матовой краской.

За приемниками излучений устанавливают невоспламеняющиеся экраны с поверхностью, хорошо поглощающей энергию излучений соответствующей длины волны.

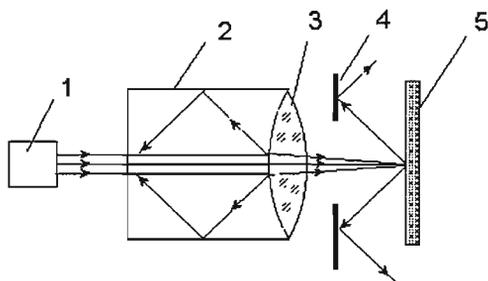


Рис. 7.14. Схема экранирования отраженного лазерного излучения блендами и диафрагмами: 1 – лазер; 2 – бленда; 3 – линза; 4 – диафрагма; 5 – мишень

При размещении в одном помещении нескольких лазерных установок необходимо оградить места их установки ширмами, шторками, занавесками или другими экранами, не пропускающими излучения, но так чтобы рабочее место удовлетворяло санитарно-гигиеническим требованиям и имело достаточное естественное и искусственное освещение.

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

*Предохранительные устройства.* Входы в помещения, где размещены лазерные установки должны иметь блокировку. При размещении пультовой и рабочей камеры в разных помещениях система блокировки входной двери в рабочую камеру должна открываться только после выключения установки и окончания запретного периода, если он предусмотрен. При этом должна быть исключена возможность включения установки при незапертой двери в рабочую камеру, а также исключена возможность открытия двери во время работы установки. При случайном открытии двери в рабочую камеру (или неисправности контакта блокировки) установка должна выключаться. Установка должна быть оборудована системой блокировки, не позволяющей закрыть входную дверь без предварительного захода в рабочую камеру. Указанная система выключается ответственным оператором, который покидает рабочую камеру последним, убедившись в отсутствии в ней людей. В рабочей камере должны быть установлены легко доступные устройства аварийного выключения установки и запрета на

ее включение. Осветители с импульсными лампами для накачки должны иметь блокировку, исключающую возможность вспышки лампы при открытой крышке осветителя.

Для предохранения глаз от излучения (при совмещении системы наблюдения с оптической системой лазерной установки) в окулярах микроскопов предусматривается защита в виде диафрагм, автоматически закрывающихся в момент прохождения луча к мишени, или в виде светофильтров, поглощающих часть световой энергии, попадающей в окуляр микроскопа.

*Устройства автоматического контроля и сигнализации.* Помимо блокировки входы в помещения, где размещаются лазерные изделия, должны быть оборудованы, также звуковой и световой сигнализацией, сблокированной с системой пуска установки. В помещениях, где проводятся работы с импульсной установкой, должна быть установлена сигнализация: световая – в период, когда на конденсаторной батарее поднимается напряжение, и звуковая – непосредственно перед срабатыванием осветителя за 2–3 с.

Во время работы установки на пульте управления и над входом в рабочую камеру должны гореть предупреждающие световые сигналы. Необходимо проверять исправность системы блокировки и сигнализации каждый раз перед включением установки. При неисправности или умышленном отключении хотя бы одной из предусмотренных проектом блокировок пуск установки должен поступать на пульт управления установки и фиксироваться в журнале эксплуатации. В случае неисправности хотя бы одной из систем блокировки или сигнализации эксплуатация установки запрещается.

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

*Знаки безопасности.* Путь пучка света импульсной ЛУ должен быть маркирован покраской рейтеров, оправ, диафрагм и бленд, на дверях помещений. Где размещаются лазерные установки должен быть установлен знак «Опасно! Лазерное излучение» (рис. 7.15) [6].

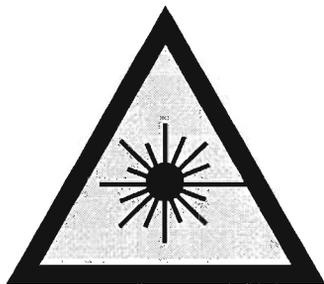


Рис. 7.15. Знак «Опасно! Лазерное излучение»

*Средства индивидуальной защиты.* В ряде случаев эксплуатации лазерных установок II–IV классов опасности применяют СИЗ (только в том

случае, если коллективные средства защиты не позволяют обеспечить выполнение требований безопасности). К СИЗ относятся технологические халаты, перчатки, очки, щитки и маски.

Технологические халаты изготавливаются из хлопчатобумажного или бязевого материала светло-зеленого или голубого цвета. Перчатки применяют в тех случаях, когда существует опасность воздействия ЛИ на кожный покров.

В защитных щитках, масках и очках применяются специальные светофильтры, задерживающие ЛИ, но пропускающие излучение в соседних диапазонах спектра. Это достигается за счет выбора светофильтров с определенной кривой спектрального пропускания. Так, например, противозащитные очки, изготавливаемые из сине-зеленого стекла СЗС-22, применяются для защиты от лазерного излучения с  $\lambda = 0,69; 0,84$  и  $1,06$  мкм.

Светофильтры защитных очков должны обеспечивать снижение интенсивности облучения глаз ЛИ до ПДУ. В паспортах на светофильтры и оправы очков указывают их спектральную характеристику, оптическую плотность и максимально допустимый уровень излучения.

При работе с лазерами IV класса опасности должны использоваться защитные маски. Толщина светофильтра устанавливается в зависимости от спектральной характеристики стекла. Характеристики защитных устройств по оптической плотности должны выбираться с таким расчетом, чтобы для определенной мощности и длины волны излучения лазера плотность энергии снижалась до безопасного (предельно допустимого) уровня.

Существует два типа защитных очков: открытые и закрытые. Открытые защитные очки модели О16-72 ЛС-630 предназначены для защиты глаз спереди и с боков от рассеянного и диффузно отраженного излучения на длине волны  $0,63$  мкм. Закрытые защитные очки с непрямой вентиляцией ЗН 22-72-СЗС-22-6 предназначены для защиты глаз с боков, сверху и снизу от рассеянного, диффузно отраженного прямого излучения для непрерывного ЛИ с длиной волны  $0,63; 1,5$  мкм и для импульсного ЛИ  $0,63 \dots 1,06$  мкм. В ассортименте защитных очков должны быть очки с оправой, не препятствующей одновременному пользованию обычными корригирующими очками.

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

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

Одним из важнейших элементов системы сохранения здоровья обслуживающего персонала являются **лечебно-профилактические мероприятия**. К достаточно эффективным мерам медицинской профилактики про-

фессиональной патологии следует отнести регулярные физические упражнения, причем в течение смены рекомендуется проводить не менее двух физкультурных пауз по 10 мин. При работе с ЛУ имеет большое значение соблюдение витаминного баланса, особенно в зимне-весенний период.

*Требования к персоналу.* К работе с лазерными установками допускаются лица, достигшие 18 лет и не имеющие медицинских противопоказаний. Женщины на период беременности и кормления ребенка должны освободиться от работы с применением лазеров [22, 23].

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

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

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

Лица, временно привлекаемые к работе с ЛУ, должны быть ознакомлены с инструкцией по технике безопасности и производственной санитарии при работе с ЛР и прикреплены к ответственному лицу из постоянного персонала подразделений. Персонал, допускаемый к работе с ЛУ, должен пройти *инструктаж и обучение* безопасным приемам и методам работы в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90 [26] и Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров [22].

Персонал должен быть обучен методам оказания первой помощи при поражении ЛИ, электрическим током и другими опасными факторами. При изменении технических параметров ЛУ или характера выполняемых работ проводится внеочередной инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии.

## Контрольные вопросы к пункту 7.5

1. Для каких органов человека особенно опасно лазерное излучение и почему?
2. Какова опасность для человека лазера I класса?
3. Какова опасность для человека лазера II класса?
4. Какова опасность для человека лазера III класса?
5. Какова опасность для человека лазера IV класса?
6. Что является нормируемым параметром лазерного излучения?
7. Какие существуют формы дозиметрического контроля лазерного излучения?
8. В чем заключается предупредительный контроль лазерного излучения, когда он проводится?
9. В чем заключается индивидуальный контроль лазерного излучения, когда он проводится?
10. Какие методы и средства коллективной защиты от лазерного излучения Вы знаете?
11. Какие СИЗ от лазерного излучения Вы знаете?
12. Какие требования предъявляются к персоналу, обслуживающему лазерные установки?

## 7.6. Инфракрасное излучение

**Инфракрасное излучение (ИФКИ)** охватывает область спектра с длиной волны, лежащей в пределах от 780 нм до 540 мкм. Оно является функцией теплового состояния источника излучения и свойственно всем телам, температура которых выше абсолютного нуля.

### 7.6.1. Действие инфракрасного излучения на организм человека

Инфракрасное излучение оказывает в основном тепловое воздействие на организм человека. Эффект его действия зависит от длины волны, которая обуславливает глубину его проникновения. В связи с этим инфракрасное излучение подразделяется на три области:

- область А – длина волны от 780 до 1400 нм;
- область В – от 1400 до 3000 нм;
- область С – более 3000 нм.

