

Т.Ф. МИХНЮК

---

# ОХРАНА ТРУДА И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Допущено  
Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов  
радиотехнических, радиоэлектронных  
и приборостроительных специальностей учреждений,  
обеспечивающих получение высшего образования



Минск  
«Вышэйшая школа»  
2007

УДК [658.345+504](075.8)

ББК 65.247я73+20.1я73

М 69

Рецензенты: заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» учреждения образования «Белорусский агротехнический университет» кандидат технических наук, доцент *А.А. Шутилов*; профессор кафедры «Экология» учреждения образования «Белорусский Национальный технический университет», доктор наук *С.А. Хорева*.

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

**Михнюк, Т.Ф.**

**М 69** Охрана труда и основы экологии : учеб. пособие /  
Т. Ф. Михнюк. — Минск : Выш. шк., 2007 — 356 с. : ил.  
ISBN 978-985-06-1170-3.

Рассматриваются основы безопасности человека в среде обитания, основы экологии, экологические проблемы и способы их решения, охрана труда, основы техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности.

Приводятся нормативные и законодательные документы по экологии и производственной безопасности, сведения о состоянии природной среды.

Подготовлено в соответствии с типовой программой курса «Охрана труда и основы экологии».

Для студентов радиотехнических, радиоэлектронных и приборостроительных специальностей высших учебных заведений, аспирантов, преподавателей.

УДК [658.345+504](075.8)

ББК 65.247я73+20.1я73

ISBN 978-985-06-1170-3

© Михнюк Т.Ф., 2007

© Издательство “Вышэйшая школа”, 2007

## Список сокращений

АТФ	— аденоинтрифосфорная кислота
АЭС	— атомная электростанция
БПК	— биологическое потребление кислорода
ВБ	— всемирный банк
ВНП	— валовой национальный продукт
ВОЗ	— Всемирная организация здравоохранения
ВСВ	— временно согласованный выброс
ГЖ	— горючая жидкость
ВСС	— временно согласованный сброс
ГЭС	— гидроэлектростанция
ДОА	— допустимая объемная активность
ДУА	— допустимая удельная активность
ЕБРР	— Европейский банк реконструкции и развития
ИЗА	— индекс загрязнения атмосферы
ИЗВ	— индекс загрязнения вод
ЛВЖ	— легковоспламеняющаяся жидкость
ЛИ	— лазерное излучение
МБРР	— Международный банк реконструкции и развития
МСОП	— Международный Союз охраны природы
НТП	— научно-технический прогресс
НТР	— научно-техническая революция
ОКГ	— оптический квантовый генератор
ООН	— Организация Объединенных Наций
ПГП	— предел газового поступления
ПД	— предел дозы
ПДВ	— предельно допустимый выброс
ПДК	— предельно допустимая концентрация
ПДН	— предельно допустимая норма
ПДС	— предельно допустимый сброс
ПДУ	— предельно допустимый уровень

ППЭ – плотность потока энергии  
ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина  
СИЗ – средство индивидуальной защиты  
СКЗ – средство коллективной защиты  
СКР – суммарный коэффициент рождаемости  
СМУ – сенсомоторное устройство  
СОИ – средство отображения информации  
ССБТ – система стандартов безопасности труда  
ТТНП – трансформатор тока нулевой последовательности  
УЗО – устройство защитного отключения  
УФИ – ультрафиолетовое излучение  
ЭМП – электромагнитное поле  
ЭТД – эритемная доза

## ГЛАВА

## 1

# ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ

### 1.1. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Жизнедеятельность человека неразрывно связана со средой обитания и в общем виде может быть представлена многоцелевой двухэлементной системой «человек – среда обитания», имеющей как прямые, так и обратные связи (рис. 1.1). В этой системе элемент «среда обитания» может представлять собой окружающую природную среду, производственную среду, производственный участок, рабочее место и т.п.

Одной из основных целей взаимодействия человека и среды обитания является достижение определенного положительного эффекта (например, социального или экономического) и снижение или исключение негативных последствий (ухудшение качества окружающей среды, заболевание, травмирование, возникновение аварий, катастроф и т.п.). Достижение безопасности в системе «человек – среда обитания» является первостепенным и возможно только при учете особенностей каждого элемента данной системы. Так как характеристики элемента «человек» относительно постоянны, а элемента «среда обитания» поддаются в некоторой степени регулированию, то для исключения негативных последствий взаимодействия человека и среды обитания необходимо исходить из психофизиологических и других характеристик человека и совмещать их с контролируемыми характеристиками среды.

Часть природы, на которую простирается влияние человека, принято называть *окружающей средой* или *окружающей природной средой*.

Элементы природной среды, воздействующие на живые организмы и формирующие условия их существования, называются *экологическими*



Рис. 1.1. Система «человек – среда обитания»

**факторами**, которые по своему происхождению подразделяются на абиотические, биотические и антропогенные (антропические).

*Абиотические факторы* — это физико-химические свойства (показатели) элементов неживой природы (температура, влажность, свет, солнечная радиация, скорость движения и газовый состав воздуха, атмосферное давление, почва и ее состав и др.). В естественных условиях наблюдается огромное разнообразие сочетаний этих факторов, что влияет на численность, распространение организмов, видовое разнообразие, соотношение видов и др.

Температурные пределы, в которых может существовать органическая жизнь Земли, равны  $-200 \dots +100^{\circ}\text{C}$ . Большинство видов может обитать в значительно узком диапазоне температур. Многие организмы лучше развиваются в условиях переменных температур. Физиологические процессы у всех организмов наиболее активно протекают при оптимальных температурах. Отклонение от этих значений приводит к нарушениям физиологических процессов и даже гибели организма.

Общий температурный диапазон активной жизни на Земле изменяется в следующих пределах: на суше — от  $+55$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ , в море — от  $+35,6$  до  $+3,3$ , в пресных водах — от  $+93$  до  $0^{\circ}\text{C}$ .

Реакция организма на изменение температур зависит от действия других абиотических факторов, например влажности. Влажность характеризуется содержанием водяного пара в воздухе. В природе существуют сезонный и суточный ритмы влажности, которые вместе с температурой и светом регулируют поведение и активность живых организмов.

Воздействие на организмы температуры и влажности зависит не только от абсолютных величин этих параметров, но и от их соотношения. Например, температура оказывает более выраженное влияние на организм, если условия влажности близки к критическим, т.е. влажность очень высокая или очень низкая. Влажность приобретает большую значимость при температурах, близких к предельным значениям.

Солнечная радиация и излучения Галактик, достигающие поверхности Земли, представляют собой электромагнитные колебания различной длины волн.

Полная мощность излучения Солнца (его светимость) составляет  $4 \cdot 10^{23}$  кВт. Земля получает всего лишь одну двухмиллиардовую долю солнечного излучения, что оказывается достаточным для приведения в движение огромных масс воздуха в

земной атмосфере, управления геофизическими процессами, погодой и климатом, определения условий для жизнедеятельности растений и животных.

Излучение Солнца, достигающее Земли, содержит около 50% видимого света, 1% – ультрафиолетового, а остальное приходится на ультракрасное, рентгеновское и другие виды излучений.

Видимый свет имеет важное значение для живых организмов, так как он обеспечивает фотосинтез, благодаря которому в природе Земли образуется первичное органическое вещество, аккумулирующее солнечную энергию.

*Биотические факторы* представляют собой все виды и формы воздействия живых организмов друг на друга.

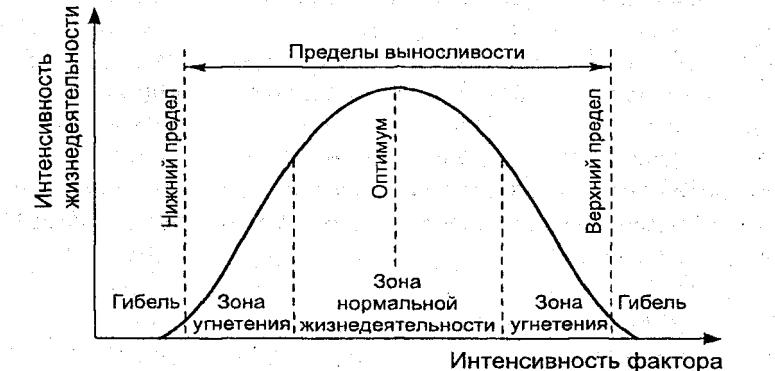
Различают внутривидовые и межвидовые биотические факторы. *Внутривидовыми* являются: численность, плодовитость, продолжительность жизни и плотность, групповой эффект и конкуренция.

*Межвидовые* факторы включают взаимоотношения видов, которые сводятся к следующим типам: нейтрализм, симбиоз, аменсализм, хищничество, антибиоз и конкуренция.

*Антропогенные факторы* – это все формы жизнедеятельности человека, оказывающие воздействие на живые организмы и природную среду. Основной формой такой деятельности является хозяйственная деятельность (промышленность, сельское хозяйство, транспорт, строительство и др.), в результате которой изменяются ландшафты, химический состав почв и атмосферы, создаются искусственные агробиоценозы, уничтожаются растения и животные. По мере роста численности населения Земли воздействие антропогенных факторов на природу возрастает.

Воздействуя на среду обитания и изменяя ее, разнообразные экологические факторы непосредственно или косвенно оказывают влияние на жизнедеятельность организмов биосфера и человека.

Как избыточное, так и недостаточное действие того или иного экологического фактора отрицательно сказывается на жизнедеятельности организма. Интенсивность фактора, при которой наблюдается нормальная жизнедеятельность, устойчивое развитие, называется *оптимумом* (рис. 1.2). Интервал интенсивности фактора, который благоприятно влияет на организм, называется зоной *оптимума* фактора для организма данного вида. Весь интервал фактора от минимального его значе-



*Рис. 1.2. Зависимость уровня жизнедеятельности от интенсивности экологического фактора*

ния до максимального, при котором еще возможен рост, называется *диапазоном устойчивости*, а значения, ограничивающие его, называются *пределами устойчивости* или *пределами выносливости* вида.

За указанными пределами жизнедеятельность снижается вплоть до полного угнетения или гибели организма (стрессовое состояние).

Фактор, который за пределами зоны своего оптимума приводит к стрессовому состоянию организма, называется *лимитирующим*, а указанное явление — *законом лимитирующих факторов* (Ю. Либих).

К лимитирующим факторам распространения живых организмов в атмосфере, гидросфере и литосфере относятся температура, свет, вода, воздух, давление.

Все организмы при взаимодействии со средой обитания поддерживают динамическое равновесие, или гомеостаз.

Виды, которые могут приспосабливаться к колебаниям различных экологических факторов в широких пределах, называются *эврибионтными* («эври» — широкий), а виды, для существования которых необходимы строго определенные условия, называются *стенобионтными* («стено» — узкий).

Негативные последствия взаимодействия человека и производственной среды определяются такими ее элементами, как предметы и орудия труда, средства производства, продукты труда, особенности организации производства и т.п.

Свойства элементов производственной среды, или совокупность производственных факторов, действующих на персонал, формируют условия труда, которые могут быть благоприятными, или безопасными (если количественные и качественные характеристики опасных и вредных факторов отвечают нормативным значениям), и неблагоприятными, или опасными (если эти характеристики превышают нормативные значения, установленные трудовым законодательством и нормативными документами). Таким образом, безопасность персонала, граждан или другого объекта защиты определяется как состояние, при котором воздействие на них всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений.

Для сохранения экологической безопасности и создания благоприятных условий труда, совершенствования и гуманизации трудового процесса используются методы и средства многих научных дисциплин и научных направлений (биологические науки, общая экология, охрана окружающей среды, физико-химические методы, эргономика, физиология и психология труда и многое другое).

## 1.2. ВИДЫ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТЕЙ

Факторы, явления и процессы, приводящие к травмированию и заболеваемости персонала, называются опасностями и вредностями. Опасности и вредности могут быть реальными (очевидными) или скрытыми (потенциальными). Определенные условия, при которых потенциальная опасность может реализоваться, называются причинами.

По составу и свойствам производственные опасности и вредности подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

*Физические опасности и вредности* – это движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; передвигающиеся изделия; повышенное напряжение в электрических сетях; повышенный уровень статического электричества; повышенный уровень электромагнитного, рентгеновского, лазерного и ультрафиолетового излучения; повышенный уровень вибрации и шума; недостаточное освещение; неблагоприятные метеорологические условия и др.

*Химические опасности и вредности* представляют собой различные химические элементы и их соединения, обладающие общетоксичными, раздражающими, сенсибилизирующими и канцерогенными свойствами. Наибольшей канцерогенностью обладают мышьяк, никель, кадмий, хлорфенол, три- и тетрахлорэтилен, винилхлорид, бензопирен и другие смолистые летучие вещества.

*К биологическим опасностям и вредностям* относятся микро- и макроорганизмы (бактерии, вирусы, грибы, растения, животные). Их воздействие на человека может приводить к травмам и инфекционным заболеваниям.

*Психофизиологические опасности и вредности* включают физические (статические, динамические, гиподинамические), а также нервно-психические перегрузки, к которым относятся умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки и др.

Наряду с численными, балльными и другими методами оценки опасностей и вредностей наиболее распространенным в последнее время является *риск*, или *уровень риска*, представляющий, по сути, частоту реализации опасностей.

Уровень риска рассчитывается по отношению числа каких-либо негативных последствий ( $n$ ) взаимодействия людей с природной или производственной средой (заболевания, травматизм и т.п.) к их максимально возможному числу ( $N$ ) за определенный период (например, год). Так, риск гибели работающего на промышленных предприятиях Беларуси ( $R_{\text{пр}}$ ) будет равен отношению среднестатистического числа ежегодно погибающих  $n \approx 300$  человек, к числу работающих  $N \approx 3,0$  млн человек:

$$R_{\text{пр}} = \frac{n}{N} = \frac{300}{3,0 \cdot 10^6} \approx 1 \cdot 10^{-4},$$

из чего следует, что ежегодно из каждого 10 тыс. работающих погибают в среднем около 2 человек.

Риск может быть *индивидуальным* или *групповым* (социальным, т.е. риск для группы людей).

В настоящее время в большинстве стран мира концепция абсолютной безопасности (обеспечения нулевого риска) отвергнута как несоответствующая законам современной среды обитания (так как в действующих системах невозможно обеспечить стопроцентную безопасность). Вместо концепции абсолютной

безопасности используется концепция *приемлемого* (допустимого) риска, суть которой состоит в стремлении к такой безопасности, которую приемлет общество в данный период времени в зависимости от его социально-экономического развития.

Приемлемый риск сочетает экологические, технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Так, затрачивая чрезмерные средства на охрану окружающей среды и повышение безопасности технических систем, можно нанести ущерб социальной сфере (сокращение выполнения социальных программ). При увеличении затрат на экологию и развитие технического уровня производства технический риск снижается, но растет социальный. Суммарный риск является минимальным при определенном соотношении инвестиций в экологическую, техническую и социальную сферы. Это обстоятельство учитывается при выборе риска, с которым общество на определенном этапе вынуждено мириться.

Максимально приемлемым уровнем индивидуального риска гибели считается риск, равный  $10^{-6}$  в год, а пренебрежительно малым –  $10^{-8}$  в год. В некоторых странах приемлемые риски устанавливаются в законодательном порядке.

Уровень безопасности можно повысить, оптимально расходуя средства на совершенствование технических систем и объектов, организационные и административные мероприятия (подготовка персонала), а также экономические мероприятия (страхование, денежная компенсация ущерба, платежи за риск и т.д.).

В основе управления риском лежит методика сравнения затрат и получаемых выгод от снижения риска.

### **1.3. ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В общей теории обеспечения безопасности принципы, методы и средства представляют собой определенные этапы, и знание их различий и связей играет важную роль в практике защиты природной среды, экологической и производственной безопасности.

По сути, принцип представляет собой идею, мысль или основное положение решения той или иной проблемы. Метод – это путь, способ достижения цели, при котором используется

знание наиболее общих биологических и физико-химических закономерностей.

Средства обеспечения безопасности – это организационное, конструктивное и материальное воплощение выбранных принципов и методов, их конкретная реализация.

Принципы обеспечения безопасности весьма многообразны. По признаку реализации их условно можно классифицировать на ориентирующие, технические, управленческие, организационные и др.

*Ориентирующие принципы* являются основополагающими. Они определяют направление поиска тех или иных решений и служат методологической и информационной базой.