Первая область инфракрасных излучений обладает большой проникаемостью через кожу и обозначается как коротковолновое инфракрасное излучение, а следующие две области – как длинноволновые.

Наиболее активно коротковолновое инфракрасное излучение, так как оно обладает наибольшей энергией фотонов, способно глубоко проникать в ткани организма и интенсивно поглощаться водой, содержащейся в тканях.

Наиболее чувствительны к инфракрасному излучению кожный покров и органы зрения человека. При остром повреждении кожи возможно появление ожогов различной степени тяжести, резкое расширение артериокапилляров, усиление пигментации кожи. При хроническом облучении изменение пигментации может быть стойким как, например, эритемоподобный (красный) цвет лица у рабочих стеклодувов, сталеваров. К острым поражениям органов зрения относятся ожог конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При интенсивном инфракрасном излучении и длительном облучении возможно образование катаракты. Коротковолновая часть инфракрасного излучения может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение.

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

При длительном пребывании человека в зоне действия инфракрасного излучения происходит нарушение водно-солевого баланса, что вызывает судорожную болезнь.

### ***7.6.2. Нормирование инфракрасного излучения***

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

Нормативными документами являются:

- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [27];
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [28].

Предельно допустимый уровень интенсивности инфракрасного излучения устанавливается для постоянных рабочих мест с учетом:

- спектрального состава излучения;
- размера облучаемой площади поверхности тела.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 7.11.

Таблица 7.11

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

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

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать

140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Помимо интенсивности инфракрасного излучения согласно руководству Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [29] оценка условий труда проводится не только по интенсивности теплового излучения, но и по экспозиционной дозе, Вт·ч

$$ДЭО = I_{ТО} \cdot S \cdot \tau,$$

где,  $I_{ТО}$  – интенсивность теплового облучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – облучаемая площадь поверхности тела, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – продолжительность облучения за рабочую смену, ч.

При определении облучаемой поверхности тела необходимо произвести ее расчет с учетом доли каждого участка тела: голова и шея – 9 %, грудь и живот – 16 %, спина – 18 %, руки – 18 %, ноги – 39 % [29].

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки [28].

### 7.6.3. Средства защиты от теплового облучения

Выбор теплозащитных средств должен осуществляться с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. К теплозащитным средствам предъявляются следующие требования: они должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания,

не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы [30].

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

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

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

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

К коллективным средствам защиты относятся:

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

Тепловая изоляция поверхностей источников излучения (печей, сосудов, трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности. При этом доля лучистого тепла с понижением температуры источника понижается, благодаря чему интенсивность облучения персонала инфракрасным излучением снижается значительно в большей степени, чем общее тепловыделение. Тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования, обуславливает сокращение расхода топлива (электроэнергии, пара) и увеличение производительности агрегатов. При проведении высокотемпературных процессов без надлежащей тепловой изоляции достижение необходимой температуры затруднительно или даже невозможно. Однако когда ограждающие конструкции агрегата находятся в температурных условиях, близких к верхнему допустимому пределу для данного материала (своды и торцевые стены мартеновских печей, фурменные сопла доменных печей и т.п.), тепловая изоляция, повышая рабочую температуру изолируемых элементов, может резко сократить срок их службы. В таких случаях решение о тепловой изоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры изолированных элементов.

Если она окажется выше предельно допустимой, защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами (внутренняя теплоизоляция: футеровка, внутреннее экранирование).

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

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

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

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

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

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

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

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

большая толщина изоляционного слоя или при изготовлении теплоизоляционных панелей.

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

Широкое применение находит смешанная изоляция из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Если они по радиусу кривизны не соответствуют изолируемому трубопроводу, то в первом слое может быть использована мастичная или оберточная изоляция. Наружный слой изготавливают из мастичной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышения долговечности изоляции под кожухом [30].

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

Экраны и завесы подразделяются по степени видимости работником через экран и завесу (или по способу превращения энергии облучения) на три типа (рис. 7.16):

- непрозрачные;
- полупрозрачные;
- прозрачные.

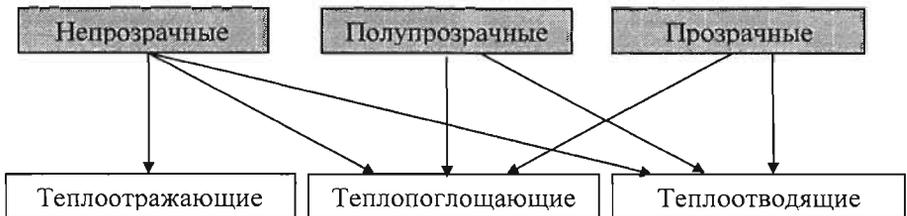


Рис. 7.16. Классификация теплозащитных экранов

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

- теплоотражающие;
- теплопоглощающие;
- теплоотводящие экраны.

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

## *Непрозрачные экраны*

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

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

Достоинствами отражающих экранов являются высокая эффективность, малая масса, экономичность. Однако применение их ограничивается, так как они не выдерживают высоких температур и механических воздействий; эффективность экранов ухудшается при отложении на них пыли, сажи и окислении.

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

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

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

*Теплоотводящие экраны.* Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые (с залитым змеевиком) конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой. Их можно футеровать с одной стороны. Временные экраны можно изготавливать в виде металлических щитов, орошаемых водой. Теплоотводящие экраны при достаточном охлаждении являются практически

теплонепроницаемыми, но требуется их присоединение к сети водоснабжения, что не всегда возможно.

### ***Полупрозрачные экраны***

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

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

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

*Цепные завесы* применяют в тех случаях, когда экран не должен препятствовать наблюдению и вводу через него инструмента, материалов. Эффективность завесы увеличивается при уменьшении толщины цепей. Для повышения эффективности можно применять орошение завесы водяной пленкой и устраивать двойные экраны.

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

### ***Прозрачные экраны***

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

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

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

*Теплопроводящие экраны.* Водяные завесы применяют для экранирования рабочих окон печей и т.п., если через экран необходимо вводить инструмент, заготовки и др. Устройства для создания водяной завесы изображены на рис. 7.17. Боковые кромки завесы образуются вертикальными рейками. Для устойчивости завесы вода должна быть чистой, поверхность слива строго горизонтальной и гладкой.

*Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу,* более устойчивы по сравнению со свободными водяными завесами и имеют более высокий коэффициент эффективности.

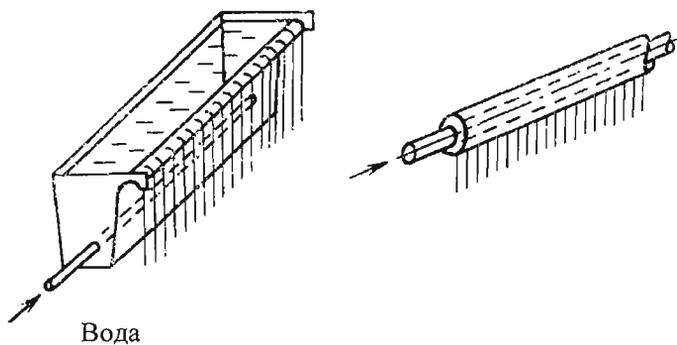


Рис. 7.17. Устройства для создания водяной пленочной завесы

Высокой эффективностью обладают также *аквариальные экраны*, представляющие собой коробку из двух стекол, заполненную проточной чистой водой с толщиной слоя 15...20 мм.

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

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

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

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

Возможно применение интерференционных фильтров, представляющих собой сложную систему нанесенных на прозрачную подложку (например, на стекло) диэлектрических слоев с различными показателями преломления. Чередую слои с различными характеристиками можно получить заданную спектральную характеристику системы с полосой пропускания в видимой части спектра и высокой отражательной способностью в инфракрасной области. Диэлектрические слои из ZnO, TiO<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub> наносят на подложку методом вакуумного осаждения.

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

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

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

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

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

*Средства индивидуальной защиты (СИЗ)* применяют в целях исключения или снижения воздействия лучистой энергии на организм человека (СИЗ предохраняют от острого локального поражения и лишь частично от общего перегревания). Существуют следующие классы СИЗ: изолирующие костюмы (для особых ремонтных работ), специальная одежда и обувь (для повседневного ношения), средства защиты головы, лица, глаз и рук (в местах с повышенной опасностью или при наличии вредных для здоровья ус-

ловий труда). Общий вид некоторых средств индивидуальной защиты представлен на рис 7.18.



Рис. 7.18. Средства индивидуальной защиты от инфракрасного излучения: а) комплект теплоотражательный для пожарных, он относится к полутяжелому типу и предназначен для защиты пожарного от повышенных тепловых воздействий; б) костюм спасателя МЧС огнестойкий; в) костюм жаростойкий из хлопчатобумажной ткани с огнезащитной пропиткой; г) сапоги резиновые, формовые термостойкие; д) вачеги металлурга, предназначены для защиты рук при контакте с нагретыми поверхностями, от искр и брызг расплавленного металла изготовлены из шинельного сукна и кожевенного спилка; ж) средства защиты лица и глаз

Для создания спецодежды используют невоспламеняемые, стойкие против лучистой энергии, мягкие и воздухопроницаемые материалы (сукно, брезент, специально обработанное синтетическое волокно, ткани с металлическим покрытием) [31–34].

Специальная одежда по своим защитным свойствам подразделяется следующие группы [31]:

$T_T$  – от конвективной теплоты;

$T_{и}$  – от теплового излучения;

$T_{ит}$  – от теплового излучения и конвективной теплоты.

Помимо буквенного обозначения защитных свойств одежды используется обозначение уровня защиты, характеризующее защитные свойства одежды. Чем больше его числовое значение, тем выше защитные свойства одежды. Характеристики различных уровней защиты приведены в табл. 7.12.

Таблица 7.12

Требования к защитным свойствам специальной одежды для защиты от инфракрасного излучения

| Уровень защиты одежды $T_{и}$ , балл | Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup> | Время облучения, с |
|--------------------------------------|---|--------------------|
| 1                                    | Не более 2,0  | 1200               |
| 2                                    | От 2,0 до 8,0   | 780                |
| 3                                    | От 8,0 до 15,0  | 390                |
| 4                                    | От 15,0 до 20,0                                       | 180                |

Для защиты глаз от воздействия инфракрасного излучения промышленностью выпускаются стекла-светофильтры, применяемые в очках, щитках и других устройствах (см. рис. 7.18, ж). Для различных видов работ рекомендуются соответствующие защитные светофильтры из специального желто-зеленого или синего стекла. Предусматривается специальная обувь для защиты от повышенных температур (см. рис. 7.18, г): сапоги резиновые, формовые термостойкие предназначены для защиты ног от тепловых потоков, ушибов, проколов и прочих механических повреждений, сапоги укомплектованы вкладным теплоизолирующим чулком из полшерстяной байки. Обувь может быть также кожаной или валянной.

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

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

*Защита временем* применяется при высокой интенсивности инфракрасного облучения во избежание чрезмерного (опасного) общего перегревания и локального повреждения (ожога). Для этого устраиваются перерывы, частота и длительность которых определяется интенсивностью инфра-

красного облучения (табл. 7.13) [29]. Для отдыха во время перерывов применяются специальные кабины радиационного охлаждения или комнаты отдыха, в которых обеспечивается заданный микроклимат.

Таблица 7.13

Продолжительность перерывов в зависимости от интенсивности ИФКИ

| Интенсивность инфракрасного облучения, Вт/м <sup>2</sup> | Продолжительность периода непрерывного облучения, мин | Продолжительность паузы, мин | Соотношение продолжительности облучения и пауз |
|--|---|------------------------------|--|
| 350  | 20  | 8                            | 2,50   |
| 700  | 15  | 10                           | 1,50   |
| 1050   | 12  | 12                           | 1,00   |
| 1400   | 9   | 13                           | 0,70   |
| 1750   | 7   | 14                           | 0,50   |
| 2100   | 5   | 15                           | 0,33   |
| 2450   | 3,5   | 12                           | 0,30   |

Особую группу мер, направленных на предупреждение перегревания человека, представляют рациональный питьевой режим труда и гидропроцедуры. Для профилактики нарушения водного баланса работающих в условиях нагревающего микроклимата необходимо обеспечивать полное возмещение жидкости, различных солей, микроэлементов (магний, медь, цинк, йод и др.), растворимых в воде витаминов, выделяемых из организма с потом. Для оптимального обеспечения работающих водой целесообразно размещать установки газированной воды-сатураторы, питьевые фонтанчики, бачки и др. устройства питьевого водоснабжения максимально близко к рабочим местам и обеспечивать к ним свободный доступ. Для восполнения дефицита жидкости рекомендуется предусматривать выдачу рабочим чая, минеральной щелочной воды, клюквенного морса, молочнокислых напитков (обезжиренное молоко, пахта, молочная сыворотка), отваров из сухофруктов при соблюдении санитарных норм и правил их изготовления, хранения и реализации. Для повышения эффективности возмещения дефицита витаминов, солей, микроэлементов, применяемые напитки следует менять. Рекомендуется не ограничивать работников в общем количестве потребляемой жидкости, но объем однократного приема желателно регламентировать (один стакан). Наиболее оптимальной является температура жидкости, равная 12–15 °С.

*Медико-профилактические и законодательные мероприятия.* Для работы в нагревающей среде рекомендуется принимать работников не моложе 25 лет и не старше 40, обладающих тепловой устойчивостью не ниже средней, определяемой в соответствии с методическими рекомендациями

«Способы определения тепловой устойчивости рабочих» (№ 10-11/114, 1988 г., Минздрав СССР) [35]. Рекомендуется ограничение стажа работы в зависимости от класса вредности нагревающего микроклимата. Желателен дополнительный отпуск, но не к основному, а второй в году с использованием его для медицинской профилактики.

### **Контрольные вопросы к пункту 7.6**

1. Какое действие оказывает инфракрасное излучение на организм человека и почему весь его диапазон разбивается на три области?
2. С учетом каких факторов определяется ПДУ инфракрасного излучения?
3. На какой высоте от уровня пола проводится контроль интенсивности ИФКИ?
4. Какова допустимая величина интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.)?
5. Какие материалы применяются для теплоизоляции оборудования?
6. Какие виды экранов (по принципу действия) для защиты от инфракрасного излучения Вы знаете?
7. Какие виды СИЗ для защиты от инфракрасного излучения используются?

### **7.7. Ультрафиолетовое излучение**

*Ультрафиолетовое излучение (УФИ)* имеет диапазон длин волн от 200 до 400 нм. Искусственными источниками УФИ являются газоразрядные источники света, электрические дуги, лазеры, ртутные выпрямители и др. Тела начинают генерировать УФИ при температуре нагрева выше 1200 °С, интенсивность растет с увеличением температуры. Воздух прозрачен для УФИ с длиной волны  $\lambda < 185$  нм вследствие поглощения его кислородом.

#### **7.7.1. Действие ультрафиолетового излучения на организм человека**

Ультрафиолетовое излучение, составляющее приблизительно 5 % плотности потока солнечного излучения, – жизненно необходимый фактор, оказывающий благотворное стимулирующее действие на организм.

Необходимая для нормального функционирования организма человека ультрафиолетовая (УФ) радиация в зависимости от высоты солнца и содержания озона в атмосфере распределяется весьма неравномерно по территории нашей страны. Специалистами рассматриваются следующие широтные зоны [2]:

- 1) зона УФ-дефицита, простирающаяся от Крайнего Севера до 57,5° с.ш. (до Ярославля, Челябинска, Омска, Красноярска);

2) зона УФ-комфорта, расположенная южнее первой до 42,5° с.ш. (примерно до широты Сухуми, Тбилиси, Фрунзе).

На Крайнем Севере и в Заполярье недостаток УФ-радиации ощущается в течение 6–8 месяцев в году, в Санкт-Петербурге – 3, в Москве – 2 месяца, в Харькове и Саратове – 1 месяц. В летние месяцы в средней полосе России УФ радиация находится в избытке, а в Средней Азии такое положение сохраняется в течение 5 месяцев года.

В связи с тем, что обыкновенные стекла зданий в незначительной степени пропускают физиологически активное УФ-излучение, а в городах их и без того мало доходит до поверхности в результате загрязнения воздуха пылью, дымом, выхлопными газами, у людей, которые в дневное время большей частью находятся в помещении, а по улицам ездят в машине, развивается солнечное голодание. То же самое наблюдается и при длительной работе на севере, в шахте или метро.

При солнечном голодании кожа становится бледной, холодной, вялой, так как хуже снабжается питательными веществами и кислородом. В ней слабее циркулируют кровь и лимфа, из нее плохо выводятся продукты распада – шлаки, и начинается отравление организма отработанными веществами. Кроме того, капилляры делаются более ломкими, в связи с чем, увеличивается склонность к кровоизлияниям, к отекам, тяжелее протекают воспалительные процессы, что связано с повышением проницаемости стенок сосудов. При недостатке ультрафиолетового облучения наблюдаются и изменения состояния нервной системы: снижается память, ухудшается сон, увеличивается возбудимость у одних и безучастность, заторможенность у других, снижается иммунитет.