Одним из ориентирующих принципов является *принцип системности*, который состоит в том, что любое явление, действие, всякий объект рассматривается как элемент системы. Под системой понимается совокупность элементов, взаимодействие которых может привести к однозначному результату либо к различным результатам. В первом случае система называется определенной, а во втором – неопределенной. Уровень неопределенности системы тем выше, чем больше различных результатов может появиться. Неопределенность порождается неполным учетом элементов и особенностями их взаимодействия. Так, системный подход к профилактике какого-либо негативного результата состоит в том, чтобы для конкретных условий определить совокупность элементов, образующих систему, результат которой негативный. Исключение одного или нескольких элементов разрушает систему и устраняет такой нежелательный результат. Таким образом, принцип системности заключается в рассмотрении явлений с системных позиций в их взаимной связи и целостности. Система не является чистым механическим сочетанием элементов, а представляет качественно новое образование. Каждая система входит в состав другой системы, которая в свою очередь является частью большей системы, образуя подсистемы и суперсистемы. Принцип системности отражает универсальный закон диалектики о взаимной связи явлений. Он ориентирует на учет всех элементов, формирующих рассматриваемый результат, на полный учет обстоятельств и факторов для решения экологических проблем или обеспечения благоприятных условий труда.

Важнейшим ориентирующим принципом является также *принцип деструкции*, заключающийся в том, что система, приводящая к опасному результату, разрушается за счет исключения из нее одного или нескольких элементов. Этот принцип органически связан с принципом системности и характеризуется такой же универсальностью.

К ориентирующим принципам относятся *принцип снижения опасности* и *принцип ее ликвидации*. Первый заключается в использовании решений, которые направлены на повышение безопасности, но не обеспечивают достижения необходимого (нормируемого) уровня. Второй состоит в устранении тех или иных экологических либо производственных факторов, ведущих к негативному результату, и достигается комплексом мер по изменению технологий, модернизации оборудования, совершенствованию организации труда и т.п.

*Технические принципы*, использующие в основном физико-химические законы, направлены на непосредственное предотвращение действия опасностей. К этой группе принципов относятся принципы защиты расстоянием, принцип прочности, принцип слабого звена, принцип экранирования.

*Принцип защиты расстоянием* заключается в установлении такого расстояния между человеком и источником опасности, при котором обеспечивается требуемый уровень безопасности. Этот принцип основан на том, что уровень опасных и вредных факторов уменьшается по определенному закону в зависимости от расстояния. Например, плотность потока электромагнитной энергии уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния.

*Принцип прочности* состоит в том, что в целях повышения уровня безопасности усиливают способность материалов, конструкций и их элементов сопротивляться механическим воздействиям. Этот принцип реализуется с помощью коэффициента запаса прочности, который определяется как отношение опасной нагрузки, вызывающей недопустимые деформации или разрушения, к допустимой нагрузке. Например, для защиты от поражения электрическим током применяют изолирующие средства, обладающие высоким коэффициентом механической и электрической прочности.

*Принцип слабого звена* состоит в применении ослабленных элементов различных устройств, которые разрушаются или срабатывают при определенных значениях факторов и обеспечивают сохранность устройств (объектов) и безопасность пер-

сонала. Для защиты электроустановок от выхода из строя и пожара, обеспечения электробезопасности персонала используются плавкие вставки предохранителей и др.

*Принцип экранирования* состоит в том, что между источником опасности и человеком устанавливается преграда, обеспечивающая защиту от опасности. Для защиты от электромагнитных полей применяются экраны из материалов с высокой электрической проводимостью, обладающие как отражательной, так и поглощающей способностью в зависимости от их конструкции.

*Управленческие принципы* определяют взаимосвязь и отношения отдельных стадий и этапов процесса обеспечения безопасности. К этой группе принципов относятся принцип плановости, принцип стимулирования, принцип компенсации, принцип эффективности и др.

Согласно *принципу плановости* должны устанавливаться на определенный период конкретные количественные показатели, задания и т.п.

*Принцип стимулирования* означает учет количества и качества затраченного труда и полученных результатов при распределении материальных благ и моральном поощрений.

*Принцип компенсации* состоит в предоставлении пострадавшим различного рода льгот с целью восстановления или предупреждения нежелательных изменений в состоянии здоровья.

*Принцип эффективности* заключается в сопоставлении фактических результатов с плановыми к оценке показателей на основе затрат и выгод. Так, при реализации природоохранных мероприятий оценивают их социальную, экологическую и экономическую эффективность.

*Организационные принципы* включают принцип защиты временем, принцип нормирования и др.

*Принцип защиты временем* предполагает сокращение продолжительности пребывания людей в условиях воздействия высоких уровней опасных и вредных факторов (например, при выполнении работ в антенном поле радиопередатчика, в условиях радиационного облучения, шума и т.п.).

*Принцип нормирования* состоит в регламентации условий, соблюдение которых обеспечивает заданный уровень безопасности. Например, соблюдение предельно допустимых выбро-

сов загрязняющих веществ из труб промышленных предприятий позволяет обеспечить в жилой зоне предельно допустимые их концентрации для населения.

Существуют следующие *методы обеспечения безопасности*.

*Первый метод* состоит в пространственном (или временном) разделении рабочей зоны, где находится человек в процессе деятельности (гомосфера), и пространства, в котором постоянно или периодически возникают опасности (ноксосфера). Этот метод может быть реализован дистанционным управлением технического процесса, использованием промышленных роботов и т.п.

*Второй метод* заключается в нормализации ноксосферы путем исключения опасностей, использования комплекса средств защиты.

*Третий метод* включает систему приемов и средств, которые направлены на адаптацию человека к соответствующей среде и повышение его защищенности (обучение, использование средств индивидуальной защиты, профессиональный отбор и т.п.).

На практике для решения вопросов безопасности используется комбинация этих методов.

*Средства обеспечения безопасности* подразделяются на средства коллективной и индивидуальной защиты (СКЗ, СИЗ). СКЗ и СИЗ в свою очередь делятся на группы по характеру опасностей, от которых они защищают, конструктивному исполнению, области применения и т.д. Так, все средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения подразделяются на следующие классы: изолирующие костюмы; средства защиты органов дыхания; одежда специальная защитная; предохранительные средства защиты рук, ног, головы, лица, глаз, органов слуха; средства защиты от падения с высоты; защитные дерматологические средства; средства защиты комплексные и т.п.

#### 1.4. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Для обеспечения безопасности в процессе трудовой деятельности на практике широко используются результаты таких наук, как *психология труда*, изучающая психологические аспекты трудовой деятельности, *инженерная психология* и *эргономика*,

изучающие процессы информационного взаимодействия человека с техническими системами и требования, предъявляемые к конструкции машин и приборов с учетом психических свойств человека, а также *психология безопасности*, предметом которой являются психические процессы, состояния и свойства человека, оказывающие существенное влияние на безопасную деятельность людей.

Использование на практике психологических особенностей и закономерностей может способствовать значительному повышению безопасности трудовой деятельности.

В структуре психической деятельности человека различают три основные группы компонентов: психические процессы, психические свойства и психические состояния.

*Психические процессы* являются основой психической деятельности. Различают познавательные, эмоциональные и волевые психические процессы (ощущение, восприятие, память и др.).

*Психические свойства* (особенности) характеризуют качества личности (интеллектуальные, эмоциональные, волевые, моральные, трудовые). Они устойчивы и постоянны во времени.

*Психические состояния* определяют особенности психической деятельности в конкретный момент (период) и могут положительно или отрицательно сказываться на течении всех психических процессов.

Эффективность деятельности и работоспособность базируются на уровне психического напряжения (стресса). Чрезмерные формы психического напряжения обозначаются как запредельные, вызывающие дезинтеграцию психической деятельности, что снижает уровень психической работоспособности.

Возможны два типа запредельного психического напряжения – тормозной и возбудимый.

*Тормозной тип* характеризуется скованностью и замедленностью движений. При этом снижается скорость ответных реакций, замедляется мыслительный процесс, ухудшается память, появляется рассеянность и другие отрицательные признаки, не свойственные данному человеку в спокойном состоянии.

*Возбудимый тип* проявляется гиперактивностью, многословностью, дрожанием рук и голоса. При таком состоянии у людей обнаруживаются не свойственные им раздражительность, вспыльчивость, резкость, грубость, обидчивость.

Таким образом, длительные психические напряжения и особенно их запредельные формы ведут к выраженным состояниям утомления.

К особым психическим состояниям, имеющим значение для психической надежности персонала, относятся пароксизмальные расстройства сознания, психогенные изменения настроения и состояния, связанные с приемом психически активных средств (транквилизаторов, стимуляторов, алкогольных напитков).

*Пароксизмальные состояния* – это группа расстройств, вызванных заболеваниями головного мозга и другими причинами (эпилепсия, обмороки).

*Психогенные изменения настроения и аффективные состояния* возникают под влиянием психических возбуждений, при этом проявляется безразличие, вялость, общая скованность, заторможенность, замедление мышления. *Аффективные состояния* (взрыв эмоций) могут развиваться под влиянием обиды, оскорблений, производственных и других неудач. В таком состоянии у человека развивается снижение объема сознания. При этом возможны резкие движения, агрессивные и разрушительные действия. Лица, склонные к аффективным состояниям, относятся к категории людей с повышенным риском травмирования.

*Лекарственные и алкогольные изменения психического состояния* возникают в результате употребления различных психофармакологических средств.

Прием легких стимуляторов (чай, кофе) способствует повышению работоспособности, а прием активных стимуляторов (первитин, фенамин) может вызвать отрицательный эффект – ухудшение самочувствия, снижение скорости реакции и др.

Употребление транквилизаторов типа седуксена или элемниума оказывает выраженное успокоение и предупреждение неврозов, одновременно снижая психическую активность, замедляет реакцию, а также вызывает апатию и сонливость.

Пьянство и алкоголизм также оказывают отрицательное влияние на работоспособность, а посталкогольная астения (похмелье) ведет к заторможенности и снижению чувства осторожности.

Таким образом, контроль психического состояния персонала и принятие административных мер может положительно

влиять на сокращение травматизма и повышение надежности работ сложных систем.

Успешное функционирование системы «человек – машина» возможно при обеспечении не менее пяти следующих видов совместимостей: информационной, биофизической, энергетической, пространственно-антропометрической и технико-эстетической.

*Информационная совместимость* состоит в обеспечении такой информационной модели устройства (машины) – средств отображения информации (СОИ) и сенсомоторных устройств (органы управления – рычаги, ручки, кнопки, выключатели и т.п.), которая отражала бы все нужные характеристики машин в данный момент и позволяла оператору безошибочно принимать и перерабатывать информацию в соответствии с его психофизиологическими возможностями (особенности внимания, памяти и т.п.).

Успешное решение этой задачи способствует безопасности труда оператора, повышает точность, качество, его производительность и надежность работы системы.

*Биофизическая совместимость* предполагает создание параметров (характеристик) окружающей среды (уровни шума, вибрация, освещение, микроклимат и т.п.), соответствующих нормативным документам и обеспечивающих приемлемую работоспособность и нормальное физиологическое состояние оператора.

*Энергетическая совместимость* предусматривает согласование прилагаемых усилий, затрачиваемой мощности, скорости и точности движений органов управления машиной (оборудованием) с оптимальными возможностями оператора.

*Пространственно-антропометрическая совместимость* предполагает необходимость учета размеров тела человека, его возможности обзора внешнего пространства, рабочего положения (позы) при проектировании рабочего места (определение зоны досягаемости для конечностей оператора, выбор габаритов и конструкции рабочего стола, сиденья, расстояние от оператора до приборного пульта и т.п.).

*Технико-эстетическая совместимость* заключается в обеспечении удовлетворенности человека от общения с машиной, за счет изящного исполнения прибора или устройства, его дизайна.

Анализ несчастных случаев, аварий, катастроф, пожаров и других нежелательных событий и явлений показывает, что значительное их число обусловлено организационно-психологическими причинами, основными из которых являются: низкий уровень профессиональной подготовки; недисциплинированность, пренебрежительное отношение к требованиям безопасности; допуск к опасным видам работ лиц с повышенным риском травмирования; пребывание людей в состоянии утомления или в других психических состояниях, повышающих вероятность травмирования.

## 1.5. АНАЛИЗАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Человек, являясь элементом системы «человек – среда обитания», осуществляет взаимодействие со средой с помощью анализаторных систем, которые имеют свои особенности и характеристики, что необходимо учитывать при проектировании безопасных систем, для предотвращения несчастных случаев, аварий, катастроф и т.п.

Основными анализаторными системами, позволяющими человеку ориентироваться в окружающей среде, осуществлять с ней двухстороннюю связь, являются зрительный, слуховой и тактильный анализаторы, вибрационная, температурная и болевая чувствительность, обоняние и вкус.

Любой анализатор состоит из рецептора, проводящих нервных путей и мозгового центра (конца). Энергия раздражителя, воздействуя на рецептор, превращается в нем в нервные импульсы, которые по проводящим путям (нервным волокнам) передаются в кору головного мозга, в соответствующий центр. Мозговые центры анализаторов с помощью нейронных отростков (аксонов) образуют определенные нервные связи.

Особенностью анализаторов человека является их парность, что обеспечивает высокую надежность работы анализаторных систем.

Основной характеристикой анализаторов является чувствительность. Интервал уровня раздражителя от минимальной (ощутимой) до максимальной (болевой) его величины определяет диапазон чувствительности анализатора. Минимальная величина называется нижним абсолютным порогом чувствительности, а максимальная – верхним.

Зависимость между интенсивностью ощущения ( $I_{\text{ощ}}$ ) и интенсивностью раздражения ( $I_{\text{раздр}}$ ) выражается законом Вебера – Фехнера:

$$I_{\text{ощ}} = K \lg(I_{\text{раздр}}) + C,$$

где  $K$  и  $C$  – константы.

Время, проходящее от начала раздражения до появления ответной реакции на него (например, ощущения), называется *латентным периодом*.

Одной из основных характеристик анализаторных систем является также их способность к привыканию воздействующего раздражителя (адаптация).

*Зрительный анализатор* является одним из основных в системе анализаторных систем человека. Благодаря зрительному анализатору человек воспринимает до 90% всей информации об окружающем его мире и хорошо ориентируется в пространстве.

При оценке восприятия пространственных характеристик основным понятием является *острота зрения*, определяемая минимальным углом, под которым две точки видны как раздельные. Острота зрения зависит от освещенности, контрастности, формы объекта и других факторов, а также от места проекции изображения на сетчатку глаза.

Зрительный анализатор различает семь основных цветов и более сотни оттенков. Цветовые ощущения вызываются воздействием световых волн, имеющих длину от 0,38 до 0,78 мкм (0,38–0,45 мкм – фиолетовый цвет; 0,45–0,47 – синий; 0,47–0,50 – голубой; 0,50–0,55 – зеленый; 0,55–0,59 – желтый; 0,59–0,61 – оранжевый; 0,61–0,78 мкм – красный).

Зрительный анализатор обладает определенной *спектральной чувствительностью*, которая характеризуется относительной видностью монохроматического излучения. Наибольшая видность днем соответствует желтому цвету, а ночью или в сумерках – зелено-голубому.

При резком действии прерывистого раздражителя возникает ощущение мельканий, которые при определенной частоте сливаются в ровный немигающий свет. Частота, при которой мелькания исчезают, называется *критической частотой слияния мельканий*. Оптимальной является частота 3–10 Гц.

*Инерция зрения* обуславливает стробоскопический эффект, суть которого состоит в том, что если время, разделяю-

щее дискретные акты наблюдения, меньше времени гашения зрительного образа, то наблюдение субъективно ощущается как непрерывное.

При стробоскопическом эффекте возможна иллюзия движения при непрерывном наблюдении отдельных объектов или иллюзия неподвижности (замедленного движения), возникающая, когда движущийся предмет периодически занимает прежнее положение.

При восприятии объектов в двухмерном и трехмерном пространстве различают поле зрения и глубинное зрение.

*Бинокулярное поле зрения* охватывает в горизонтальном направлении 120–160°, по вертикали вверх – 55–60°, вниз – 67–72°.

При восприятии цвета размеры поля зрения сужаются.

Зона оптимальной видимости ограничена полем, равным вверх – 25°, вниз – 35°, вправо и влево – по 32°.

*Глубинное зрение* связано с восприятием пространства. Ошибка оценки абсолютной удаленности на расстояний до 30 м равна в среднем 12% от общего расстояния.

*Слуховой анализатор* служит для восприятия звуковых сигналов, информирующих человека об окружающей акустической обстановке.

*Интенсивность* и *частота* звуковых волн являются основными параметрами, определяющими громкость и высоту воспринимаемых слуховых ощущений.

По частоте область слуховых ощущений простирается от 16–20 Гц до 20–22 кГц. Величина порога слышимости зависит от частоты ощущаемых звуков и равна  $10^{-12}$  Вт/см<sup>2</sup> ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па) на частоте 1000 Гц. Верхней границей является порог болевого ощущения, который в меньшей степени зависит от частоты и лежит в пределах 130–140 дБ (на частоте 1000 Гц по интенсивности 10 Вт/см<sup>2</sup>, по звуковому давлению –  $2 \cdot 10^2$  Па).

Соотношение уровня интенсивности и частоты определяет ощущение громкости звука, т.е. звуки, имеющие различную частоту и интенсивность, могут оцениваться человеком как равногромкие. Это явление иллюстрируется кривыми равной громкости (рис. 1.3).