При недостатке УФ-облучения в организме возникает недостаток витамина Д, что приводит у взрослых и детей к нарушениям действия различных ферментов и гормонов. С этим связаны затруднения в усвоении пищевого кальция и фосфора, которые продолжают выводиться из организма, а значит, наступает обеднение тканей этими необходимыми веществами, что приводит к нарушению деятельности организма. При этом в любом возрасте начинают усиленно разрушаться зубы, увеличивается ломкость костей, а у больных легочным туберкулезом учащаются вспышки болезни, так как замедляется обызвествление туберкулезных очагов. Особенно опасно это явление в раннем возрасте, так как оно вызывает рахит со всеми его тяжелыми последствиями: ослаблением нервной системы, нарушениями развития костных тканей из-за нехватки кальция в костях, что приводит к искривлениям ног, ребер, позвоночника, нарушениям осанки, слабости мышц, замедленного роста и другим неблагоприятным симптомам, которые потом дают себя знать на протяжении всей жизни.

Ультрафиолетовое облучение может понижать чувствительность организма к некоторым вредным воздействиям вследствие усиления окисли-

тельных процессов в организме и более быстрого выведения вредных веществ из организма. Под воздействием УФИ оптимальной плотности наблюдали более интенсивное выведение марганца, ртути, свинца. Оптимальные дозы УФИ активизируют деятельность сердца, обмен веществ, повышают активность ферментов дыхания, улучшают кровотоки.

Однако известно, что ультрафиолетовое излучение является физическим фактором, воздействие которого на биологические объекты может приводить как к положительным, так и к отрицательным последствиям в зависимости от спектрального состава излучения и от значения экспозиции поверхностной (или объемной) плотности энергии излучения.

Весь диапазон УФИ разделяют на следующие области:

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

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

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

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

Наиболее уязвимы для УФИ глаза, причем страдает преимущественно роговица и слизистая оболочка. Острые поражения глаз, так называемые электроофтальмии, представляют собой острый конъюнктивит, или кератоконъюнктивит. Заболевание проявляется ощущением постороннего тела или песка в глазах, светобоязнью, слезотечением. Нередко наблюдается эритема (покраснение) кожи лица и век. К хроническим заболеваниям относят хронический конъюнктивит, блефарит, катаракту, помутнение хрусталика. Роговица глаза наиболее чувствительна к излучению волны длиной 270...280 нм; наибольшее воздействие на хрусталик оказывает излучение в диапазоне 295...320 нм. Возможность поражающего действия УФИ на сетчатку невелика, однако не исключена.

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

В комбинации с химическими веществами УФИ приводит к фотосенсибилизации – повышенной чувствительности организма к свету с развитием фототоксических и фотоаллергических реакций. Фотоаллергия проявляется в виде экзематозных реакций, образования узелково-папулезной сыпи на коже и слизистых. Фотоаллергия может приводить к стойкому повышению чувствительности организма к УФИ даже в отсутствие фотосенсибилизатора. Канцерогенный эффект УФИ для кожи зависит от дозы регулярного УФ-облучения и некоторых других сопутствующих факторов (диеты, приема лекарственных препаратов, температуры кожи), малые дозы УФИ представляют собой относительно небольшую опасность.

Наряду с этим УФИ оказывает влияние на центральную нервную систему, вызывая головную боль, головокружение, повышение температуры, нервное возбуждение и др.

УФИ изменяет состав производственной атмосферы: образуется озон, оксид азота и пероксид водорода, ионизируется воздух.

### ***7.7.2. Нормирование интенсивности ультрафиолетового излучения***

Основными нормативными документами являются:

- СП № 4557-88. «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» [36];
- МУ № 5046-89 Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей [37];
- Р 3.5.1904-04. Руководство «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях» [38];
- МУ 2.3.975-00. Методические указания «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами» [39];
- РМГ 77-2005 ГСИ. Интегральные характеристики ультрафиолетового излучения в охране труда. Методика выполнения измерений [40];
- Р 50.2.053-2006 ГСИ. Измерение энергетической освещенности УФИ в производственных помещениях. Методика проведения измерений [41].

В качестве нормативной величины УФИ в производственных помещениях согласно СП № 4557-88 [36] устанавливаются допустимые плотности потока излучения в зависимости от длины волн при условии защиты органов зрения и кожи.

**Допустимая интенсивность облучения работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более  $0,2 \text{ м}^2$  и периода облучения до 5 мин, длительности пауз между ними не менее 30 мин и общей продолжительности воздействия за смену до 60 мин не должна превышать:**

- 50,0 Вт/м<sup>2</sup> – для области УФ-А
- 0,05 Вт/м<sup>2</sup> – для области УФ-В
- 0,001 Вт/м<sup>2</sup> – для области УФ-С.

Допустимая интенсивность УФ-облучения работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более 0,2 м<sup>2</sup> (лицо, шея, кисти рук и др.), общей продолжительности воздействия излучения 50 % рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более не должна превышать:

- 10,0 Вт/м<sup>2</sup> – для области УФ-А;
- 0,01 Вт/м<sup>2</sup> – для области УФ-В.

Излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допущается.

Допустимая интенсивность УФ-облучения при использовании специальной одежды и средств защиты лица и рук не должна превышать в области:

- 1 Вт/м<sup>2</sup> – для областей УФ-В и УФ-С (200...315 нм).

### **7.7.3. Средства защиты от ультрафиолетового излучения**

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

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

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

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

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

## Контрольные вопросы к пункту 7.7

1. Что является источниками ультрафиолетового излучения?
2. Какое действие оказывает УФИ области А ( $\lambda = 390 \dots 315$  нм)?
3. Какое действие оказывает УФИ области В ( $\lambda = 315 \dots 280$  нм)?
4. Какое действие оказывает УФИ области С ( $\lambda = 280 \dots 200$  нм)?
5. В чем проявляется биологическое действие ультрафиолетового излучения?
6. По какому параметру ведется нормирование УФИ?
7. Какие факторы учитываются при нормировании УФИ?
8. Какие меры используются для защиты от УФИ?

## Библиографический список к главе 7

1. Большой энциклопедический словарь. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: «Большая Российская энциклопедия»; СПб.: Норинт, 2001 – 1456 с.
2. Данилова, Н.А. Природа и наше здоровье / Н.А. Данилова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Мысль, 1977 – 239 с.
3. Апполонский, С.М. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях / С.М. Апполонский, Т.В. Каляда, Б.Е. Синдаловский. – СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.
4. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09. Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях. – М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2009. – 5 с.
5. СанПиН 2.2.4.1191-03 (с изм. на 2 марта 2009 года). Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 17 с.
6. ГОСТ Р 12.4.026-2001. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 67 с.
7. Электромагнитная безопасность человека: справочно-информационное издание / Ю.Г. Григорьев, В.С. Степанов, О.А. Григорьев и др. – М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. – 145 с.
8. СанПиН № 2971-84. Санитарные нормы и правила «Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого ВЛЭП переменного тока промышленной частоты. – М.: Министерство здравоохранения СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. – М.: СПО «Союзтех-энерго», 1985 – 7 с.

9. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4 с.
10. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: ИЗД-ВО НЦ ЭНАС, 2001. – 192 с.
11. СанПиН 2.1.2.1002-00 (с изм. № 1). Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. – М.: Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. – Вып. 2 (4), июнь, 2001.
12. ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на сельтебных территориях. // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2007. – № 41.
13. ГОСТ 12.4.154-85. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 9 с.
14. ГОСТ 12.4.172-87. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы контроля. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.
15. Индивидуальные экранирующие комплекты для защиты от электромагнитных полей. Разработка, производство, поставка. – [http://www.energoform.ru/ru\\_products\\_energy.html](http://www.energoform.ru/ru_products_energy.html).
16. Дендромелиорация трасс ВЛ и территорий подстанций / Г.Н. Александров, Е.Н. Булыгин, В.А. Кашина, Т.В. Лисочкина // Энергетическое строительство. – 1993. – № 5. – С. 57–62.
17. Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции.: Голосеменные / Акад. Наук СССР, Ботан. ин-т им. В.Л.Комарова; ред.: С.Я. Соколов, Б.К. Шишкин. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 1. – 1464 с.
18. ГОСТ 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.
19. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи // Российская газета. – 2003. – № 85.
20. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 (с изм. на 19.12.07). Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов // Российская газета. – 2003. – № 119/1.
21. МУ 4.3.2320-08. Порядок подготовки и оформления санитарно-эпидемиологических заключений на передающие радиотехнические объекты // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. – 2008. – Вып. 1 (31).

22. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1993. – 78 с.
23. Степанов, А.Г. Техника безопасности при эксплуатации лазерных установок / А.Г. Степанов, Р.В. Сабарно. – Киев: Техника, 1989. – 109 с.
24. ГОСТ 12.1.031-81. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 23 с.
25. Методические указания по проведению дозиметрического контроля и гигиенической оценки лазерного излучения. – М.: Министерство здравоохранения; Главное санитарно-профилактическое управление, 1991. – 10 с.
26. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
27. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. № 1). Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – М.: Стандартиформ, 2006. – 72 с.
28. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
29. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: введено в действие с 01.11. 2005 г. – Изд-во «ДЕАН», 2006. – 239 с.
30. Безопасность труда на производстве. Защитные устройства: справочное пособие / под ред. Б.М. Злобинского. – М.: Металлургия, 1971. – 456 с.
31. ГОСТ 12.4.221-2002. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
32. ГОСТ 12.4.176-89. Одежда специальная для защиты от теплового излучения. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 5 с.
33. ГОСТ 12.4.045-87. Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 14 с.
34. ГОСТ 12.4.139-84. Костюм изолирующий автономный теплозащитный. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
35. МР № 10-11/114 Методические рекомендации «Способы определения тепловой устойчивости рабочих. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1988. – 17 с.
36. СП № 4557-88. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях / Сб. материалов по санитарным и противоэпидемиологическим вопросам. В 7 т. Том I. Санитарные правила и нормы (СанПиН), гигиенические нормативы и перечень методических указаний и рекомендаций по гигиене труда. Часть 1. – М.: МП «Рарог», 1991. – 9с.

37. МУ № 5046-89. Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения). – М.: Центральный ордена Ленина институт усовершенствования врачей Минздрава СССР, 1989 – 7 с.

38. Р 3.5.1904-04. Руководство «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях». – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2005. – 28 с.

39. МУ 2.3.975-00. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами. Методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 24 с.

40. РМГ 77-2005 ГСИ. Интегральные характеристики ультрафиолетового излучения в охране труда. Методика выполнения измерений. – М.: Стандартинформ, 2005. – 8 с.

41. Р 50.2.053-2006 ГСИ. Измерение энергетической освещенности УФИ в производственных помещениях. Методика проведения измерений. – М.: Стандартинформ, 2006. – 5 с.

## Глава 8. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

**Ионизирующее излучение** – излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

Радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение, называют *источником ионизирующего излучения* [1].

Источники ионизирующего излучения подразделяются на:

- *природные источники излучения* (космические лучи и естественные радиоактивные источники, находящиеся в атмосфере, воде и почве);
- *техногенные источники излучения* (ядерные реакторы, ядерное оружие, ускорители заряженных частиц, захороненные радиоактивные отходы, рентгеновские аппараты).

Источники ионизирующих излучений применяют в различных ядерно-технических установках, контрольно-измерительных приборах (дефектоскопия металлов, контроль качества сварных соединений, измерение толщины металла и др.), при геологической разведке (геофизические исследования скважин), а также в медицине (рентгеновские исследования, уничтожение злокачественных клеток).

Источники ионизирующих излучений представляют потенциальную угрозу здоровью и жизни людей, которые их используют.

### 8.1. Виды ионизирующих излучений

Различают следующие виды ионизирующих излучений:

- 1) **корпускулярное** ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и нейтронное излучение) – потоки частиц;
- 2) **фотонное** ( $\gamma$ -, тормозное, характеристическое и рентгеновское излучение) – электромагнитные волны высокой частоты.

**$\alpha$ -излучение** представляет собой поток ядер гелия, испускаемых при радиоактивном распаде ядер некоторых химических элементов ( ${}_{92}^{238}\text{U}$ ,  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ ,  ${}_{84}^{210}\text{Po}$ ). Энергия  $\alpha$ -частиц лежит в диапазоне 3...9 МэВ. Они обладают высокой ионизирующей и маленькой проникающей способностью. Длина пробега  $\alpha$ -частицы в воздухе составляет менее 10 см, в твердых веществах – несколько микрон, а в мягкой биологической ткани – несколько десятков микрон. Поток  $\alpha$ -частиц задерживается листом бумаги.

**$\beta$ -излучение** состоит из потока электронов ( $\beta^-$ ) или позитронов ( $\beta^+$ ), возникающих при радиоактивном  $\beta^-$ -распаде ( ${}_{90}^{234}\text{Th}$ ,  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ ,  ${}_{82}^{214}\text{Pb}$ ) и  $\beta^+$ -распаде ( ${}_{15}^{30}\text{P}$ ,  ${}_{11}^{22}\text{Na}$ ). Энергия  $\beta$ -частиц, испускаемых различными радионуклидами, составляет 0,1...3,5 МэВ. Ионизирующая способность  $\beta$ -

частиц низка, а проникающая выше, чем  $\alpha$ -частиц. Длина пробега  $\beta$ -частиц в воздухе – 0,2...1,6 м, а в биологических тканях – 2,5 см, свинце – 0,04 см. Поток  $\beta$ -частиц задерживается металлической фольгой.

**Нейтронное излучение** является потоком электронейтральных частиц ядра. В зависимости от энергии различают медленные нейтроны (с энергией менее 1 кэВ), нейтроны промежуточных энергий (от 1 до 500 кэВ) и быстрые нейтроны (от 500 кэВ до 20 МэВ). Среди медленных нейтронов различают тепловые нейтроны с энергией менее 0,2 эВ. Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии, но она существенно выше, чем у  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц. Длина пробега нейтронов промежуточной энергии составляет около 15 м в воздушной среде и 3 см в биологической ткани, аналогичные показатели для быстрых нейтронов: 120 м и 10 см соответственно. Таким образом, нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью и представляет для человека наибольшую опасность из всех видов корпускулярного излучения.

Быстрые нейтроны хорошо ослабляются на тяжелых материалах (свинец, бетон), а промежуточные – на водородсодержащих веществах (вода, парафин, полиэтилен).

**$\gamma$ -излучение** представляет собой электромагнитное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер, при ядерных превращениях и аннигиляции частиц (превращении при столкновении частицы и античастицы). Оно обладает высокой проникающей способностью, а ионизирующая способность меньше, чем у  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения.

**Тормозное излучение** – это фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц.

**Характеристическое излучение** – это фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атомов.

**Рентгеновское излучение** – это фотонное излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений

Замедление рентгеновского и  $\gamma$ -излучения наиболее интенсивно происходит на тяжелых элементах (свинец, железо, бетон).

## 8.2. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

### *Взаимодействие заряженных частиц с веществом*

Возникающие в процессе радиоактивного распада излучения, проходя через вещество, взаимодействуют с атомами и молекулами среды, передавая им свою энергию [2].

$\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, представляющие собой поток заряженных частиц, проходя через вещество, в основном взаимодействуют с электронами ато-

мов, передавая им свою энергию, которая расходуется на ионизацию (отрыв электронов от атома) и возбуждение атома (перевод электрона на более удаленную от ядра оболочку). Число ионизированных и возбужденных атомов, образуемых  $\alpha$ -частицей на единице длины пути в среде в сотни раз больше, чем у  $\beta$ -частицы. Это обусловлено тем, что масса  $\alpha$ -частицы примерно в 7000 раз больше массы  $\beta$ -частицы, следовательно, при одной и той же энергии ее скорость значительно ниже. А чем меньше скорость частицы, тем больше вероятность ее взаимодействия с атомами среды.

#### *Взаимодействие нейтронов с веществом*

Нейтроны при прохождении через вещество взаимодействуют с ядрами атомов среды, передавая им часть своей энергии и изменяя направление движения. Этот процесс называется *упругим рассеянием* и продолжается до тех пор, пока энергия нейтрона не станет менее 0,025 эВ. Ядра, получившие от нейтрона часть кинетической энергии, «вылетают» из электронной оболочки и, будучи положительно *заряженными*, производят ионизацию атомов среды. Доля энергии, переданная нейтроном в процессе упругого рассеяния, тем больше, чем меньше масса атомов среды.

Наряду с упругим возможно *неупругое рассеяние* нейтронов. В этом случае нейтрон захватывается ядрами атомов среды, происходит перераспределение энергии между частицами во вновь образуемом ядре, и из него вылетает нейтрон с меньшей энергией и фотон.

Следовательно, при упругом и неупругом взаимодействиях нейтронов с веществом образуются либо заряженные частицы, которые непосредственно производят ионизацию атомов, либо фотонное излучение, ионизирующая способность которого обусловлена вторичными электронами.

#### *Взаимодействие фотонов с веществом*

Фотоны взаимодействуют с электронами атома и с электрическим полем ядра. Проходя через вещество, фотонное излучение ослабляется по экспоненциальному закону, т.е. никогда не поглощается полностью. В этом его принципиальное отличие от корпускулярного излучения. Различают более десяти различных типов взаимодействия фотонов с веществом. Наиболее важными с точки зрения защиты от фотонного излучения являются фотоэффект, комптон-эффект и эффект образования электронно-позитронной пары.

*Фотоэффект.* Фотон поглощается атомом, передавая свою энергию одному из орбитальных электронов (преимущественно с К-оболочки), выбивает его из атома и сообщает ему кинетическую энергию. Чем больше атомный номер  $Z$  атомов среды, тем выше вероятность фотоэффекта.

*Комптон-эффект.* Фотон передает электрону только часть своей энергии, в основном электронам внешней оболочки. Фотом при этом меняет свою энергию и направление движения – рассеивается. Чем выше энергия

фотона, тем меньше вероятность комптоновского рассеивания, однако она возрастает с увеличением количества электронов на пути фотона, т.е. с повышением атомного номера и плотности вещества.