При восприятии звуковых сигналов на определенном акустическом фоне может наблюдаться эффект маскировки сигнала.

Эффект маскировки может отрицательно сказываться в акустических индикаторах и может быть использован для

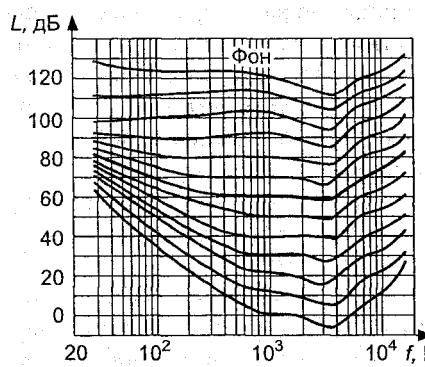


Рис. 1.3. Кривые равной громкости

улучшения акустической обстановки (например, в случае маскировки высокочастотного тона низкочастотным, который менее вреден для человека).

**Тактильный анализатор** вызывает ощущения, возникающие при действии на кожную поверхность различных механических стимулов в виде прикосновения и давления.

Наиболее высоко развита чувствительность на дистальных частях тела (для кончиков пальцев руки порог ощущения равен  $3 \text{ г}/\text{мм}^2$ , на тыльной стороне кисти — 12, на животе — 26, на пятке —  $250 \text{ г}/\text{мм}^2$ ).

Временной порог чувствительности тактильного анализатора равен 0,1 с.

Особенностью тактильного анализатора является быстрое развитие адаптации, т.е. исчезновение чувства прикосновения или давления. В зависимости от силы раздражителя время адаптации равно 2–20 с.

Природа **вibrационной чувствительности** и ее органы до настоящего времени не установлены.

Вибрация может оказывать двоякое воздействие на организм. При высокой интенсивности и продолжительном воздействии она может вызвать тяжелое заболевание (виброболезнь). При небольших интенсивности и продолжительности вибрация может снизить утомляемость, повысить обмен веществ, тонус и др.

Ощущение вибрации возникает в диапазоне частот от 1 до 1000 Гц. Наибольшей чувствительностью организм обладает на частоте 200–250 Гц, при этом пороги вибрационной чув-

ствительности различны для различных участков тела. Наибольшей чувствительностью обладают участки тела, которые более удалены от его медиальной плоскости (например, кисти рук).

**Температурная чувствительность** свойственна организмам, обладающим постоянной температурой тела, обеспечивающей терморегуляцией.

Температура кожи несколько ниже температуры тела и различна для отдельных участков тела (на лице – 20–25 °С, на стопах ног – 25–27, на животе – 34 °С).

В коже человека обнаружены два рода рецепторов: одни реагируют только на холод, другие – только на тепло.

Латентный период температурного ощущения равен примерно 250 мс.

Абсолютный порог температурной области чувствительности определяется по минимальному ощущаемому изменению температуры участков кожи относительно физиологического нуля, т.е. собственной температуры данной области кожи. Для тепловых рецепторов он равен примерно 0,2 °С, для холодных – 0,4 °С.

**Болевая чувствительность** основывается на болевых ощущениях, которые могут возникать, если величина раздражителя превышает верхний абсолютный порог.

Между тактильными и болевыми рецепторами существуют противоречивые отношения, проявляющиеся в том, что наименьшая плотность болевых рецепторов (свободные нервные окончания) приходится на те участки кожи, которые наиболее богаты тактильными рецепторами, и наоборот. Болевые ощущения вызывают оборонительные рефлексы, в частности рефлекс удаления от раздражителя. Тактильная чувствительность связана с ориентировочными рефлексами (например, рефлекс сближения с раздражителем).

**Обоняние и вкус** могут сигнализировать о различного рода опасностях. Абсолютный порог обоняния у человека измеряется долями (мг/л) воздуха.

Согласно распространенной теории существует четыре вида элементарных вкусовых ощущений: сладкого, горького, кислого и соленого. Все остальные вкусовые ощущения представляют их комбинации. Абсолютные пороги вкусового анализатора, выраженные в величинах концентрации раствора, примерно в 10 тыс. раз выше, чем обонятельного.

### 2.1. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ

Термин «экология» (греч. *oikos* – жилище, дом и *logos* – наука, учение) был введен в науку немецким ученым-зоологом Эрнестом Геккелем в 1866 г. в труде «Всеобщая морфология организмов» и предложен им для обозначения биологической науки об отношениях организмов со средой обитания с целью исследования взаимоотношений, которые Ч. Дарвин условно обозначил как борьбу за существование.

Условия обитания Э. Геккель делил на неорганические и органические. *Неорганические* условия существования, к которым живые организмы вынуждены приспосабливаться, – это физические и химические особенности мест обитания и особенности климата, а *органические* условия существования складываются из взаимоотношений организма с другими организмами.

Несмотря на столь широкое (неконкретное) определение предмета экологии, предложенное Геккелем, в настоящее время в некоторых источниках предмет экологии представлен еще шире. Это обусловлено комплексом проблем, возникших в настоящее время в результате взаимодействия общества и природы и активного использования природных ресурсов. Поэтому предметом и основным содержанием экологии, имеющей прикладное значение, является не только изучение законов развития природных комплексов, взаимоотношений живых организмов и среды обитания, но и изучение возможных последствий этих отношений, допустимых нагрузок на природные системы, а также разработка мер по охране окружающей среды от загрязнения, по предотвращению ее деградации, рациональному природопользованию и воспроизводству ресурсов. Таким образом, результаты изучения законов развития природы, отдельных природных систем, объединяющих сообщества живых организмов со средой их обитания, могут служить научной базой при решении практических задач, таких как сохранение качествен-

ного состояния окружающей природной среды, обеспечение экологической безопасности населения, ресурсообеспечение экономики и др. Другими словами, сохранение естественной здоровой среды жизнедеятельности людей (в том числе и будущих поколений), минимизация возможного ущерба их здоровью, охрана разнообразия природных систем, достаточное ресурсообеспечение производства в условиях ограниченности природного сырья являются основными целями современной экологической науки как области знаний.

Достижение этих целей возможно при успешном решении следующих задач:

- ◆ изучение общего состояния современной среды обитания, причин формирования и развития окружающей природной среды под воздействием естественных и антропогенных факторов, а также прогноз динамики состояния природной среды во времени;
- ◆ повышение продуктивности природной среды и создание условий для расширенного воспроизводства природных ресурсов;
- ◆ эффективное и комплексное использование невозобновляемых ресурсов, предотвращение их потерь;
- ◆ разработка и внедрение малоотходных технологий, совершенствование используемых технологий и экологизация всех производственных процессов.

## **2.2. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ, ОБРАЗОВАНИЕ БИОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ**

Согласно современным данным, полученным на основании радиоактивного метода измерения геологического времени, возраст планеты Земля составляет порядка 4,6 млрд лет. За это время природа Земли прошла длительный путь эволюционного развития – от элементарных частиц до живых организмов и человеческого общества. Важнейшим революционным скачком в эволюции природы Земли явилось возникновение жизни, что оказало существенное влияние на активность геологических процессов. В течение 3,0–3,5 млрд лет в результате взаимодействия и взаимопроникновения живого и неживого на Земле сформировалась первичная биосфера.

Ключевым вопросом в эволюции биосферы Земли является возникновение жизни, и до настоящего времени точного научного ответа на этот вопрос нет. Вместе с тем известно несколько гипотез (теорий) происхождения жизни, отражающих современные представления.

Первой идеалистической теорией является *креационизм*, утверждающий, что жизнь была создана сверхъестественным существом (Богом, космическим разумом и т.п.). К этому направлению примыкают теологи (представители религий) и философы-идеалисты, утверждающие, что процесс возникновения жизни был осуществлен один раз, больше не повторялся и поэтому не доступен экспериментальной проверке.

В противоположность креационистской теории сотворения жизни еще в древности в Китае и Египте была выдвинута идея *самопроизвольного непрерывного зарождения живого из неживого*. Эти представления поддерживали древнегреческие мыслители (Аристотель, Платон) и более поздние учёные (Галилей, Бэкон, Декарт, Гегель, Ламарк). Согласно Аристотелю, частицы вещества содержат «активное начало», дающее возможность зародиться живому.

Согласно *материалистической теории* самопроизвольного зарождения жизнь возникает при наступлении для этого подходящих условий, что неоднократно имело место на протяжении всей истории Земли. Эту теорию дополняет *теория биохимической эволюции*, придерживающаяся точки зрения, что жизнь произошла естественным путем в результате саморазвития химических и физических процессов. Согласно этим представлениям для появления живого из неживого необходимо наличие определенных химических веществ, источника энергии, отсутствие газообразного кислорода ( $O_2$ ) и длительное время.

Указанные условия на Земле к предполагаемому моменту зарождения жизни имелись в достаточном количестве. Из геологических данных известно, что древнейшие породы Земли образовались в условиях отсутствия кислорода в атмосфере, которая в основном состояла из водяных паров, диоксида углерода и азота, а необходимые неорганические соединения в избытке присутствовали в горных породах и в газообразных продуктах извержений вулканов и в атмосфере. Необходимую энергию обеспечивали солнечная радиация, тепло от вулканов и радиоактивный распад элементов земных пород.

Противники теории самопроизвольного зарождения жизни придерживаются теории, утверждающей, что жизнь существовала всегда, а изменились только ее формы. Эта теория согласуется с принципом Ф. Реди: «все живое происходит от живого», представляющим эмпирическое научное обобщение, сделанное в XVII в. По мнению некоторых современных исследователей, принцип Реди подтверждается научными опытами и наблюдениями. Согласно этому принципу abiogenеза нет и не было в пределах биологического возраста Земли.

Если длительность геологической эволюции Земли равна длительности земной жизни, что подтверждается данными ядерной геохронологии, то это может служить подтверждением теории вечного существования жизни во всей Вселенной.

Убедительной теорией возникновения жизни на Земле является теория панспермии, утверждающая, что жизнь на Землю была занесена из Космоса, поскольку в нем «зародыши жизни» и белковые элементы непрерывно переносятся с планеты на планету. Предполагается, что в мировом пространстве имеются частицы вещества, пылинки, на которых могут быть живые споры микроорганизмов. Попадая на планету с подходящими для микроорганизмов условиями, они порождают жизнь на этой планете. В настоящее время получены космохимические данные, указывающие на возможность возникновения химическим путем в космических условиях органических веществ, характерных для живых организмов. При изучении вещества метеоритов (главным образом хандритов) и комет были обнаружены спирты, карбонитовые соединения, вода, синильная кислота, формальдегиды и др. Большая часть молекул, обнаруженных в межзвездных облаках, относится к простейшим соединениям углерода, в том числе и аминокислоты. Предшественники аминокислот были найдены в лунном грунте (1975).

Поскольку метеориты типа углистого хандрита довольно часто падают на Землю из Космоса, можно предположить, что образование биологических соединений в Космосе – явление довольно частое, типичное и распространенное. На этом основании можно утверждать о возникновении жизни на Земле практически одновременно с момента образования самой Земли – около 4,6 млрд лет тому назад. Таким образом, условно можно считать, что жизнь зародилось в момент создания Солнечной системы, в том числе и Земли, т.е. в Космосе. Если

длительность геологической эволюции Земли равна длительности земной жизни, что подтверждается данными ядерной биохронологии, то это служит подтверждением теории вечно-го существования жизни во всей Вселенной.

Подтверждением теории панспермии, утверждающей, что жизнь на Землю была занесена из Космоса, являются недавние открытия американских астрономов во главе с *A. Виттом* о присутствии в Космосе редких типов углеродных звезд, обусловливающих происхождение стандартных блоков жизни (полициклические ароматические углероды, рибоза – основа структуры молекул РНК и ДНК и др.) в межпланетном пространстве.

Согласно *идее всеобщей эволюции* жизнь возникла где-то на этапе перехода от космической эволюции к геохимической и затем биохимической эволюции.

Однако наиболее обоснованной в современном естествознании продолжает оставаться *теория abiогенного происхождения жизни А.И. Опарина* (1923). Она основывается на физико-химических представлениях об условиях на ранней Земле, связывая их с геологической эволюцией, эволюцией химических элементов Солнечной системы, а также активностью Солнца. Основной идеей этой теории является обоснование того, что зарождение жизни – это длительный процесс зарождения живой материи в недрах неживой.

Принципиальная возможность небиологического получения органических соединений была доказана экспериментальными исследованиями. Начало серии работ по abiогенному синтезу было положено американским ученым *С. Миллером* (1953), пропускавшим электрический разряд через смесь газов. *А.Г. Пасынский* и *Т.Е. Павловская* (1956) показали возможность образования аминокислот при ультрафиолетовом облучении газовой смеси формальдегида и солей аммония. Испанский учений *Х. Оро* (1960) осуществил синтез компонентов нукleinовых кислот. В 1970 г. американский учений *С. Паннамперума* синтезировал аденоцитрифосфорную кислоту (АТФ) – основную форму накопления энергии в живых организмах, а также аминокислоты, полипептиды и белково-подобные вещества. Таким образом, этими и другими работами было доказано, что abiогенное происхождение жизни во Вселенной могло произойти в результате взаимодействия тепловой энергии, ультрафиолетового излучения и электрических разрядов.

Однако в указанных работах были получены статические, химически завершенные биоэлементы, тогда как жизнь – это непрерывный процесс. Главной проблемой в учении об абиогенном происхождении жизни является объяснение возникновения матричного синтеза белков, так как жизнь возникла не тогда, когда образовались даже самые сложные органические соединения (отдельные молекулы РНК, ДНК и др.), а с появлением у них способности к самовоспроизведению и развитию, с переходом к матричному синтезу белка, характерному для живых организмов.

Переход к самовоспроизведению с помощью генетического кода был величайшим качественным скачком в эволюции материи. Однако механизм такого перехода до настоящего времени не вполне ясен.

Независимо от вышеизложенных утверждений различных теорий, возникнув на Земле, жизнь стала развиваться быстрыми темпами (в соответствии с законом ускорения эволюции во времени). Так, развитие от первичных протобионтов до аэробных форм (организмов, существующих в кислородной среде) потребовало около 3 млрд лет, тогда как с момента возникновения наземных растений и животных прошло только около 0,5 млрд лет. Птицы и млекопитающие эволюционировали за 100 млн лет, приматы выделились за 12–15 млн лет, а для становления человека потребовалось около 3 млн лет.

Таким образом, на Земле сформировалась сфера распространения живых организмов, или *биосфера* (рис. 2.1).

Современная биосфера включает в себя населенную живыми организмами нижнюю часть атмосферы, верхнюю часть литосферы и практически всю гидросферу (рис. 2.1).

Граница биосферы в атмосфере находится на высоте 15–20 км, совпадая с границей тропосферы. Ограничивающими факторами распространения жизни выше тропосферы являются ультрафиолетовое излучение, недостаток влаги, кислорода и низкое давление. Наиболее плотно населен нижний слой тропосферы до высоты 50 м.

В литосфере жизнь сосредоточена в основном на глубине до 80 м. Некоторые следы жизни обнаружены и на глубине 100 м, а также в трещинах и пустотах земной коры. Нижняя граница литобиосферы обусловлена высокой температурой недр и отсутствием воды в жидкому состоянии.

Наиболее плотно заселена организмами поверхностная часть земной коры, особенно почвенный слой.

Граница гидробиосфера проходит на глубине около 11 000 м (донные отложения Филиппинской впадины). Ограничивающими факторами здесь являются отсутствие света и высокое давление.

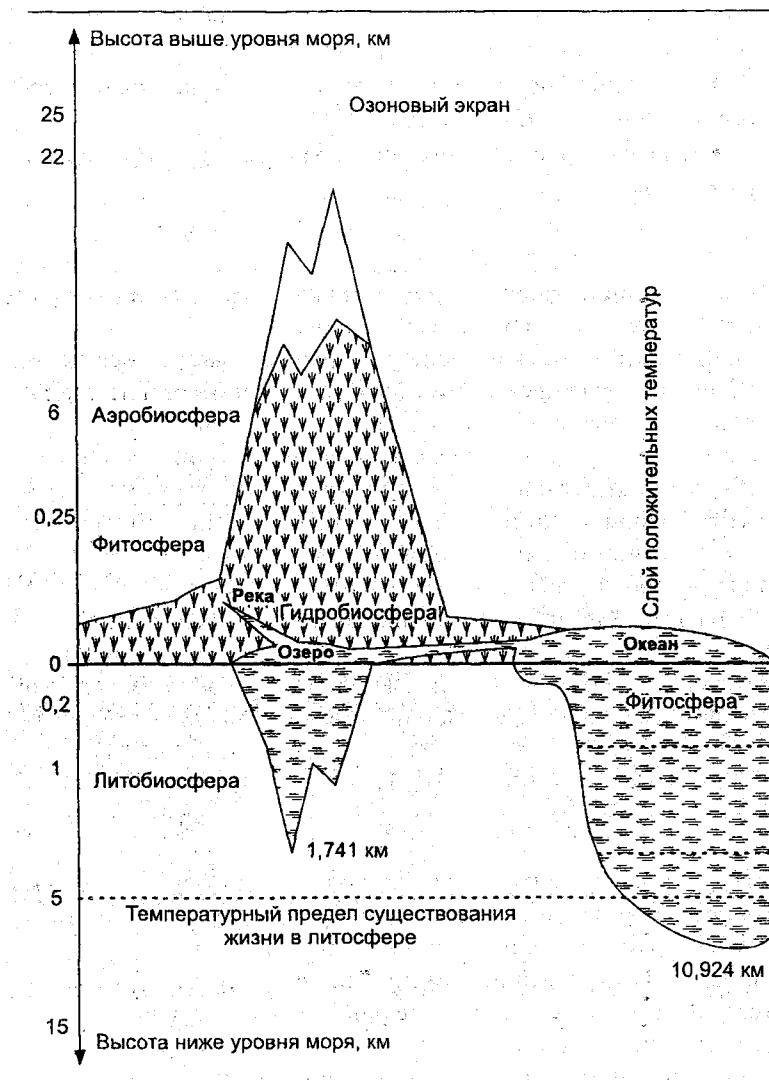


Рис. 2.1. Биосфера Земли

Важнейшими закономерностями эволюции органического мира, выявленными в результате палеонтологических исследований, являются:

- ◆ необратимость эволюции (*Л. Далло*, 1893), т.е. организм не может вернуться хотя бы частично к предшествующему состоянию, которое было в ряду его предков;
- ◆ ускорение биологической эволюции в ходе геологического времени (*В.О. Ковалевский*, 1871);
- ◆ разная скорость протекания эволюции различных групп организмов;
- ◆ направленное изменение нервной системы животных в ходе геологического времени.

В эволюции биосфера Земли можно выделить несколько последовательно сменяющихся этапов.

Первый этап, начавшийся в Космосе, завершился появлением на Земле древнейшей биосферы, органические соединения которой имели гетеротрофный режим питания и могли синтезировать органические соединения в результате радиохимических, каталитических и других реакций в условиях отсутствия свободного кислорода, а основным источником энергии была ионизирующая радиация (в геологической истории Земли выделено 30 эпох уранонакопления – *С.Г. Неручев*, 1983).

Второй этап, переходный, характеризуется появлением фотосинтезирующих организмов и наряду с гетеротрофным режимом питания – началом развития автотрофного. Однако по-прежнему в атмосфере Земли превалирует концентрация углекислого газа, и этот этап является слабоокислительным.

Третий этап, окислительный, начался с медленного увеличения концентрации кислорода в атмосфере и завершился значительным ускорением эволюции организмов. Увеличение концентрации кислорода в атмосфере привело к ускорению развития и расширению растительного покрова и распространению животных на континентах, что резко увеличило автотрофный режим питания и продукцию фотосинтеза. В результате жизнедеятельности растительного и животного мира сформировался современный газовый состав атмосферы и химический состав растворенного вещества в гидросфере.

Основными функциями живого вещества являются газовая, концентрационная и окислительно-восстановительная.

*Газовая функция* заключается в постоянном газообмене организмов с окружающей средой в процессе дыхания и фотосинтеза, поэтому большинство газов верхних горизонтов планеты порождено жизнью. Подземные горючие газы, в том числе метан, образуются в результате разложения органических веществ растительного происхождения, ранее захороненных в осадочных толщах. Биогенное происхождение имеют также азот и кислород.

*Концентрационная функция* состоит в накапливании организмами многих химических элементов, прежде всего углерода и водорода, поскольку они имеют биогенное происхождение. Концентриаторами кальция являются горные хребты, кремния — диатомовые водоросли, радиолярии и некоторые губки, йода — водоросли ламинарии, железа и марганца — некоторые виды бактерий. Фосфор накапливается в костях позвоночных животных. Как следствие концентрационной функции организмов стали появляться в земной коре химические соединения (полезные ископаемые — торф, каменный уголь, известняк и др.).

*Окислительно-восстановительная функция* заключается в осуществлении обмена веществ и энергии организма с внешней средой. Она выражается в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности организмов.

В процессе синтеза органических веществ преобладают восстановительные реакции и происходит затрата энергии. В процессе расщепления и окисления в присутствии кислорода преобладают окислительные реакции и выделяется энергия.

Эволюция живых организмов, будучи необратимым процессом, предопределила дальнейшую эволюцию всей биосферы и создала предпосылки для ее перехода в качественно новое состояние — ноосферу, или сферу разума. Понятие ноосферы как высшей стадии эволюции биосферы отражает будущее природы, когда все изменения в окружающей среде и дальнейшая эволюция природы будут контролироваться разумом в целях гармонизации взаимоотношений общества и природы. Ноосфере присущи все естественные закономерности эволюции биосферы, и поэтому ее возникновение является закономерным этапом биогенеза.

### **2.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Существование и распространение живых организмов, их разнообразие и плотность заселения определяются условиями среды обитания, которая включает живые и неживые объекты.

Место, где проживает организм, или пространство, занимаемое сообществом, называется *местообитанием*. Более емким понятием местообитания организмов является понятие «экологическая ниша». Экологическая ниша включает в себя не только физическое пространство, но и функциональную роль организма в сообществе, а также комплекс физико-химических и биологических факторов, удовлетворяющих потребностям организма для его нормального устойчивого развития.

Требования любого организма к условиям обитания определяют границы его распространения, или ареал.

В природе живые организмы объединяются в определенные иерархические системы, которые представляют собой разные уровни организации живого вещества: популяции, сообщества, экосистемы.

*Популяция* — это группа особей одного вида, обладающих сходной наследственной природой, занимающая определенное пространство и способная поддерживать свою численность в постоянно изменяющихся условиях среды. Популяция занимает определенное пространство и обладает признаками, характеризующими группу как целое (плотность, рождаемость, тип роста и т.п.).

Обычно популяции разных видов объединяются в системы более высокого ранга — *сообщества*, представляющие собой совокупность этих популяций, населяющих определенную территорию.

Наименьшей единицей биотического сообщества является *биоценоз* — т.е. биологическая система, представляющая совокупность популяций различных видов растений, животных и микроорганизмов.

Совокупность видов животных, микроорганизмов и растений, объединенных в одной области распространения, называется *биотой*.

Биоценоз функционирует как единое целое благодаря взаимосвязанным метаболическим превращениям. Биотическое сообщество, или биота, обладает особыми свойствами, не присущими ее компонентам — особям и популяциям.

Пространство, занимаемое биоценозом, называется **биотопом**. Биоценоз и его биотоп образуют устойчивую систему — **биогеоценоз**, т.е. сообщество организмов, связанное с неорганической средой теснейшими материально-энергетическими связями (рис. 2.2).

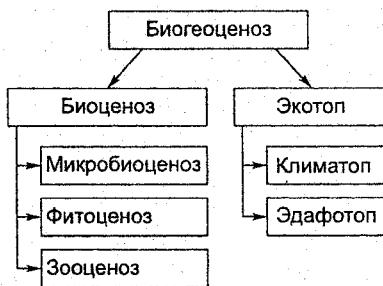


Рис. 2.2. Составляющие биогеоценоза

Биогеоценоз как образование аналогично понятию **экологической системы**, под которым понимается природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором все компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии, создают определенные биотические структуры

и обеспечивают круговорот веществ между биотической и абиотической частями. Таким образом, и биогеоценоз и экосистема представляют собой совокупность живых организмов и среды обитания, но экосистема — понятие более широкое, а биогеоценоз представляет собой частный случай экосистемы. Кроме того, экосистема может быть целиком искусственной.

Таким образом, экологической системой самого высокого ранга является биосфера Земли.

Структура экологических систем включает в себя неорганические вещества (углерод, водород, углекислый газ, воду и др.), органические соединения (белки, углеводы, липиды и т.д.), воздушную, водную и субстратную среду, климатический режим и другие физические факторы, а также ряд живых организмов, обеспечивающих круговорот веществ в экосистемах и природе в целом.

Вся совокупность живых организмов Земли составляет биомассу Земли, равную  $242,3 \cdot 10^{10}$  т сухого вещества, из которой 97% составляют растения, а 3% — животные и микроорганизмы, при этом 99,8% всей биомассы сосредоточено на суще.

## 2.4. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДЕ

Все вещества на Земле находятся в процессах биохимического круговорота. Биохимический круговорот веществ является основой существования биосферы и представляет собой

как бы безотходное производство, в котором одни организмы в своей жизнедеятельности используют «отходы» других и функции всех организмов строго определены.

Различают два основных круговорота – большой геологический и малый биологический.

*Большой геологический круговорот* веществ обусловлен воздействием солнечной энергии и проявляется наиболее ярко в круговороте воды и циркуляции атмосферы.

*Малый биологический круговорот* осуществляется благодаря одновременному созданию органического вещества одними организмами, потреблению и разложению его другими до исходных минеральных соединений. Начинается он с биосинтеза (фитогенеза), т.е. создания первичного органического вещества в тканях зеленых растений под воздействием Солнечной системы (рис. 2.3).

В процессе фотосинтеза происходит образование высшими растениями, водорослями, бактериями сложных органических веществ из простейших соединений (углекислоты и воды) за счет энергии, поглощаемой хлорофиллом и другими фотосинтезирующими пигментами.

Растения усваивают из атмосферного воздуха огромное количество углекислоты (примерно  $3,8 \cdot 10^{11}$  т/год) и выделяют  $5 \cdot 10^4$  т / год свободного кислорода.

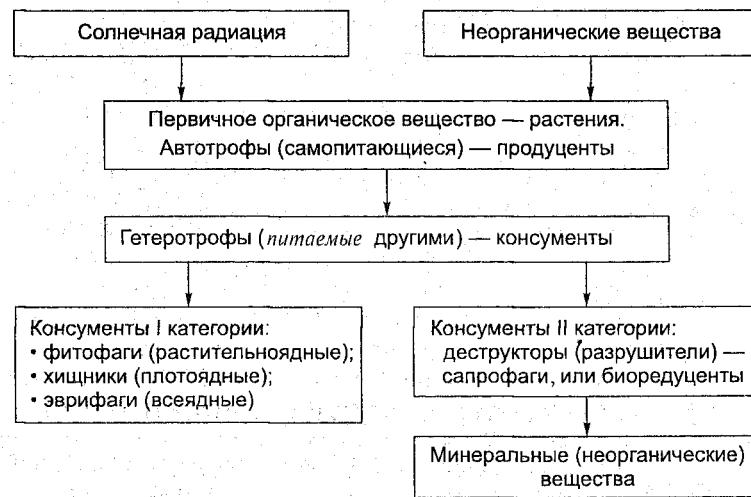


Рис. 2.3. Биотический круговорот веществ

Растения строят свой организм без посредников, поэтому их называют самопитающимися или *автотрофами*. Автотрофы иначе называются *продуцентами*, поскольку они производят первичное органическое вещество из неорганического.

Продуценты в зависимости от источников энергии, используемой на синтез органических веществ в клетке, разделяются на фототрофы и хемотрофы.

*Фототрофы* (наземные зеленые растения, водоросли и фототрофные бактерии) используют солнечную энергию в производстве органического вещества за счет реакции фотосинтеза.

*Хемотрофы* (микроорганизмы, например серобактерии) ассимилируют органические соединения путем хемосинтеза за счет энергии, получаемой в результате окисления аммиака, сероводорода и других веществ.

Организмы, которые не могут строить собственное вещество из минеральных компонентов и используют в пищу то, что создано автотрофами, называются *гетеротрофами*, что означает «питаемые другими», или *консументами*. Они имеют по сравнению с продуцентами более сложный обмен веществ.

Консументы бывают первого, второго, третьего и так далее порядка, образуя трофические (пищевые) цепи различной сложности.

В зависимости от источника питания консументы подразделяются на три класса (рис. 2.3):

- ◆ фитофаги (растительноядные), питающиеся исключительно растениями (олени, зайцы, многие птицы);
- ◆ хищники (плотоядные), питающиеся исключительно растительноядными животными (фитофагами);
- ◆ эврифаги (всеядные), питающиеся как растительностью, так и животными (волки, лисы).

Фитофаги, хищники и эврифаги образуют первую категорию консументов.

Ко второй категории консументов относятся различного рода разрушители, или деструкторы, органических веществ, образующиеся в процессе питания на всех трофических уровнях в виде «отходов».

Деструкторы (бактерии, грибы, простейшие), питаясь, разлагают эти «отходы» до минеральных веществ. Эти консументы называются *сапрофагами* или *биоредуцентами*. Ни один из видов биоредуцентов не в состоянии полностью разрушить

органическое вещество. Каждый из них осуществляет разложение на определенном этапе. Быстрее всего разлагаются жиры, углеводы и белки, а медленнее – растительная клетчатка, хитин, кости и др.

Биоредуценты образуют вещества, которые могут использоваться продуцентами и вновь участвовать в круговороте.

Таким образом, с трофической точки зрения структура экологических систем и биосфера в целом может быть представлена по вертикали в виде двух ярусов, верхний – автотрофный ярус, или «зеленый пояс», включает растения либо их части, содержащие хлорофилл, где преобладает фиксация энергии Солнца. Используются простые неорганические соединения, и происходит накопление сложных органических соединений. Нижний – гетеротрофный ярус, или «коричневый пояс», состоит из почв и осадков, разлагающихся частей отмерших организмов. В этом поясе преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений. Общей чертой всех экосистем является взаимодействие автотрофных и гетеротрофных компонентов.

Таким образом, в экологических системах и биосфере в целом постоянно протекают противоположно направленные процессы: синтез и разложение органического вещества, которые тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Однако характерным для биосфера является преобладание синтеза органического вещества над разложением. Это, как предполагается, явилось основной причиной связывания  $\text{CO}_2$ , уменьшения его содержания в атмосфере и соответственно накопления кислорода, что создало условия для возникновения и развития высших форм жизни.

Отставание гетеротрофной утилизации и разложения продуктов автотрофного метаболизма от процессов их создания обусловило и накопление в недрах Земли горючих ископаемых. Поэтому сжигание органического вещества, накопленного в горючих ископаемых и древесине, интенсификация сельскохозяйственного производства, ведущая к ускоренной минерализации органического вещества почвы, являются причиной высвобождения углерода в виде значительного количества углекислого газа, что в свою очередь может привести к непредсказуемым последствиям и резко изменить условия обитания всего живого на Земле.

Биосфера является чрезвычайно сложной саморегулирующейся системой. Поэтому характер основных круговоротов на Земле существенно не изменяется, за исключением изменения скорости геохимических процессов. Стабильное состояние биосфера обусловливается жизнедеятельностью живых организмов, которые обеспечивают биотический круговорот веществ, используя при этом определенную скорость преобразования солнечной энергии и миграцию микроорганизмов.

Однако хозяйственная деятельность человека может нарушать естественный круговорот веществ, а значит, отрицательно воздействовать на биосферу и человека.

Загрязняя окружающую природную среду (воду, воздух, почву), вырубая леса, сжигая топливо, фиксируя атмосферный азот в продуктах производства, связывая фосфор в детергентах, человек нарушает биохимический круговорот веществ (элементов).

Таким образом, производственная деятельность становится чуть ли не основным геологическим фактором всех происходящих в биосфере изменений. Поэтому дальнейшее неконтролируемое развитие хозяйственной деятельности общества может привести к последствиям глобального характера. Чтобы этого избежать, необходимо, обеспечить разумное отношение к природе, рационально использовать природные ресурсы, гармонизировать взаимодействия общества и природы, постепенно превращая биосферу в среду разума (ноосферу).

## 2.5. ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

Любая экологическая система или любой биоценоз динамичны, так как в них постоянно происходят изменения в состоянии и жизнедеятельности его членов, в численных соотношениях популяций. Все эти изменения сводятся к двум основным типам: циклическим и поступательным (рис. 2.4).

*Циклические изменения* сообществ отражают суточную, сезонную и многолетнюю периодичность внешних условий и проявления внутренних (эндогенных) ритмов организма.

*Суточные* преобразования в биоценозах выражены тем сильнее, чем значительнее разница температур, влажности и других факторов днем и ночью. Они, как правило, заметны как перемены в формах деятельности и функциональном состоянии особей.



Рис. 2.4. Классификация изменений в экосистемах

*Сезонные* преобразования биоценозов выражаются в изменении не только состояния и активности, но и количественных соотношений отдельных видов. Наиболее четко такая изменчивость проявляется в климатических зонах с контрастными условиями лета и зимы.

*Многолетняя* изменчивость зависит от климатических флюктуаций, а также периодических изменений других внешних для биоценоза факторов. Кроме того, она может быть связана с периодичностью жизненных циклов отдельных видов.

Многолетние изменения имеют тенденцию повторяться вслед за локальными изменениями климата, обусловленными усилением и ослаблением солнечной активности.