*Эффект образования электронно-позитронной пары.* В результате взаимодействия фотона с электрическим полем ядра фотон исчезает и образуется пара частиц: электрон и позитрон. Этот процесс возможен, если энергия фотона больше суммы энергий покоя электрона и позитрона, т. е. больше 1,02 МэВ.

Таким образом, фотонное излучение непосредственно ионизации не производит, но в процессе взаимодействия с атомами передает часть своей энергии или полностью всю энергию электронам, которые затем производят ионизацию среды.

Следовательно, и для корпускулярного, и для  $\gamma$ -излучения, испускаемого при радиоактивном распаде, конечным эффектом взаимодействия с веществом является ионизация и возбуждение. Поэтому разные биологические эффекты, наблюдаемые под воздействием  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, нейтронов или фотонного излучения, обусловлены не их физической природой, а закономерностями пространственного распределения ионизированных и возбужденных атомов в облучаемом объекте.

### 8.3. Основные характеристики ионизирующих излучений

Воздействие излучения на вещество будет тем больше, чем больше распадов ядер происходит в единицу времени [3].

Для характеристики числа распадов вводится понятие *активности*.

*Активность  $A$*  – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени:

$$A = \frac{dN}{dt},$$

где  $dN$  – ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени  $dt$ . Единицей активности является беккерель (Бк).

Использувавшаяся ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

Активность радионуклида подчиняется закону радиоактивного распада, т.е. уменьшается во времени по экспоненциальному закону

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

где  $A_0$  – активность радионуклида в начальный момент  $t=0$ ;  $\lambda$  – постоянная распада

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}},$$

где  $T_{1/2}$  – период полураспада радионуклида, с.

Значения периодов полураспада наиболее распространенных радионуклидов приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Периоды полураспада радионуклидов

| Радионуклид | Период полураспада | Радионуклид | Период полураспада   |
|-------------|--------------------|-------------|----------------------|
| Фосфор-32   | 14,29 сут          | Цезий-137   | 30 лет               |
| Кобальт-60  | 5,27 года          | Барий-133   | 10,7 года            |
| Цинк-65     | 243,9 сут          | Таллий-204  | 3,77 года            |
| Рубидий-86  | 18,66 сут          | Радий-228   | 5,77 года            |
| Стронций-90 | 29,12 года         | Йод-131     | 8,04 сут             |
| Иттрий-88   | 106,6 сут          | Уран-235    | $6,8 \cdot 10^8$ лет |

Для характеристики воздействия ионизирующего излучения на вещество введено понятие *дозы излучения*.

Количественной характеристикой взаимодействия ионизирующего излучения и вещества является *поглощенная доза излучения*.

**Поглощенная доза  $D$**  – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу

$$D = \frac{d\bar{e}}{dm},$$

где  $d\bar{e}$  – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме;  $dm$  – масса вещества в этом объеме.

Поглощенная доза – основная дозиметрическая величина. В системе Си в качестве единицы поглощенной дозы принят *грей* (Гр). 1 Гр соответствует поглощению в среднем 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества, равной 1 кг, т. е. 1 Гр = 1 Дж/кг. Используемая ранее внесистемная единица *рад* равна 0,01 Гр.

До недавнего времени за количественную характеристику только рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, основанную на их ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе, принималась *экспозиционная доза*.

**Экспозиционная доза  $X$**  – отношение суммарного заряда  $dQ$  всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воздуха с массой  $dm$ , полностью остановились в воздухе, к массе воздуха в указанном объеме:

$$X = \frac{dQ}{dm}.$$

Единица экспозиционной дозы в СИ – *кулон на килограмм* (Кл/кг), внесистемная единица – *рентген* (Р).  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ .

Для различных видов излучения биологический эффект при одинаковой поглощенной дозе оказывается различным. Например, при одинаковой поглощенной дозе  $\alpha$ -излучение гораздо опаснее  $\beta$ - или фотонного излучения. Поэтому для оценки биологического эффекта воздействия излучения любого состава является *эквивалентная доза*.

**Эквивалентная доза  $H_{T,R}$**  – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $W_R$

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R},$$

где  $D_{T,R}$  – средняя поглощенная доза в органе или ткани Т;  $W_R$  – взвешивающий коэффициент для излучения R.

Единицей эквивалентной дозы в СИ является Дж/кг, имеющей специальное название *зиверт* (Зв). Внесистемная единица – *бэр* (биологический эквивалент рада).  $1 \text{ Зв} = 10^2 \text{ бэр}$ .  $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$ .

Разные органы или ткани имеют разные чувствительности к излучению. Поэтому введено понятие *эффективной дозы*.

**Эффективная доза  $E$**  – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T,$$

где  $H_T$  – эквивалентная доза в органе или ткани Т;  $W_T$  – взвешивающий коэффициент для органа или ткани. Единица эффективной дозы – *зиверт* (Зв). Внесистемная единица – *бэр*.

Значения взвешивающих коэффициентов  $W_R$  и  $W_T$  приведены в «Нормах радиационной безопасности НРБ-99» [1].

Существует еще одна характеристика ионизирующего излучения – *мощность дозы*.

**Мощность дозы** – доза за единицу времени (секунду, минуту, час).

Мощность поглощенной дозы  $\dot{D}$  (мощность экспозиционной дозы  $\dot{X}$ , мощность эквивалентной дозы  $\dot{H}$ , мощность эффективной дозы  $\dot{E}$ ) – отношение приращения поглощенной дозы  $dD$ , (экспозиционной дозы  $dX$ ,

эквивалентной дозы  $dH$ , эффективной дозы  $dE$ ) за интервал времени  $dt$  к этому интервалу

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \left( \dot{X} = \frac{dX}{dt}, \quad \dot{H} = \frac{dH}{dt}, \quad \dot{E} = \frac{dE}{dt} \right)$$

Единицы мощности доз – частные от деления единиц поглощенной дозы (экспозиционной дозы, эквивалентной дозы, эффективной дозы) или их кратных или дольных единиц на соответствующую единицу времени. Например, Гр/с, мкГр/ч, мкР/ч, мкЗв/ч.

#### 8.4. Биологическое действие ионизирующих излучений

Ионизирующее излучение вызывает в организме человека цепочку обратимых и необратимых изменений [4]. Пусковым механизмом воздействия являются процессы ионизации и возбуждения атомов и молекул в тканях. Чем больше происходит в веществе актов ионизации под воздействием излучения, тем больше биологический эффект. Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры различных соединений. Изменения в химическом составе значительного числа молекул приводят к гибели клеток. Существенную роль в формировании биологических эффектов играют радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды.

Под влиянием излучений в живой ткани происходит расщепление воды на атомарный водород  $H^+$  и гидроксильную группу  $OH\cdot$ , которые, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других элементов биологической ткани, что приводит к нарушению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению деятельности отдельных функций и целых систем организма [5].

Индукцированные свободными радикалами  $H^+$  и  $OH\cdot$  химические реакции развиваются с большим выходом, вовлекая в процесс сотни и тысячи молекул, не задействованных излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Эффекты развиваются в течение различных промежутков времени: от нескольких секунд до многих часов, дней, лет.

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов:

- *стохастические* – вредные биологические эффекты, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность их возникновения пропорциональна дозе, а тяжесть проявления не зависит от дозы (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни);

- *детерминированные* – клинически выявляемые эффекты, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы (лучевая болезнь, дистрофические повреждения тканей, косметические повреждения кожи, нарушение воспроизводительной функции и т.п.).

Различают четыре степени острой лучевой болезни:

- I-я – легкая степень – наступает при дозах 1–2 Гр, проявляется в виде слабости, головокружений, нарушений сна и аппетита, изменений в составе крови (умеренная лейкопения – уменьшение числа лейкоцитов), смертельные исходы отсутствуют;

- II-я – средняя степень – наступает при дозах 2–4 Гр, симптомами являются тошнота, рвота в первые сутки после облучения, лейкопения, в 20 % случаев возможен смертельный исход через 2–6 недель после облучения;

- III-я – тяжелая степень – наступает при дозах 4–6 Гр, симптомами являются тошнота, рвота, лейкопения, подкожные кровоизлияния, изъязвления, в 50 % случаев возможен смертельный исход в течение месяца после облучения;

- IV-я – крайне тяжелая степень – наступает при дозах более 6 Гр, симптомы: рвота через 1–2 часа после облучения, почти полностью исчезают лейкоциты в крови, подкожные кровоизлияния, изъязвления, кровавый понос, в 100 % случаев наступает смерть от инфекционных заболеваний или кровоизлияний.

Нижний уровень развития легкой формы лучевой болезни возникает при дозе облучения, эквивалентной приблизительно 1 Зв; тяжелая форма лучевой болезни, при которой погибает половина всех облученных, наступает при дозе облучения, эквивалентной 4,5 Зв. 100 %-ный смертельный исход лучевой болезни соответствует дозе облучения, эквивалентной 5,5...7,0 Зв.