*Поступательные изменения* в экосистемах приводят в конечном итоге к смене одного сообщества живых организмов другим сообществом. Причиной такой смены могут быть внешние факторы, длительное время действующие в одном направлении. Возникающие при этом изменения биоценозов называются *экзогенетическими*, а если они приводят к упрощению структуры сообщества и обеднению его состава — *дегрессионными*.

Изменения биоценозов, возникающие за счет процессов, происходящих внутри самого сообщества, называются *эндогенетическими*.

Процесс изменения в экосистемах, приводящий к смене одного сообщества живых организмов другим сообществом на данной территории, называется *сукцессией*.

Основной причиной сукцессии является неполнота биологического круговорота в данном биоценозе. Каждый живой организм в результате жизнедеятельности меняет вокруг себя среду, изымая из нее часть веществ и насыщая ее продуктами обмена веществ (метаболизма).

При определенной длительности существования популяций они изменяют свое окружение в неблагоприятном направлении и в результате оказываются вытесненными другими видами популяций, для которых возникшие изменения среды оказываются экологически более благоприятными. Так, кустарник леса сменяется березовым или осиновым лесом, который в свою очередь уступает смешанному сосново-лиственному лесу, потом верх берет чисто сосновый лес, затем сосново-кедровый и кедрово-пихтовый лес (рис. 2.5).

Длительное существование биоценоза возможно только в том случае, если изменения среды, вызванные деятельностью одних организмов, компенсируются деятельностью других организмов с противоположными экологическими требованиями. В ходе сукцессии на основе конкурентных взаимодействий видов происходит постепенное формирование более устойчивых комбинаций, соответствующих данным абиотическим условиям среды.

Сукцессии в природе чрезвычайно разномасштабны. Их иерархия обусловлена иерархичностью самих экосистем, т.е. из мелких преобразований складываются более крупные преобразования биоценозов.

Процесс сукцессии включает следующие этапы:

- ◆ возникновение незанятого жизнью участка;
- ◆ миграция на этот участок различных организмов;
- ◆ приживание организмов;
- ◆ формирование структуры биоценоза путем конкуренции;
- ◆ преобразование местообитания для стабилизации среды и отношений между организмами.

В любой сукцессии постепенно нарастает видовое разнообразие, усложняются связи в биоценозе, расширяется трофическая сеть, усиливаются возможности регуляции внутри системы. При этом темпы происходящих изменений постепенно замедляются, а конечным итогом является формирование устойчивого

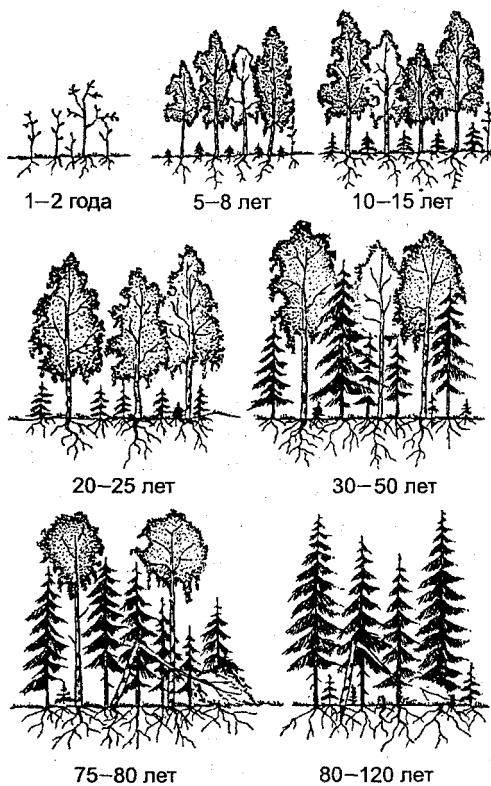


Рис. 2.5. Сукцессионный процесс

сообщества. Это приводит к резкому снижению вероятности слишком сильного размножения отдельных видов и снижению степени доминирования наиболее массовых форм.

В сообществах, находящихся в начале сукцессионных рядов, преобладают мелкоразмерные виды с коротким жизненным циклом. Они первыми проникают на незанятые участки, но мало способны к длительному удержанию пространства. Затем постепенно появляются более крупные формы с длительными и сложными циклами развития. Нарастание экологического разнообразия ведет к более четкому распределению видов по экологическим

нишам. В результате сообщество обретает определенную автономность и независимость от внешних условий.

В ходе сукцессии общая биомасса сначала возрастает, затем темпы этого прироста падают и на определенной стадии биомасса системы стабилизируется. Это связано с тем, что на первых этапах видовой состав сообщества беден, пищевые цепи коротки и большая часть прироста потребляется гетеротрофами. Таким образом, в зрелых устойчивых системах весь прирост биомассы практически полностью расходуется гетеротрофами и близок к нулю.

*Закон внутреннего динамического равновесия* проявляется в том, что в экологических системах вещество, энергия, информация и их динамика тесно взаимосвязаны, поэтому любое изменение одного из этих показателей вызывает функционально-структурные, количественные и качественные перемены.

Закон внутреннего динамического равновесия является одним из главных; им и следует руководствоваться при организации природопользования.

Пока изменения среды слабы и затрагивают небольшие площади, они ограничиваются конкретным местом или гаснут, но если достигают заметных величин для крупных экосистем, то вызывают сдвиги в природных образованиях и через них в биосфере в целом.

Отмеченные закономерности в биосистемах чрезвычайно важны для хозяйственной деятельности человека. Изымая избыток чистой продукции из биоценозов, находящихся в началье сукцессионных рядов, мы задерживаем этот процесс. Вмешательство же в стабильные системы, которые расходуют энергию на свои нужды, неминуемо нарушает сложившееся равновесие. Пока нарушения не превышают способность биоценоза к самовосстановлению, он может вернуться к исходному состоянию. В противном случае биоценоз деградирует.

Таким образом, вмешательство в сукцессионный процесс без учета закона внутреннего динамического равновесия может привести к распаду экосистем.

## **2.6. ИСТОРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ**

В истории взаимоотношений общества и природы можно выделить несколько качественно своеобразных этапов в зависимости от уровня развития производства и средств труда.

История взаимодействия человека и природы насчитывает около 3,0–3,5 млн лет. Об этом свидетельствует возраст найденных останков древнейших людей (архантропов) и следов их жизнедеятельности – первых каменных орудий в Восточной Африке, а также возраст останков архантропов на острове Ява (питекантропов), в Китае (синантропов) и др. (от 1 млн до 250 тыс. лет).

Первый этап в истории взаимоотношений человека и природы, названный древнекаменным веком или палеолитом, длился более 3 млн лет. Для этого этапа характерно непосредственное использование человеком готовых продуктов природы, добытых путем собирательства, охоты, рыболовства, и отсутствие существенного влияния на природу.

По истечении сотен тысяч лет сформировался человек современного типа – неантроп и первая социальная организация общества – первобытно-общинный строй.

Второй этап – новокаменный век (неолит), который наступил около 10 тыс. лет тому назад, знаменуется появлением земледелия и скотоводства, переходом от присваивающих форм хозяйствования, присущих палеолиту, к производящим формам. Для этого этапа характерно некоторое ухудшение природных условий, снижение продуктивности охоты, усиление воздействия людей на природу. Расширение земледелия потребовало интенсивной вырубки лесов, стали шире использоваться энергетические, минеральные и органические ресурсы, началось строительство различных ирригационных сооружений и т.п. Появились населенные пункты, а позднее – города как центры торговли и мануфактуры.

Однако еще в течение многих тысячелетий главной формой взаимодействия общества и природы оставалось земледелие и скотоводство, а главным видом энергии – мускульная сила человека и животных, сила ветра и воды.

Важнейшей чертой первых двух этапов взаимоотношений человека и природы является то, что запасы и естественное воспроизводство природных ресурсов в целом оставались бесконечно велики по сравнению с потреблением их обществом.

На третьем этапе, промышленном, на рубеже XVIII – XIX вв. положение коренным образом изменилось. В этот период осуществляется переход от ремесленного производства к промышленному, от малопроизводительного ручного труда – к машинному. Для этого этапа характерно бурное развитие

промышленности и энергетики, интенсивное использование топливных и гидроресурсов, минеральных, органических и других богатств природы.

Стремительно развиваются сельское хозяйство, транспорт, связь, идет бурная урбанизация. И если прежде изменения в природе, вызванные хозяйственной деятельностью людей, носили, как правило, локальный характер, то промышленная революция, создав грандиозные производительные силы, привела к резкому увеличению потребления природных ресурсов, вовлечению в хозяйственный оборот новых источников сырья и энергии, значительному усилению воздействия общества на природу.

В результате начали сокращаться площади лесов, исчезли многие виды животных, увеличились площади эродированных земель, началось промышленное загрязнение природной среды, а ресурсы Земли стали резко сокращаться. Таким образом, отношения между обществом и природой, особенно в крупных индустриальных районах, стали приобретать критический характер. Возникли зоны повышенного антропогенного и техногенного влияния на природную среду, что привело к частичной, а в ряде случаев и полной региональной деградации. Эти тенденции еще более усилились с наступлением во второй половине ХХ в. эпохи научно-технической революции (НТР), охватившей все сферы жизнедеятельности человека и все регионы мира.

Научно-техническая революция ознаменовалась появлением принципиально новых способов получения сырья и энергии, средств производства, выпуском продукции с самыми разнообразными технико-экономическими и физико-химическими свойствами.

Дальнейшее неконтролируемое, неуправляемое развитие такой деятельности несет в себе опасность резкого ухудшения состояния окружающей среды вплоть до глобального экологического коллапса.

В зависимости от темпов самовосстановления и биологической продуктивности экологических систем, находящихся в условиях антропогенного воздействия, ухудшение состояния окружающей природной среды, ее угасание может характеризоваться определенными градациями.

Так, в *естественном состоянии* наблюдается лишь фоновое антропогенное воздействие. В этом случае биомасса максимальна, а биологическая продуктивность минимальна.

*Равновесное состояние* характеризуется тем, что скорость восстановительных процессов выше или равна темпу нарушений. При этом биологическая продуктивность больше естественной, а биомасса начинает снижаться.

*Кризисное состояние* характеризуется тем, что нарушения превышают по скорости естественно-восстановительные процессы, но сохраняется естественный характер экосистем, биомасса снижена, а биологическая продуктивность резко повышена.

При *критическом состоянии* наблюдается обратимая замена прежде существовавших экологических систем под антропогенным воздействием на менее продуктивные (частичное опустынивание). В этом случае биомасса мала и, как правило, снижается.

*Катастрофическое состояние* – это труднообратимый процесс закргления малопродуктивных экосистем (сильное опустынивание), биомасса и биологическая продуктивность минимальны.

*Состояние коллапса* – это необратимая потеря биологической продуктивности (биомасса стремится к нулю).

Указанные изменения природы (ее угасание) негативно сказываются на здоровье людей, и каждому состоянию природы соответствуют определенные медико-социальные изменения.

*Благополучная ситуация* характеризуется устойчивым ростом продолжительности жизни и снижением заболеваемости.

При *напряженной экологической ситуации* наблюдается переход состояния природы от кризисного к критическому. При этом отдельные показатели здоровья населения достоверно выше нормы, существующей в аналогичных местах или регионах, не подвергающихся выраженному антропогенному воздействию данного типа, но это не приводит к заметным и статистически достоверным изменениям продолжительности жизни населения и более ранней инвалидности людей, профессионально не связанных с источником воздействия.

В зоне экологического бедствия наблюдается переход от кризисного состояния природы к катастрофическому, и на территории, в пределах которой в результате антропогенного воздействия невозможно социально-экономически оправданное хозяйство, показатели здоровья населения (детская заболеваемость и смертность, заболеваемость взрослых), скорость наступления инвалидности достоверно выше, а продолжительность жизни людей заметно и статистически достоверно ниже, чем на аналогичных территориях, не подвергшихся подобным воздействиям.

В зоне экологической катастрофы, когда имеет место переход состояния природы от катастрофической фазы к коллапсу, территория становится непригодной для жизни человека.

Указанные критерии используются при оценке экологического состояния различных территорий.

## 2.7. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

*Природные, или естественные, ресурсы* – это тела, вещества и силы природы, которые могут использоваться в качестве предметов потребления, средств производства и являются сырьевой и энергетической базой экономики.

Естественные ресурсы могут классифицироваться по происхождению на *минеральные* (полезные ископаемые), *водные, земельные* и *биологические* (растительного и животного происхождения).

В связи с проблемой ограниченности запасов природных ресурсов важное значение имеет их классификация по экологическому признаку, или по исчерпаемости и возобновляемости (рис. 2.6). По данному признаку ресурсы природы подразделяются на неисчерпаемые и исчерпаемые.

К *неисчерпаемым ресурсам* относятся космические ресурсы (солнечная радиация, гравитация), климатические (атмосферный воздух, энергия ветра) и водные (вода, осадки).

*Искрпаемые ресурсы* подразделяются на невозобновляемые (минеральные ресурсы: недра, уникальные памятники природы) и возобновляемые (биологические – растения и животные, почвы, ландшафты и некоторые минеральные ресурсы – соли морей, торф).

В условиях рыночных отношений практическое значение имеет рыночная классификация ресурсов. По рыночному признаку природные ресурсы подразделяются на *ресурсы стратегического назначения* (например, урановые руды и др.), *экспортного значения* – ресурсы, обеспечивающие основной приток валютных поступлений (нефть, газ, золото, алмазы, лес, калийные соли и др.) и *ресурсы внутреннего рынка* (например, минеральное сырье, используемое для производства строительных материалов и др.).

Классификация ресурсов позволяет выявить закономерности формирования ресурсов, особенности возникновения, возможности хозяйственного использования и др.

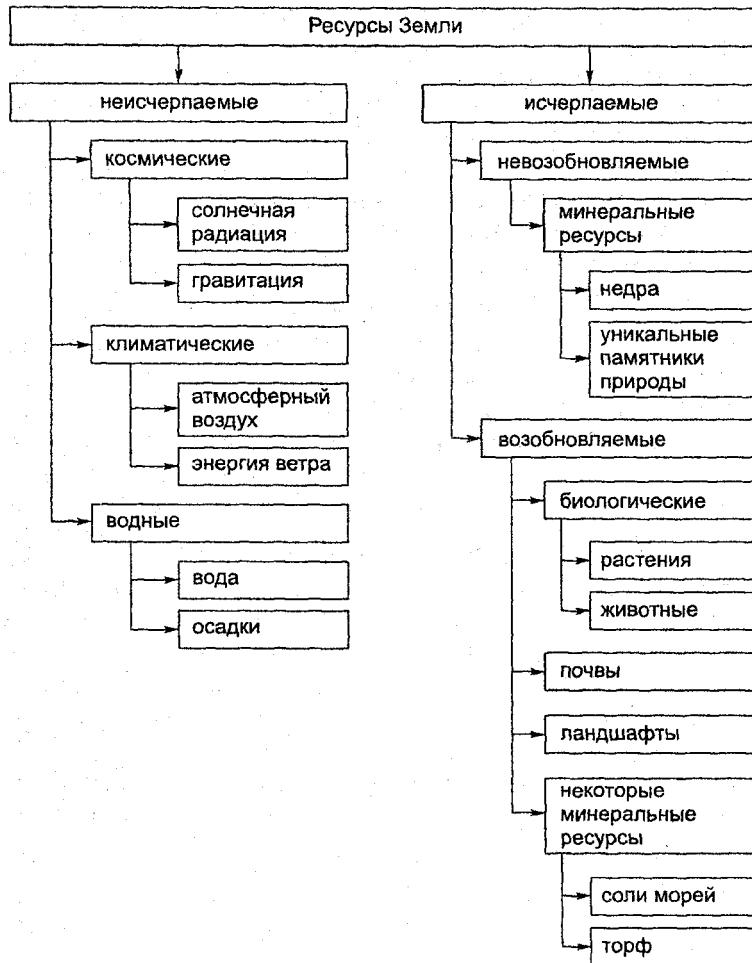


Рис. 2.6. Классификация ресурсов по исчерпаемости и возобновляемости

Природные ресурсы и условия окружающей природной среды представляют собой базу устойчивого социально-экономического развития. От естественных свойств земли, богатства недр, плодородия почв, особенностей климата, наличия лесной и другой растительности, животного мира, воды, рек, озер, морей и океанов во многом зависят темпы производства и благосостояния людей.

### **2.7.1. Атмосфера, ее состав и основные характеристики**

*Атмосфера* – это газовая среда, окружающая Землю. Ее суммарная масса, определяемая по силе давления на поверхность Земли, равна  $5,15 \cdot 10^{15}$  т.

Атмосферный воздух представляет собой механическую смесь газов со взвешенными каплями воды, пыли, кристаллами льда. Атмосферное давление и плотность с высотой убывают. Атмосфера без резкой границы постепенно переходит в космическое пространство.

Атмосфера придает небу голубой цвет, так как молекулы основных элементов воздуха и различные примеси рассеивают лучи с короткой длиной волны, т.е. фиолетовые, синие и голубые. По мере удаления от Земли, а следовательно, уменьшения плотности засоренности воздуха, цвет неба становится темнее, воздушная оболочка приобретает густо-синюю, а еще выше – черно-фиолетовую окраску.

Атмосфера состоит из нескольких слоев, отличающихся своими особенностями и характеристиками. Нижний слой, прилегающий к земной поверхности (рис. 2.7), называется тропосферой (высота у полюсов 8–10 км, над экватором – 16–18 км). Температура воздуха с высотой постепенно понижается – в среднем на  $6,5^{\circ}\text{C}$  с каждым километром, что обуславливается непрерывным перемешиванием воздуха как по вертикали, так и по горизонтали.

В тропосфере содержится до 80% всей массы воздуха. Здесь находится основное количество атмосферных примесей. В этой части атмосферы на высоте 10–12 км образуются облака, возникают грозы, дожди и другие физические процессы, формирующие погоду и определяющие климатические условия на Земле.

Выше тропосферы начинается *стратосфера*, простирающаяся до высоты 50–55 км от поверхности океана. Этот слой атмосферы значительно разрежен, количество кислорода и азота уменьшается, а водорода, гелия и других легких газов увеличивается. По всей стратосфере распространены молекулы озона ( $\text{O}_3$ ), образуя озоновый слой, который ослабляет ультрафиолетовую радиацию и оказывает сильнейшее влияние на тепловые условия поверхности Земли и физические процессы в тропосфере.

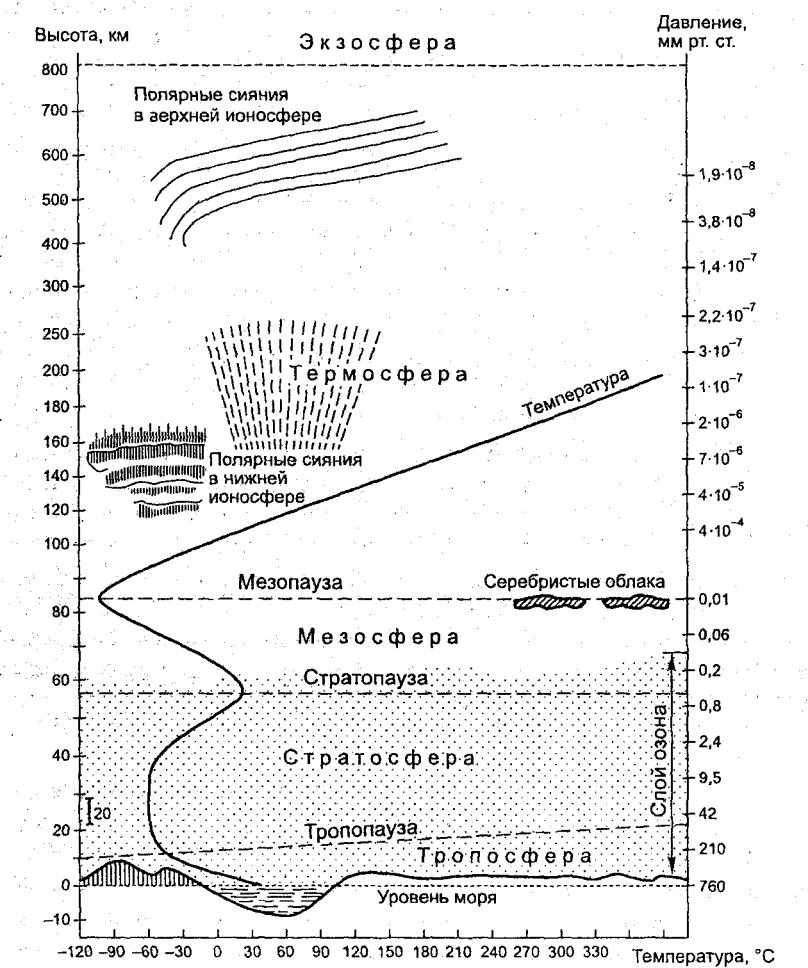


Рис. 2.7. Строение атмосферы

Для стратосферы характерны слабые воздушные потоки, малое количество облаков и постоянство температуры ( $\sim -56^{\circ}\text{C}$ ) до высоты  $\sim 25$  км. Выше температура начинает повышаться в среднем на  $0,6^{\circ}\text{C}$  с каждым километром и на уровне 45–55 км достигает  $0^{\circ}\text{C}$ .

На высоте 55–80 км находится мезосфера, а далее между 80–800 км расположена термосфера, в составе которой пре-

обладают гелий и водород. Температура на высоте 400 км достигает 1500 °C.

Мезосфера и термосфера образуют общий мощный слой, называемый *ионосферой*, так как здесь под действием космических излучений среда ионизируется, т.е. происходит образование заряженных частиц (атомов, молекул) – ионов.

Самая верхняя, сильно разреженная часть атмосферы, составляет *экзосферу*. В ней преобладают газы в атомарном состоянии, температура повышается до 2000 °C. Газы экзосферы затем рассеиваются в межпланетном пространстве.

Наибольшее влияние на жизнедеятельность человека и всей биосфера оказывает приземной слой атмосферы. Химический состав воздуха у поверхности Земли в нормальных условиях примерно следующий: азот – 78,08%, кислород – 20,95, углекислота – 0,03, инертные газы – 0,93 и прочие – 0,01%.

Атмосфера оказывает благоприятное воздействие на климат Земли, регулирует перепад суточных температур. Без атмосферы суточные колебания температуры достигали бы 200 °C: днем +100 °C и выше, а ночью – -100 °C. В настоящее время средняя температура воздуха у поверхности Земли равна +15 °C.

Атмосфера является переносчиком влаги на Земле и средой распространения света и звука. Она защищает людей от различных опасностей космического происхождения: метеоритов, космических излучений, в том числе жесткого ультрафиолетового и рентгеновского излучений.

Физические и химические характеристики атмосферы, отличающиеся от адекватных, могут отрицательно влиять на здоровье людей, их работоспособность и продолжительность жизни.

Атмосферный воздух широко используется как природный ресурс в народном хозяйстве. Из атмосферного азота производятся минеральные азотные удобрения, азотная кислота и ее соли. Аргон и азот используются в металлургии, химической и нефтехимической промышленности. Из атмосферного воздуха получают также кислород и водород.

**Загрязнение атмосферы.** Загрязнение атмосферы может быть естественным (природным) и антропогенным (техногенным).

*Естественное загрязнение* обусловливается природными процессами, такими как вулканическая деятельность, эрозия (выветривание) горных пород, дым от лесных и степных пожаров. В воздух попадают также частицы морской воды, различ-

ные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения.

Естественные загрязнения носят либо распределенный характер (например, выпадение космической пыли), либо кратковременный стихийный (лесные и степные пожары, извержения вулканов и др.).

Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени.

*Антропогенное загрязнение* связано с выбросом различных загрязняющих веществ в процессе хозяйственной деятельности человека. Оно значительно масштабнее естественного.

Антропогенное загрязнение может быть *местным*, когда увеличивается концентрация загрязняющих веществ на небольшой территории — город, район, сельскохозяйственная зона, *региональным*, когда загрязняется значительное пространство, и *глобальным*, когда наступает изменение состояния атмосферы в целом на Земле.

Главные загрязнители, образующиеся в процессе производства, — это диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), оксид и диоксид углерода ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ), твердые частицы, пары кислот, щелочей, растворов солей, органические и неорганические пыли, в том числе пыли тяжелых металлов и их соединений (свинец, ртуть, кадмий, хром, никель и др.).

Наряду с химическим загрязнением большую опасность представляет радиоактивное загрязнение воздуха, источниками которого являются испытание ядерного оружия, действующие атомные электростанции (АЭС), предприятия по производству ядерного топлива и др.

Основными загрязнителями атмосферы являются следующие отрасли промышленности:

- ◆ теплоэнергетика, гидроэлектростанции (ГЭС) и атомные электростанции (АЭС), промышленные и городские котельные (серный и углекислый газ);

- ◆ предприятия черной и цветной металлургии (оксиды азота, свинца, сероводород, сероуглерод, хлор, фтор, соединения фосфора, ртуть, мышьяк);

- ◆ предприятия угледобычи и углехимии (оксиды углерода, сернистый ангидрид, оксиды азота, сероводород, формальдегид, толуол, ксиол, бензол и др.);

◆ автотранспорт (>95% CO, ~65% углеводородов; 30% оксидов азота);

◆ производство строительных материалов (пыль, взвешенные вещества);

◆ химическая промышленность (пары кислот, щелочей, растворители – толуол, ацетон, бензол, окись углерода и др.).

Некоторые первичные атмосферные загрязнители, непосредственно поступающие в атмосферу, могут превращаться во вторичные и также загрязнять окружающую природную среду.

Для интегральной оценки состояния атмосферы применяется упрощенный показатель – индекс суммарного загрязнения атмосферы:

$$I_m = \sum_{i=1}^n (g_i - A_i)^{C_i},$$

где  $n$  – количество вредных веществ;  $g_i$  – средняя за год концентрация в воздухе  $i$ -го вещества;  $A_i$  – коэффициент опасности  $i$ -го вещества, обратный ПДК этого вещества;  $C_i$  – коэффициент, зависящий от класса опасности этого вещества (1,5; 1,3; 1,0; 0,85 для 1, 2, 3 и 4-го класса опасности).

Критерием качества атмосферного воздуха является ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, определяемая количеством вещества, находящегося в  $1\text{m}^3$  воздуха, которое не оказывает вредного влияния на здоровье людей, постоянно его вдыхающих.

### 2.7.2. Гидросфера

Для человека и биосфера в целом исключительное значение имеют водные ресурсы.

Вода – это химическое соединение водорода и кислорода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), бесцветная жидкость без запаха, вкуса. В природных условиях вода всегда содержит растворенные соли, газы и органические вещества, количество которых меняется в зависимости от ее происхождения и окружающих условий.

Большая часть поверхности Земли (около 3/4) покрыта водой, в том числе около 70% ее занимают моря и океаны, 3 – реки и озера, 4% – горные и полярные ледники.

В составе гидросферы 98% соленых вод и только 2% – пресных, которые сосредоточены преимущественно в ледниковых покровах материков.

Из всех запасов воды, для водопользования пригодны около 0,3%.

В настоящее время обеспеченность водой в расчете на 1 человека в сутки в различных странах мира разная. В странах с развитой экономикой назрела угроза недостатка воды. Перспективными источниками воды являются айсберги, рожденные ледниками Антарктиды и Гренландии.

При концентрации солей до 1 г/л вода считается пресной, до 24,7 — солоноватой, свыше 25 г/л — соленой.

Вода является универсальным растворителем для многих газообразных, жидких и твердых веществ. Она участвует в большинстве химических реакций, благоприятствует образованию химических соединений, обусловливающих возникновение органической жизни, способствует формированию высокоорганизованных живых организмов и их расселению в геологической среде.

Водные пространства благодаря их большой теплоемкости накапливают солнечное тепло и формируют климат и погоду на Земле.

Вода является значительной частью живых организмов. Она входит в состав клеток и тканей всех животных и растений, является основным условием жизнедеятельности. Физиологическая потребность взрослого человека в воде — 35–40 г/кг массы. Она участвует в теплообмене человека с окружающей средой, является важным средством обеспечения личной гигиены, приготовления пищи и др. Вода, содержащая определенные химические соединения и газы, выполняет важные лечебные (медицинские) функции.

Вода является важным сельскохозяйственным и промышленным сырьем. Она создает необходимые условия для выращивания кормовой базы, получения высоких урожаев, развития животноводства и рыбоводства.

Вода является необходимым условием поддержания наиболее экономичного транспорта, путей сообщения и лесосплава. Она представляет важнейший элемент энергетики (энергия плотин, пара, среда охлаждения), является универсальным теплоносителем.

Кроме того, вода играет важную роль в благоустройстве городов, зон отдыха, спорта. Морская вода является кладовой многих ценных веществ.

Пресная вода является возобновляемым ресурсом, но имеющиеся ее запасы ограничены. Ее нехватка — главное препятствие развитию сельскохозяйственного и промышленного производства.

В настоящее время во многих регионах Земли вода добывается из подземных водоносных формаций темпами, значительно превышающими естественные темпы их пополнения.

Нехватка воды связана главным образом с проблемами ее качества, так как объем хозяйственно-бытовых, промышленных, сельскохозяйственных и городских сточных вод так велик, что превышает способность водоемов разлагать поддающиеся биохимическому распаду отходы и разбавлять те из них, которые этому процессу не поддаются.

Основными источниками загрязнения гидросферы являются предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической, целлюлозно-бумажной и легкой промышленности, тепловые электростанции, коммунально-бытовое хозяйство, ливневые стоки с сельскохозяйственных полей, городских и производственных территорий, аварии судов и танкеров.

Сточные воды сельскохозяйственного и промышленно-городского происхождения, не поддающиеся обработке, представляют собой возрастающую опасность для качества не только воды озер и рек, но и грунтовых вод.

Загрязнение водоемов может быть химическим, физическим и биологическим.

*Химическое загрязнение* заключается в увеличении в воде неорганических и органических примесей (растворы минеральных солей, кислот, щелочей, минеральные масла, нефть, пестициды и различные ядохимикаты).

Химическое загрязнение может быть органическим (фенолы, нефть и нефтепродукты, пестициды) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи, металлы и их соединения). Большинство из них являются токсичными (мышьяк, соединения ртути, свинца, кадмия и др.).

*Физическое загрязнение* обусловливается тепловыми (теплоэлектростанции, теплоцентрали), механическими (продукты разрушения почв, мусор, взвеси) и радиоактивными примесями, что приводит к изменению физических свойств воды (прозрачность, цветность, запах, вкус и т.п.).

*Биологическое загрязнение* заключается в изменении микроорганизмов (вид и количество бактерий, появление

болезнетворных бактерий), растений и животных (грибов, червей и т.п.).

Основными неорганическими загрязнителями воды являются тяжелые металлы, например соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора и других, которые угнетают микрофлору (обеспечивающую самоочищение водоемов), приводят к гибели рыб и других водных организмов. Кроме того, тяжелые металлы, поглощая фитопланктон, передаются по пищевым цепям другим высшим организмам.

Органические и неорганические взвеси сточных вод образуют в водоемах быстро загрязняющие осадки, представляющие угрозу в эпидемиологическом отношении (холера, дизентерия, тиф и др.).

Моющие средства, жиры, масла, нефть и смазочные материалы образуют на поверхности воды пену и пленку, что приводит к нарушению кислородного режима и процессов самоочищения водоемов.

Особую угрозу жизни водоемов и здоровью людей представляют радиоактивные загрязнения, источником которых являются захоронения жидких и твердых радиоактивных отходов в морях и океанах странами, имеющими атомный флот и атомную промышленность.

**Оценка состояния и нормирование качества воды.** В настоящее время в различных странах мира для оценки качества воды установлено более 100 показателей.

При оценке степени загрязнения поверхностных вод учитываются: содержание плавающих примесей и взвешенных веществ; запах; привкус; окраска и температура воды; состав и концентрация минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, ПДК ядовитых и вредных веществ, болезнетворных бактерий и др.

Качество поверхностных вод может устанавливаться также по индексу загрязнения вод (ИЗВ), которому соответствует семь классов разной степени загрязненности вод: от очень чистой ( $IZB=0,3$ ) до чрезвычайно грязной ( $IZB>10$ ). ИЗВ определяется как отношение  $1/6$  суммы средней концентрации к предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ: растворенного кислорода; азота аммонитного; азота нитритного; нефтепродуктов; фенолов и биологического потребления кислорода (БПК).

Подавляющая часть рек Беларуси относится к категории умеренно загрязненных ( $ИЗВ = 1-2$ ), однако характер их загрязнения неодинаков. Наиболее загрязненные реки: Свислочь ( $ИЗВ = 2,8$ ), Березина у г. Светлогорска ( $ИЗВ = 2,1$ ), Днепр у г. Речица ( $ИЗВ = 2,0$ ), Муховец у г.п. Жабинка ( $ИЗВ = 2,0$ ).

Причиной загрязнения является недостаточная очистка сточных вод на городских очистительных сооружениях и малая разбавляющая способность самих рек.

### 2.7.3. Литосфера

*Литосфера* – это верхняя часть земной коры. Поверхностный слой литосферы, измельченный в процессе физического, химического и биологического воздействия и содержащий минеральные и органические вещества, определяется как почва. Почва служит источником исходных веществ для образования минералов, горных пород, полезных ископаемых и способствует переносу солнечной энергии в глубокие слои литосферы.

Почвы представляют собой земельные ресурсы и являются основой сельского и лесного хозяйства.

Из общей площади поверхности Земли ( $510,2$  млн  $км^2$ ) на долю суши приходится почти  $30\%$  ( $\sim 150$  млн  $км^2$ ), остальное составляет океаны и моря.