Степень воздействия ионизирующего излучения зависит от того, является ли облучение внешним или внутренним. Внутреннее облучение осуществляется радиоактивными веществами, попавшими внутрь организма через дыхательные органы, желудочно-кишечный тракт или через кожные покровы. Внутреннее облучение организма длится до тех пор, пока радиоактивное вещество не распадется или не будет выведено из организма в результате процессов физиологического обмена; оно опасно тем, что вызывает длительно незаживающие язвы различных органов и злокачественные опухоли.

## **8.5. Нормирование воздействия ионизирующих излучений**

Основным нормативным документом, регламентирующим уровни воздействия ионизирующих излучений в Российской Федерации, являются СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года № 47 [1].

Нормы распространяются на воздействие ионизирующего излучения на человека в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения, в результате радиационной аварии, от природных источников излучения и при медицинском излучении.

Для ограничения техногенного облучения в нормальных условиях эксплуатации техногенных источников излучения НРБ-99/2009 устанавливают следующие категории облучаемых лиц:

- персонал – лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются два класса нормативов:

1) **основные пределы доз (ПД)**, приведенные в табл. 8.2;

2) **допустимые уровни** монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), допустимые среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;

Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 8.2

Основные пределы доз

| Нормируемые величины       | Пределы доз  |  |
|----------------------------|--|--|
|                            | Персонал (группа А)  | Население  |
| Эффективная доза           | 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год | 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год |
| Эквивалентная доза за год: |  |  |
| в хрусталике глаза         | 150 мЗв  | 15 мЗв   |
| в коже                     | 500 мЗв  | 50 мЗв   |
| в кистях и стопах          | 500 мЗв  | 50 мЗв   |

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

Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Сумма эффективной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год, не должна превышать пределов доз, приведенных в табл. 8.2.

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

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

Планируемое облучение персонала группы А выше установленных пределов доз при ликвидации или предотвращении аварии может быть разрешено только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. Планируемое повышенное облучение допускается для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год допускается с разрешения территориальных органов Госсанэпиднадзора, а до 200 мЗв в год – только с разрешения федерального органа Госсанэпиднадзора.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв в год.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование.

В производственных условиях (любые профессии и производства) эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв.

## 8.6. Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений

Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений регламентируется СП 2.6.1.799-99. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Основные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), утвержденные Главным государственным врачом Российской Федерации 27 декабря 1999 г [6].

Все работы с источниками ионизирующих излучений санитарные правила подразделяют на два вида: на работу с закрытыми источниками излучений и устройствами, генерирующими ионизирующее излучение, и работу с открытыми источниками излучений (радиоактивными веществами).

**Закрытый источник излучения** – источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

**Открытый источник излучения** – источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.

Главной опасностью закрытых источников ионизирующих излучений является *внешнее облучение*, определяемое видом излучения, активностью источника, плотностью потока излучения и создаваемой им дозой облучения.

Защита от внешнего облучения предусматривает разработку таких методов, которые бы снижали дозу внешнего облучения до предельно допустимых значений.

Основные методы обеспечения радиационной безопасности при применении закрытых источников:

- *защита количеством* – уменьшение мощности источника до минимальной величины, т.е. проведение работ с минимальным количеством радиоактивных веществ. На практике применение этого метода защиты ограничено, так как требования технологического процесса часто не позволяют сократить количество радиоактивного вещества в источнике;
- *защита временем* – сокращение времени работы с источником излучения, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала;
- *защита расстоянием* – увеличение расстояния от источника до работающих: чем больше расстояние от источника, тем больше процессов взаимодействия с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения;
- *защита экранами* – экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение – это наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида излучений для

изготовления экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется мощностью излучения [5].

Лучшими экранами для защиты от фотонного излучения являются материалы с большим атомным номером, например свинец. Более дешевые экраны изготавливают из просвинцованного стекла, железа, бетона или железобетона. Для защиты от  $\beta$ -излучения применяют защитные конструкции из плексигласа, алюминия или стекла. Для защиты от нейтронного излучения обычно используют воду или полиэтилен. Передвижные экраны для защиты от  $\alpha$ -излучений устраиваются из обычного или органического стекла толщиной несколько миллиметров.

Защита от открытых источников ионизирующих излучений предусматривает как защиту от внешнего облучения, так и защиту персонала от внутреннего облучения, связанного с возможным проникновением радиоактивных веществ в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу. Способы защиты персонала при работе с открытыми источниками следующие:

- использование принципов защиты, применяемых при работе с закрытыми источниками;
- герметизация производственного оборудования с целью изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду.

Также защита от воздействия ионизирующих излучений может осуществляться с помощью различных химических средств, вводимых в организм до или во время действия ионизирующих излучений и направленных на повышение устойчивости облучаемых к действию радиации. Такие специфические радиозащитные средства называются радиопротекторы. В основе противолучевого действия этих соединений лежит способность предупреждать изменения в радиочувствительных органах и тканях, сохранять способность части клеток к размножению. Под их влиянием в кровеносных органах и кишечнике ослабевают некробиотические (приводящие к гибели клетки) процессы, уменьшается число клеток с хромосомными перестройками, происходит более быстрое восстановление митотической активности (способности к делению). Это может быть связано с вмешательством радиопротекторов в первичные физико-химические процессы лучевого поражения, а также с изменением хода лучевой реакции на более поздних этапах

*Мероприятия планировочного характера.* Планировка помещений предполагает максимальную изоляцию работ с радиоактивными веществами от других помещений и участков, имеющих иное функциональное назначение. Помещения для работ I-го класса должны размещаться в отдельных зданиях или изолированной части зданий, имеющей отдельный вход. Помещения для работ II-го класса должны размещаться изолированно от других помещений; работы III-го класса могут проводиться в отдельных

помещениях, соответствующих требованиям, предъявляемым к химическим лабораториям.

*Использование средств индивидуальной защиты персонала* (рис. 8.1). При работах I-го класса и отдельных работах II-го класса работники обеспечиваются комбинезонами или костюмами, тапочками, спецбельем, носками, легкой обувью или ботинками, перчатками, бумажными полотенцами и носовыми платками разового пользования, а также средствами защиты органов дыхания; при работах II-го и III-го класса работники снабжаются халатами, тапочками, легкой обувью и при необходимости средствами защиты органов дыхания (фильтрующими или изолирующими респираторами).



Рис. 8.1. Средства индивидуальной защиты от ионизирующих излучений

*Выполнение правил личной гигиены.* Эти правила предусматривают личностные требования к работающим с источниками ионизирующих излучений: запрещение курения в рабочей зоне, тщательная очистка (дезактивация) кожных покровов после окончания работы, проведение дозиметрического контроля загрязненной спецодежды, спецобуви и кожных покровов. Все эти меры предполагают исключение возможности проникновения радиоактивных веществ внутрь организма.

### 8.7. Радиационный контроль

Радиационный контроль является важнейшей частью обеспечения радиационной безопасности. Он имеет целью определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов.

Радиационному контролю подлежат:

- радиационные характеристики источников излучения, выбросов в атмосферу, жидких и твердых радиоактивных отходов;
- радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде;
- радиационные факторы на загрязненных территориях и в зданиях с повышенным уровнем природного облучения;
- уровни облучения персонала и населения от всех источников излучения, на которые распространяется действие настоящих Норм.

Основными контролируруемыми параметрами являются:

- годовая эффективная и эквивалентная дозы (см. табл. 3.1);
- поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления;
- объемная или удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, пищевых продуктах, строительных материалах и др.;
- радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;
- доза и мощность дозы внешнего облучения;
- плотность потока частиц и фотонов.

При планировании и проведении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, принятии решений в области обеспечения радиационной безопасности, анализе эффективности указанных мероприятий органами государственной власти, органами местного самоуправления, а также организациями, осуществляющими деятельность с использованием источников ионизирующего излучения, проводится оценка радиационной безопасности по следующим основным показателям:

- характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- анализ обеспечения мероприятий по радиационной безопасности и выполнения норм, правил и гигиенических нормативов в области радиационной безопасности;
- вероятность радиационных аварий и их масштаб;
- степень готовности к эффективной ликвидации радиационных аварий и их последствий;
- анализ доз облучения, получаемых отдельными группами населения от всех источников ионизирующего излучения;
- число лиц, подвергшихся облучению выше установленных пределов доз облучения.

### **Контрольные вопросы к главе 8**

1. Охарактеризуйте виды ионизирующих излучений.
2. Назовите типы взаимодействия фотонов с веществом.

3. Что является конечным эффектом взаимодействия с веществом различных видов ионизирующего излучения?
4. Что характеризует активность радионуклида?
5. Назовите единицы измерения поглощенной, экспозиционной, эквивалентной доз излучения?
6. Что такое эффективная доза?
7. Какие эффекты могут вызвать в организме человека ионизирующие излучения?
8. Какие классы нормативов установлены для ограниченно-техногенного облучения?
9. В чем разница между закрытым и открытым источниками излучения?
10. Назовите способы защиты человека от ионизирующих излучений.