Крупнейшими земельными ресурсами обладают Россия ( $17,1$  млн  $км^2$  –  $13,3\%$  от общей площади Земли); Канада ( $10$  млн  $км^2$ ); Китай ( $9,6$  млн  $км^2$ ); США ( $9,4$  млн  $км^2$ ).

Наибольшими сельскохозяйственными угодьями обладают Китай – более  $13\%$ ; США – около  $10\%$  и Россия – около  $5\%$ .

Доля сельскохозяйственных угодий от всей площади страны наибольшая во Франции ( $63\%$ ) и в США ( $53\%$ ). В России сельскохозяйственные угодья составляют  $13\%$ , а в Канаде –  $7\%$ , что во многом обусловлено большими различиями в природно-географических условиях этих стран.

В настоящее время в мире происходит сокращение пахотных земель, что вызвано их изъятием под городскую застройку, промышленные предприятия, транспортные магистрали, складирование отходов и др.

Большой вред почвам и почвенному покрову наносит ветровая и водная эрозия, т.е. снос почвенного покрова ветром и смыв почвы талыми и ливневыми водами. При продольной распашке склонов возникают промоины, овраги и происходит наступление пустынь.

Важнейшими факторами плодородия почвы являются: достаточное содержание в ней питательных веществ (азота, фосфора, калия, кальция и др.), влаги, хорошая аэрация, облегчающая развитие корневых систем растений и жизнедеятельность микроорганизмов.

К значительному снижению плодородия почв и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции приводит загрязнение почв, что влечет за собой изменение их физико-химических, агротехнических и биологических свойств.

Вторая половина XX в. связана с интенсификацией сельскохозяйственного производства. В целях повышения плодородия почв и борьбы с вредителями в течение многих лет использовались искусственные удобрения и пестициды. При избыточном применении удобрений почвы перенасыщаются нитритами, а при внесении фосфатных удобрений – фтором, редкоземельными элементами, стронцием. При использовании для удобрения почв отстойного ила водоемов почва перенасыщается соединениями тяжелых металлов (железо, марганец, цинк, медь, молибден и др.). Избыточное количество удобрений приводит к перенасыщению продуктов питания токсичными веществами, нарушает способность почв к фильтрации, ведет к загрязнению водоемов.

Широкое применение пестицидов приводит к отравлению людей, гибели лесов, птиц, насекомых. Пестициды попадают в пищевые цепи и питьевую воду. Они оказывают мутагенное и другие негативные воздействия на человека и природу.

Одной из серьезных проблем сельскохозяйственного производства является радиоактивное загрязнение земель. Почва обладает способностью накапливать радиоактивные вещества (стронций, цезий, плутоний и др.), которые затем с питательными веществами передаются сельскохозяйственным растениям, животным и человеку.

Основными источниками загрязнения почв являются:

- ◆ черная металлургия, в том числе добыча железных руд, выплавка стали и чугуна (свинец, железо, сера, мышьяк, цинк);
- ◆ цветная металлургия (соли цветных металлов);
- ◆ деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность (фенол, метиловый спирт, скрипидар);
- ◆ атомные электростанции, производство ядерного топлива (радиоактивные элементы);
- ◆ сельское хозяйство (азот, фосфор, пестициды);

- ◆ машиностроение (цианиды, соединения бериллия, мышьяка);
- ◆ производство пластмасс (бензин, эфир, фенол);
- ◆ производство искусственного волокна (фосфор, соединения цинка, меди);
- ◆ пищевая промышленность (органические вещества).

Наиболее активными и экологически значимыми загрязнителями почв являются тяжелые металлы и пестициды. Свою отрицательную роль сыграло также захламление и загрязнение земель несанкционированными свалками промышленных, бытовых и сельскохозяйственных отходов.

#### **2.7.4. Минеральные ресурсы (недра)**

Основой индустриального развития и ряда направлений научно-технического прогресса (НТП) являются минеральные ресурсы (недра), представляющие собой вещества минерального происхождения, используемые для получения энергии, сырья и материалов.

В связи с развитием НТП и вовлечением в эксплуатацию месторождений полезных ископаемых с низким содержанием полезных веществ, высоким содержанием вредных примесей и неблагоприятными горно-геологическими условиями залегания круг минерально-сырьевых ресурсов постоянно расширяется.

Минеральное топливо (уголь, нефть, природный газ) – основной источник энергии. Его переработка является базой формирования нефтехимических, газохимических, углехимических и других комплексов. Рудное сырье широко используется в черной и цветной металлургии, в химической промышленности (апатиты, фосфориты, поваренная и калийные соли, сера и др.). Некоторые минералы и продукты после их химической переработки применяются в виде лекарств и радиоактивных веществ для лечебных целей.

Минеральные ресурсы используются в строительном комплексе в качестве строительных материалов для производства цемента, кирпича, извести, в качестве заполнителей бетона и железобетона, стеновых материалов и конструкций, стекла и керамических изделий.

Новыми минеральными ресурсами технического прогресса становятся редкие и редчайшие элементы земной коры.

Они используются в создании современных новейших технологий, где требуются высокопрочные, кислотоупорные, жаростойкие, антикоррозионные и в то же время легкие по весу материалы.

### **2.7.5. Животный мир и растительность**

Огромное значение в природе и жизни людей отводится животному миру Земли. Вместе с растениями животные играют исключительную роль в миграции химических элементов, которая лежит в основе существующих в природе связей, участвуют в круговороте веществ планеты.

Животные способствуют формированию рельефа и ландшафта, участвуют в образовании плодородия почв. Разрыхление почвы способствует аэрации, проникновению влаги, обогащению органическими веществами, повышает плодородие. Животные участвуют в формировании химического состава подземных и грунтовых вод, а также приземной атмосферы, служат для человека объектом медико-биологических исследований, имеют важное нравственно-эстетическое значение.

Фауна диких животных представляет собой неисчерпаемый источник для одомашнивания (соболь, норка, песец, лисица, лось, глухарь, белая куропатка и др.).

Под влиянием изменения климатических условий и географических ландшафтов в природе наблюдается естественное сокращение и вымирание животных. Этому процессу способствует хозяйственная деятельность людей.

Огромно экологическое значение растительности, которая играет важную роль в круговороте веществ в природе. Благодаря растениям из почв не вымываются соли и поддерживается их постоянство.

Растения являются источником разнообразных пищевых продуктов, технического и лекарственного сырья, строительных материалов и др.

Из всех растительных ресурсов для человечества наибольшее значение имеет лес.

Лес занимает третье по значимости место среди мировых ресурсов (после каменного угля и пищевого сырья). Он является источником древесины в строительстве, источником производства более 20 тыс. различных изделий, базой для развития деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, отдыха и туризма и т.п.

Лес имеет огромное водоохранное, почвозащитное и климаторегулирующее значение. Он играет важную санитарно-гигиеническую роль, проявляющуюся в выделении фитоцидов, убивающих болезнетворных микробов. Лес выполняет очистительные функции, улавливая газовые, химические, атмосферные загрязнения; обладает пылезащитными свойствами, поглощает радиоактивные загрязнения.

Леса покрывают 37 млн км<sup>2</sup> площади земного шара, в том числе в России – 7,7 млн км<sup>2</sup>, Канаде – 4,2, Бразилии – 3,3, США – 2,9 млн км<sup>2</sup>.

В настоящее время происходит дальнейшее сокращение площади лесов. Уже уничтожено 2/3 лесов Земли. В ряде мест это привело к обмелению рек, разрушительным наводнениям (как результат ускорения стоков), эрозии почв, изменению климата (он становится более сухим и континентальным).

Качество леса в настоящее время также изменяется. В ряде мест (например, в Европе) создаются еловые леса на месте дубовых, культивируются быстрорастущие породы деревьев (Северная Америка, Япония), увеличиваются площади бересковых и осиновых лесов (Россия) и др.

#### 2.7.6. Природные ресурсы Республики Беларусь

По площади территории Беларусь занимает 12–13-е место в Европе и превосходит такие государства, как Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Греция, Дания, Чехия, Словакия и др.

Общая площадь Республики Беларусь равна 207,6 тыс. км<sup>2</sup>, или 20,76 млн га.

В структуре земельного фонда Беларуси (рис. 2.8) наибольшую площадь занимают сельскохозяйственные земли – примерно 9,3 млн га (или 44,7%); лесопокрытия – 8,4 (40,5); земли, находящиеся под болотами, – 0,72 (3,1); под водой – 0,48 (2,3); земли населенных пунктов – 0,372 (1,8); земли под промышленными объектами, транспортом и др. – 0,823 (4,0); нарушенные и прочие земли – 0,752 (3,6), в том числе бывшие сельскохозяйственные земли, загрязненные радионуклидами, – 0,2654 млн га (или 1,3%) и т.д.

Ландшафт Беларуси схож с чертами рельефа Русской равнины, на которой с давнего времени отсутствуют процессы горообразования. Несмотря на это, территория республики неоднообразна по рельефу, имеются и возвышенности, и низ-

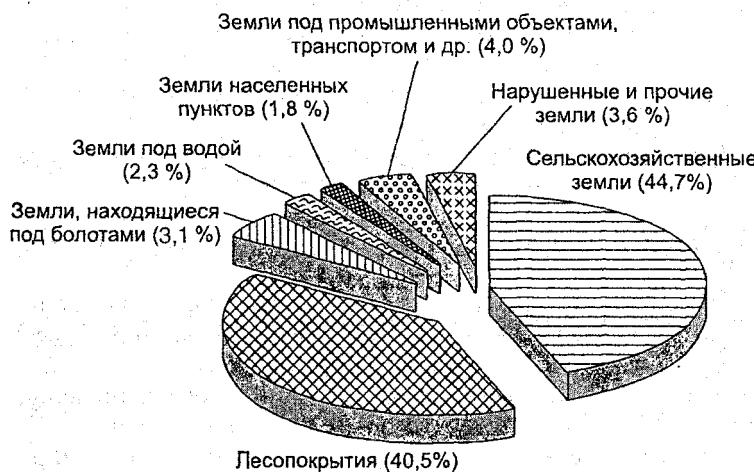


Рис. 2.8. Структура земельного фонда Беларуси

менности. Максимальная высота над уровнем моря – 370 м (гора Дзержинская). Цепь холмов, ориентированная в широтном направлении, разделяет страну на северную часть, реки которой впадают в Балтийское море, и южную, принадлежащую к бассейну Черного моря.

Территория Беларуси находится под воздействием Атлантического океана и его теплого Северо-Атлантического течения. В связи с этим климат Беларуси мягкий континентальный и умеренно-влажный. Среднемесячная температура изменяется в пределах от -7 °C до +18 °C.

На юге республики расположена огромная заболоченная Полесская низменность, богатая природными ресурсами.

В недрах Беларуси выявлено около 5000 месторождений полезных ископаемых, представляющих около 30 видов минерального сырья, в том числе месторождения топливно-энергетических ресурсов (нефть, бурый уголь, горючие сланцы, торф), горно-химического сырья (калийные и каменные соли), доломитов (производство известковых удобрений), фосфоритов, разнообразных строительных материалов (сырье для производства цемента и извести, строительный и облицовочный камень, строительные пески, пески стекольные).

Всего учтено 58 месторождений нефти, из них около 30 эксплуатируются, а остальные являются разведываемыми и законсервированными. Извлекаемые ресурсы нефти составляют 338,3 млн т (годовая добыча около 2,0 млн т). При таком уровне добычи обеспеченность нефтью составит примерно 35 лет. Потребность народного хозяйства в нефти составляет 10–15 млн т. Таким образом, нынешние объемы добычи обеспечивают ее лишь на 10–15%.

Торфяные ресурсы республики значительно истощены вследствие интенсивного их использования. Для промышленной добычи пригодно 4–5 млн т и примерно столько же для нужд сельского хозяйства. Таким образом, потребность в торфе может удовлетворяться еще в течение 20–25 лет.

Запасы бурого угля, выявленные на территории Белорусского Полесья, составляют около 1350,8 млн т. Основные месторождения – Житковичское, Бриневское и Тонежское с общими запасами 150 млн т.

Залежи горючих сланцев на юге страны образуют бассейн площадью более 20 тыс. км<sup>2</sup>. Прогнозные запасы (до глубины 600 м) оцениваются в 11 млрд т. Изучены Любанско и Туровское месторождения. Горючие сланцы являются потенциальной сырьевой базой для развития энергетики, химической промышленности и строительной индустрии.

Горно-химическое сырье – это калийные и каменные соли, фосфориты, минерализованные рассолы. Наибольшее экономическое значение для республики имеют калийные соли, запасы которых в двух месторождениях – Старобинском и Петриковском составляют 6,9 млрд т, а прогнозные – свыше 80 млрд т.

Запасы каменной соли оцениваются как практически неисчерпаемые. Только на трех разведанных месторождениях (Мозырском, Давыдовском и Старобинском) они превышают 22 млрд т.

На территории Беларуси имеются два фосфоритоносных бассейна: Сожский – на востоке и Припятский – на юге. Сожский бассейн включает Мстиславское и Лобковичское месторождения с прогнозными запасами в 30 млн т. В пределах Припятского бассейна выявлен Брестский фосфоритоносный район с прогнозными запасами фосфорного ангидрида в 52,9 млн т.

Территория Беларуси перспективна на руды черных и цветных металлов. Месторождения железных руд открыты в

Около и Новоселках с общими запасами по категориям А+В+С в 340 млн т и прогнозными – 1,5 млрд т. Болотные железные руды встречаются почти повсеместно. Известно более 300 таких месторождений. В настоящее время железные руды в основном используются для производства минеральных красок.

В осадочных породах Припятского прогиба обнаружены залежи давсанитовых руд (Заозерское месторождение), перспективные в качестве сырья для производства глинозема и кальцинированной соды. В породах кристаллического фундамента Беларуси обнаружено месторождение редкоземельно-бериллиевых руд.

В республике расширяется вовлечение в эксплуатацию минеральных подземных вод. Уже разведано 58 источников, разрабатывается еще 50.

Имеющиеся в республике высокоминерализованные рассолы (порода «беларусит») используются как сырье для получения йода, брома, калия, магния и многих других элементов.

На территории Республики Беларусь осуществляется поиск новых месторождений руд черных и цветных металлов. Уже выявлены геологические предпосылки месторождений алмазов, золота, янтаря и других полезных материалов.

## **2.8. ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОСФЕРУ ЗЕМЛИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

На протяжении всей истории с момента образования Солнечной системы наша планета подвергается воздействию различного рода излучений космического, солнечного и околоземного происхождения. Наибольшее влияние на биосферу Земли и ее геофизические процессы оказывает солнечная активность и ее изменения. Самыми мощными проявлениями солнечной активности являются вспышки, которые наблюдаются как внезапные усиления яркости отдельных участков Солнца в районе пятна. Во время вспышек, продолжительность которых может составлять от 20 мин до нескольких часов (в среднем 3 ч), возрастает энергия электронов и изотопов плазмы, оптического, рентгеновского, гамма- и радиоизлучения в планетную систему и в сторону Земли. Частота и мощность вспышек на Солнце меняются с определенной периодичностью – приблизительно через 11,2 года. С такой периодичностью наблюдаются изменения в биосфере, состоянии здоровья людей, погодно-климатические аномалии и другие земные явления.

Многие из указанных факторов сыграли важную роль в развитии живого на Земле. В ходе эволюции живые организмы не только выработали защитные механизмы от спонтанных изменений многих факторов среды, но и определенным образом включили их в собственные процессы жизнедеятельности (силы тяжести, газовый состав воздуха, метеоусловия, радиация, электромагнитные излучения и др.).

Хозяйственная деятельность человека заметно повлияла на фоновые уровни указанных факторов естественного происхождения и явилась источником новых факторов, чисто техногенного происхождения (химическое загрязнение окружающей среды — атмосфера, литосфера и гидросфера, шумовое «загрязнение» среды обитания, тепловое «загрязнение», изменение радиационного фона и др.).

Как отмечалось, *факторы техногенного происхождения* — это отходы производства, представляющие собой разнообразные по составу и физико-химическим свойствам остатки, образующиеся в процессе изготовления продукции.

Образование отходов обусловлено рядом причин, основными из которых являются:

- ◆ несовершенство технологий и оборудования;
- ◆ несоблюдение технологических регламентов;
- ◆ неполнота химических реакций и протекание побочных процессов;
- ◆ изменение качеств и условий подготовки сырья;
- ◆ рост масштабов производства, его концентрация на ограниченных территориях и др.

По агрегатному состоянию отходы производства бывают *твердые* (порошки или затвердевшие массы и т.п.), *жидкие* (растворенные в воде или других растворителях — соли, щелочи, кислоты и др.), *газообразные* (пары органических веществ, дымы, газы, паровоздушные смеси, токсичные примеси и др.).

Наиболее опасные твердые отходы образуются в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, на биохимических производствах, в металлургии, при производстве пестицидов и др. Значительные отходы образуются и накапливаются при добыче полезных ископаемых, особенно угольной промышленности (добыча 1 т угля сопровождается подъемом из шахт до 800 т породы).