### **Библиографический список к главе 8**

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09.
2. Булдаков, Л.А. Радиоактивные вещества и человек / Л.А. Булдаков. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 160 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. проф. Л.А. Муравья.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 431 с.
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов – 8-е изд., стер. / С.В.Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова.– М.: Высш. шк., 2008. – 616 с.
5. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99):2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП2.6.1.799-99. – М.: Минздрав России, 2000. – 98 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Введение</b> .....  | 3   |
| <b>Глава 1. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности</b>  |     |
| 1.1. Определение, цели, задачи, объект и предметы изучения науки<br>«Безопасность жизнедеятельности» .....         | 4   |
| 1.2. Опасности и их источники, количественная характеристика<br>опасности, концепция приемлемого риска .....       | 7   |
| 1.3. Понятие безопасности. Системы безопасности .....  | 12  |
| 1.4. Принципы и методы обеспечения безопасности .....  | 13  |
| 1.5. Характеристика человека как элемента системы<br>«человек – среда обитания» .....                              | 14  |
| Контрольные вопросы к главе 1 .....  | 18  |
| Библиографический список к главе 1 .....   | 18  |
| <b>Глава 2. Классификация негативных факторов производственной<br/>среды и условий трудовой деятельности</b> ..... | 19  |
| Контрольные вопросы к главе 2 .....  | 25  |
| Библиографический список к главе 2 .....   | 25  |
| <b>Глава 3. Воздух рабочей зоны</b>  |     |
| 3.1. Микроклимат производственных помещений .....  | 26  |
| 3.2. Нормирование параметров микроклимата .....  | 35  |
| 3.2.1. Оптимальные условия микроклимата .....  | 37  |
| 3.2.2. Допустимые условия микроклимата .....   | 38  |
| 3.3. Вредные вещества .....  | 43  |
| 3.3.1. Классификация вредных веществ .....   | 46  |
| 3.3.2. Нормирование и контроль содержания вредных веществ<br>в воздухе рабочей зоны .....                          | 51  |
| 3.3.3. Мероприятия по снижению воздействия вредных веществ ..  | 54  |
| 3.3.4. Индивидуальные средства защиты органов дыхания .....  | 55  |
| 3.4. Мероприятия и средства нормализации воздушной среды<br>производственных помещений и рабочих мест .....        | 59  |
| Контрольные вопросы к главе 3 .....  | 74  |
| Библиографический список к главе 3 .....   | 74  |
| <b>Глава 4. Производственное освещение</b>   |     |
| 4.1. Виды производственного освещения .....  | 76  |
| 4.2. Нормирование параметров производственного освещения .....   | 83  |
| 4.3. Источники искусственного освещения .....  | 89  |
| 4.4. Светильники .....   | 99  |
| Контрольные вопросы к главе 4 .....  | 101 |
| Библиографический список к главе 4 .....   | 102 |
| <b>Глава 5. Вибрация</b> .....   | 103 |
| 5.1. Характеристика основных параметров вибрации .....   | 103 |
| 5.2. Действие вибрации на организм .....   | 113 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.3. Гигиеническое нормирование вибрации .....   | 115        |
| 5.4. Профилактика вибропоражений .....   | 118        |
| Контрольные вопросы к главе 5 .....  | 121        |
| Библиографический список к главе 5 .....   | 122        |
| <b>Глава 6. Шум. Инфразвук и ультразвук .....</b>  | <b>123</b> |
| 6.1. Физические характеристики звуковой волны .....  | 123        |
| 6.2. Гигиеническая характеристика шума.....  | 128        |
| 6.3. Гигиеническое нормирование шума.....  | 130        |
| 6.4. Профилактические мероприятия .....  | 133        |
| 6.5. Физическая и гигиеническая характеристики ультразвука<br>и инфразвука .....   | 136        |
| 6.6. Действие ультразвука и инфразвука на организм.....  | 138        |
| 6.7. Гигиеническое нормирование ультразвука и инфразвука .....   | 142        |
| 6.8. Меры предупреждения вредного действия ультразвука<br>и инфразвука.....  | 145        |
| Контрольные вопросы к главе 6.....   | 149        |
| Библиографический список к главе 6.....  | 150        |
| <b>Глава 7. Электромагнитные поля и излучения .....</b>  | <b>151</b> |
| 7.1. Гипогеомагнитное поле .....   | 151        |
| 7.1.1. Геомагнитное поле Земли.....  | 151        |
| 7.1.2. Гигиеническое нормирование ГМП .....  | 152        |
| 7.1.3. Контроль уровня степени ослабления геомагнитного<br>поля и мероприятия по защите от вредного влияния<br>гипогеомагнитных условий на здоровье человека ..... | 154        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.1 .....   | 156        |
| 7.2. Постоянное магнитное поле (ГМП).....  | 156        |
| 7.2.1. Действие постоянного магнитного поля на человека .....  | 157        |
| 7.2.2. Гигиеническое нормирование постоянного<br>магнитного поля .....   | 157        |
| 7.2.3. Мероприятия по защите от вредного действия<br>постоянного магнитного поля.....  | 158        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.2.....  | 160        |
| 7.3. Электромагнитное поле промышленной частоты (50 Гц) .....  | 160        |
| 7.3.1. Действие электромагнитных полей промышленной частоты<br>на здоровье человека .....  | 160        |
| 7.3.2. Нормирование интенсивности электрического и магнитного<br>полей промышленной частоты.....   | 162        |
| 7.3.3. Средства защиты персонала, работающего в зоне действия<br>электромагнитных полей частотой 50 Гц .....   | 167        |
| 7.3.4. Средства защиты населения, проживающего<br>или работающего вблизи источников электромагнитных<br>полей частотой 50 Гц .....                                 | 173        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.3 .....   | 175        |

|  |            |
|--|------------|
| 7.4. Электромагнитное поле радиочастотного диапазона .....                                     | 176        |
| 7.4.1. Действие электромагнитных полей радиочастотного<br>диапазона на организм человека ..... | 176        |
| 7.4.2. Нормирование электромагнитных полей радиочастотного<br>диапазона.....                   | 178        |
| 7.4.3. Контроль интенсивности электромагнитного поля<br>радиочастотного диапазона .....        | 185        |
| 7.4.4. Защита от воздействия электромагнитного поля<br>радиочастотного диапазона .....         | 187        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.4.....  | 195        |
| 7.5. Лазерное излучение .....  | 196        |
| 7.5.1. Действие лазерного излучения на организм человека .....                                 | 197        |
| 7.5.2. Нормирование интенсивности лазерного излучения .....                                    | 200        |
| 7.5.3. Контроль уровня лазерного излучения .....   | 202        |
| 7.5.4. Средства защиты от лазерного излучения.....   | 202        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.5 .....   | 208        |
| 7.6. Инфракрасное излучение .....  | 208        |
| 7.6.1. Действие инфракрасного излучения на организм<br>человека .....                          | 208        |
| 7.6.2. Нормирование инфракрасного излучения.....   | 209        |
| 7.6.3. Средства защиты от теплового облучения.....   | 210        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.6.....  | 221        |
| 7.7. Ультрафиолетовое излучение .....  | 221        |
| 7.7.1. Действие ультрафиолетового излучения на организм<br>человека.....                       | 221        |
| 7.7.2. Нормирование интенсивности ультрафиолетового<br>излучения.....                          | 224        |
| 7.7.3. Средства защиты от ультрафиолетового излучения .....                                    | 225        |
| Контрольные вопросы к пункту 7.7 .....   | 226        |
| Библиографический список к главе 7 .....   | 226        |
| <b>8. Ионизирующие излучения .....</b>   | <b>230</b> |
| 8.1. Виды ионизирующих излучений .....   | 230        |
| 8.2. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом .....                                   | 231        |
| 8.3. Основные характеристики ионизирующих излучений .....                                      | 233        |
| 8.4. Биологическое действие ионизирующих излучений.....  | 236        |
| 8.5. Нормирование воздействия ионизирующих излучений .....                                     | 237        |
| 8.6. Обеспечение безопасности при работе с источниками<br>ионизирующих излучений .....         | 240        |
| 8.7. Радиационный контроль .....   | 242        |
| Контрольные вопросы к главе 8 .....  | 243        |
| Библиографический список к главе 8 .....   | 244        |

С.И. Боровик, Л.М. Киселева, А.В. Кудряшов, И.С. Окраинская,  
И.П. Палатинская, А.И. Сидоров, И.В. Скуртова, А.В. Хашковский

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие  
с элементами самостоятельной работы студентов

Часть I

Под редакцией А.И. Сидорова

Техн. редактор А.В. Миних

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

---

Подписано в печать 05.06.2009. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 16,15. Тираж 500 экз. Заказ 339/133. Цена С.

---

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.