Практически все химические отходы являются токсичными, а воздействие их на человека, животных и растительность зависит от дозы вещества, с которым соприкасается человек или природная среда.

Количественные и качественные характеристики факторов, характеризующих (формирующих) экологическую ситуацию, значительно отличающиеся от адекватных (фоновых) или оптимальных как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, могут приводить к нарушениям установившихся процессов жизнедеятельности, особенно заметным в период развития организма и в патологическом состоянии.

В настоящее время производится огромное количество материалов, новых веществ, технических устройств, предметов бытового назначения, которые в большинстве своем обладают особыми свойствами, несовместимыми с экологическими системами и характеристиками человека. Отходы производства, создаваемые вещества и предметы искусственного происхождения, которые вредят природной среде и здоровью человека, называются *ксенобиотиками*, т.е. чуждыми жизни. Накапливание ксенобиотиков в биомассе приводит к вымиранию некоторых популяций, упрощению биоценозов с потерей их устойчивости и представляют прямую опасность для здоровья и жизни людей.

Наибольшую опасность для окружающей среды и здоровья человека представляют тяжелые металлы, пестициды, диоксины, соединения серы, фосфора, фреоны и др.

К *тяжелым металлам* относят более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомными массами свыше 50 а.е.м. Наиболее опасными из них по токсичности, стойкости, способности накапливаться во внешней среде и по масштабам распространения являются ртуть, свинец, кадмий, кобальт, никель, цинк, олово, сурьма, медь, молибден, ванадий, мышьяк.

Тяжелые металлы и их соединения, концентрируясь в биомассе, характеризуются высокой токсичностью и опасностью для биосфера и человека. Они являются факторами риска сердечно-сосудистых и других заболеваний и, по мнению некоторых специалистов, могут стать более опасными загрязнителями окружающей среды, чем отходы атомных электростанций.

Поступление тяжелых металлов в биосферу вследствие техногенного рассеяния осуществляется разными путями. Наибо-

лее важными источниками тяжелых металлов являются выбросы черной и цветной металлургии при сжигании минерального топлива, обжиге цементного сырья и при других высокотемпературных процессах, а также при орошающем сельскохозяйственном производстве, внесении в почву высоких доз органических и минеральных удобрений, пестицидов и др.

Из всех химических веществ, поступающих в организм человека с воздухом, водой, пищей, наиболее опасными считаются пестициды.

*Пестициды* – это многочисленная группа ядохимикатов (химические или биологические препараты), применяемых для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорными растениями, с паразитами сельскохозяйственных животных.

Все пестициды являются ядовитыми веществами не только для определенной группы растений и животных, но и для всей биосфера, так как большинство из них представляет собой устойчивые трудноразлагаемые соединения, только 4–5% внесенного количества которых используется непосредственно, а остальная масса рассеивается в окружающей среде. Обладая свойствами аллергенности, мутагенности и канцерогенности и попадая в водоемы, они способствуют развитию злокачественных опухолей, гипертонии и других заболеваний.

По химической структуре различают пестициды: хлорорганические, фосфорорганические, ртутьорганические, мышьякодержащие, производные мочевины, цианистые соединения, производные карбаминовой, тио- и дитиокарбаминовой кислот, препараты меди, производные фенола, серы и ее соединений.

В сельскохозяйственной практике применяются средства борьбы с сорняками – *гербициды*. Они бывают общепестицидные, уничтожающие все растения на обрабатываемой площади, и избирательные, губительно действующие только на сорную растительность.

Степень опасности пестицидов оценивается по их токсичности (ядовитости), летучести, кумулятивным свойствам и стойкости.

Для оценки токсичности пестицидов принято пользоваться средней летальной дозой ( $ЛД_{50}$ ), вызывающей гибель 50% подопытных животных при однократном поступлении препаратов в желудочно-кишечный тракт.

В зависимости от величины ЛД<sub>50</sub> пестициды делятся на *сильнодействующие ядовитые вещества*, среднесмертельная доза которых менее 50 мг/кг массы животного, *высокоядовитые* (ЛД<sub>50</sub>=50–200 мг/кг), среднеядовитые (ЛД<sub>50</sub>= 200–1000 мг/кг) и *малоядовитые* (ЛД<sub>50</sub>≥1 г/кг).

По степени летучести пестициды делятся на *очень опасные* (насыщающая концентрация больше или равна токсичной), *опасные* (насыщающая концентрация больше пороговой) и *малоопасные* (насыщающая концентрация не оказывает порогового действия).

Кумуляция пестицидов определяется по коэффициенту кумуляции ( $K_k$ ), который определяется как отношение суммарной дозы препарата, вызывающей гибель 50% подопытных животных при многократном введении, к дозе, вызывающей гибель 50% животных при однократном введении, т.е.

$$K_k = \frac{D_{\Sigma 50}}{D_{50}}$$

Если  $K_k < 1$ , то вещество обладает сверхкумуляцией; при  $K_k = 1–3$ , у вещества выраженная кумуляция; при  $K_k = 3–5$  – умеренная и при  $K_k > 5$  – слабовыраженная кумуляция.

По стойкости пестициды могут быть: *очень стойкие* (период разложения на нетоксичные компоненты выше 2 лет); *стойкие* (0,5–1 год); *умеренно стойкие* (1–6 месяцев) и *малостойкие* (1 месяц).

Пестициды используются в разных препаративных формах: в виде дустов-порошков, гранулированных препаратов, суспензий, эмульсий, аэрозолей и фумигантов.

Многолетнее использование пестицидов на огромных сельскохозяйственных и лесных территориях, часто с применением авиации, привело к масштабному загрязнению окружающей среды.

Молекулы стойких соединений включаются в природные процессы миграции и круговорот веществ и разносятся вместе с атмосферными потоками на большие расстояния. Стойкие пестициды способны накапливаться в жировой ткани людей и животных, отрицательно воздействуя на нервную и сердечно-сосудистую системы.

Хлорорганические стойкие пестициды (например, ДДТ (дихлор-(дифенил-трихлор-метил-метан)) обнаруживаются почти во всех организмах, обитающих на суше и воде. Распространение ДДТ имеет глобальный характер. Его создатель *П. Мюллер* был удостоен Нобелевской премии. В свое время этот препарат сыграл важную роль в борьбе с такими заболеваниями, как малярия, желтая лихорадка, эпидемия тифа и др.

Содержание пестицидов и других загрязняющих веществ в тканях и органах живых организмов намного больше, чем в среде обитания. Это явление характеризуется коэффициентом накопления (отношение концентрации в организме к концентрации в среде). Очень велики коэффициенты накопления у животных, обитающих в воде: у рыб – 10–15 тыс., у моллюсков – до 25 тыс.

Неблагоприятное воздействие пестицидов на отдельные популяции (особенно насекомых) приводит к нарушению стабильности экосистем.

Неорганические пестициды, содержащие мышьяк, фтор, ртуть и другие элементы, обладают чрезвычайно высокой токсичностью. Вместе с тем пестициды этого класса не способны накапливаться в организме и довольно быстро разлагаются в условиях внешней среды.

*Диоксины и диоксиноподобные соединения* – это вещества, содержащие в своей молекуле атомы хлора (полихлорированные дibenзо-*р*-диоксины, дibenзофураны, т.е. полициклические ароматические соединения, а также полихлорированные бифенилы, поливинилхлорид и др.). Эти соединения характеризуются чрезвычайно высокой устойчивостью к химическому и биологическому разложению и являются супертоксикантами, универсальными клеточными ядами, поражающими все живое. Диоксины возникают при производстве других химических веществ в виде примесей (например, при синтезе гексахлорфенола, хлорированных фенолов, гербицидов на основе гексахлорбензола и хлордифениловых эфиров), а также при термическом разложении технических продуктов, сжигании осадков сточных вод и других отходов, содержащих полихлорированные бифенилы и поливинилхлорид, а также в металлургической, металлообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Они содержатся в выхлопных газах автомобилей, хлорированной питьевой воде.

Из всех техногенных выбросов в атмосферу диоксид серы составляет 95%. Окисляясь и взаимодействуя с водой, серни-

тый газ выпадает в виде кислотных дождей, увеличивая кислотность почв, что значительно повышает растворимость всех гумусовых веществ, а это в свою очередь способствует их вымыванию из минеральных горизонтов и усиливает процесс подзолообразования.

Фосфорные соединения входят в состав моющих средств и с их остатками попадают в сточные воды. Фосфор входит также в состав инсектицидов (например, хлорофоса).

В окружающей среде азот присутствует в газообразном состоянии, а также в виде соединений азотной и азотистой кислот и солей аммония. Азот входит в состав разнообразных органических соединений. Из промышленных выбросов в атмосферу азот попадает в виде оксида и диоксида ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Оксиды азота активно участвуют в фотохимических реакциях, продуцируя озон и азотную кислоту.

Фреоны, или хладоны, представляют собой группу углеводородов жирного ряда, содержащих хлор, фтор и бром. При контакте с открытым пламенем фреоны разлагаются с образованием токсичных дифтор- и фторхлорфосгена. Для организма человека фреоны нетоксичны, однако их негативное воздействие на окружающую среду проявляется в разрушении озонового слоя. Фреоны не обладают коррозионным действием, не образуют взрывоопасных смесей с воздухом, имеют высокую пламеподавляющую способность.

Хладоны применяют в качестве хладагентов, пропеллеров в аэрозольных упаковках косметических средств, компонентов огнетушащих составов, растворителей и др.

В настоящее время одной из острых проблем является утилизация и захоронение радиоактивных отходов, прежде всего отходов АЭС.

В связи с бурным развитием автомобилизации в последние годы обостряется проблема загрязнения воздушного бассейна компонентами автомобильных выбросов – оксидами азота, бензопиреном, оксидом углерода, наблюдается шумовое загрязнение городов.

## 2.9. ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

К острейшим глобальным проблемам, вызывающим озабоченность современного общества, можно отнести распространение терроризма, рост числа социально-религиозных и

военно-политических конфликтов, увеличение вероятности экологического кризиса, рост производственного травматизма и летальных исходов.

Высокая вероятность глобального экологического кризиса обусловлена непрекращающимся ростом численности населения Земли, урбанизацией, расширением производства, загрязнением окружающей природной среды отходами производства.

Расширение хозяйственной деятельности и загрязнение окружающей среды ведут к истощению природных ресурсов, обострению энергетической и продовольственной проблем, росту заболеваемости населения и другим негативным последствиям.

**Демографический взрыв и урбанизация.** Рост численности населения и урбанизация являются проблемами, обуславливающими непрекращающийся рост производства, результатом чего оказывается и нагрузка на окружающую природную среду.

На протяжении многих тысячелетий население Земли росло чрезвычайно медленно; а начиная с эпохи Великих географических открытий темпы роста народонаселения значительно выросли и приблизились к экспоненциальной закономерности. С 1600 по 1990 г. рост населения был схож с гиперболой. В последние годы рост численности приблизился к линейному со средним значением абсолютного прироста около 90 млн человек в год. По прогнозам Фонда народонаселения ООН, этот темп сохранится до 2015 г., когда общая численность людей достигнет 7,5–8,0 млрд человек.

Основная доля прироста населения Земли по-прежнему приходится на развивающиеся страны Африки, Центральной Америки, Ближнего и Среднего Востока, Юго-Восточной Азии, а также Индии и Китая. Главным показателем, определяющим диспропорции в темпах прироста населения, является суммарный коэффициент рождаемости (СКР), устанавливаемый как среднее число детей, рождающее каждой женщиной в течение жизни.

Если предположить, что все родившиеся дети выживут, то при  $\text{СКР}=2$  численность населения будет постоянной, а при  $\text{СКР}>2$  – увеличится.

В настоящее время в высокоразвитых странах  $\text{СКР}=1,9$ , однако численность населения в этих странах продолжает расти, так как смертность уступает рождаемости по причине увеличения продолжительности жизни (прирост составляет 0,6% в год).

В слаборазвитых странах СКР>4,8, что приводит к удвоению численности населения в каждом последующем поколении (прирост 2% в год). Разность между смертностью и рождаемостью в развивающихся странах составляет 15–30 человек на 1000 человек в год, а во многих развитых странах она приближается к нулю.

Снижение смертности в развитых странах достигнуто благодаря высокой эффективности системы общественного здравоохранения, улучшению ухода за больными, хорошему пенсионному обеспечению, высокому качеству питания, улучшению качества окружающей среды и комфорtnости условий труда и быта.

Более высокий уровень рождаемости в развивающихся странах обусловливается главным образом экономикой этих стран: дети принимают участие в труде, увеличивая доход семьи.

В государствах с развитой экономикой родители предпочтитаю иметь немного детей, но дать им хорошее образование, обеспечить высокое положение в обществе, повышая престиж и благосостояние семьи.

Существует несколько прогнозов дальнейшего изменения численности населения Земли. По первому варианту (неустойчивое развитие) к концу ХХI в. возможен рост численности до 28–30 млрд человек. В этих условиях Земля уже не сможет при современных технологиях обеспечивать население питанием и предметами первой необходимости в достаточном количестве. С определенного периода начнутся голод, массовые заболевания, деградация среды обитания и как следствие – резкое уменьшение численности населения.

Согласно второму варианту (устойчивое развитие) численность населения должна стабилизироваться на отметке 8–10 млрд человек; это позволяет надеяться, что при существующем уровне развития технологий жизнеобеспечение будет соответствовать нормальному развитию общества.

Процесс урбанизации, заключающийся в росте числа и размеров городов, росте городского населения, изменил образ жизни многих людей. Урбанизация непрерывно ухудшает условия жизни людей в регионах, изолирует их от естественных экологических факторов.

Городская среда наряду с благами научно-технического прогресса (удобство, комфорт, плотность коммуникаций, доступность удовлетворения различных потребностей и др.) несет в себе и негативные последствия – загрязнение атмосферы,

воды, продуктов питания, предметов обихода и т.п. Так, в атмосферном воздухе городов оксида углерода ( $\text{CO}$ ) примерно в 50, оксидов азота ( $\text{N}_x\text{O}_m$ ) в 150, летучих углеводородов в 2000 раз больше, чем в сельской местности.

В настоящее время почти половина населения мира сосредоточена в городах. За последние 50–55 лет численность городских жителей возросла с 730 до 2550 млн человек, т.е. почти в 3,5 раза (с 29 до 44%).

**Энергетическая проблема.** С ростом численности населения, созданием новых технологических процессов и вовлечением в них все больших ресурсов Земли связан и неуклонный рост потребления энергии.

В настоящее время человек использует для своих нужд примерно в 23 раза больше энергии, чем необходимо для его существования. Так, для жизнеобеспечения человека в среднем требуется около 140 Вт энергии в сутки, а для реализации технологий и на обслуживание расходуется 3,2 кВт; при этом наибольшее количество энергии в расчете на одного жителя потребляют в США (10,5 кВт) и 27 наиболее богатых странах мира (6,2 кВт), а в развивающихся странах потребление энергии находится на временном уровне эпохи до изобретения электричества.

Такое огромное потребление энергии прямым или косвенным путем непременно ведет к истощению природных ресурсов и разрушению экологических систем.

В экономически развитых странах наблюдается снижение затрат энергии на единицу валового национального продукта (ВНП), за которую принимается количество произведенной продукции стоимостью 1 млн дол. Однако одновременно происходит увеличение потребления энергии, так как общее количество выпускаемой продукции продолжает увеличиваться.

В настоящее время производство энергии осуществляется главным образом за счет сжигания ископаемого топлива – нефти, газа, угля. В связи с интенсивным потреблением их запасы быстро уменьшаются, порождая основную энергетическую проблему.

Как известно, ископаемое топливо образуется в результате биологических процессов, однако его потребление происходит со скоростью, значительно превышающей скорость его образования. Так, на образование количества нефти, которая

расходуется за один день, в естественных условиях необходимо тысячи лет.

Одним из путей сохранения энергетических ресурсов является их более рациональное и эффективное использование за счет разработки и внедрения энергосберегающих технологий. В настоящее время из общего количества затрачиваемой энергии лишь 30–40% расходуется на полезную работу. Уже известны технологии, позволяющие снизить энергопотребление на 25–30% и более. Кроме того, активно ведется поиск альтернативных источников энергии.

Одним из таких источников энергии является термоядерный синтез. Термоядерная энергия образуется при слиянии ядер атомов легких элементов (например, изотопа водорода – дейтерия) в отличие от атомной энергии, которая выделяется при делении ядер тяжелых металлов. Термоядерные реакции происходят в недрах Солнца и некоторых звезд с высвобождением огромного количества энергии. Данный источник энергии можно считать неисчерпаемым, так как значительное количество «термоядерного топлива» – изотопа водорода дейтерия находится в поверхностных водах нашей планеты.

Однако использованию энергии, выделяемой при термоядерном синтезе, препятствуют очень высокие температуры (порядка  $10^8$  °C), при воздействии которых не могут оставаться в твердом состоянии известные в настоящее время материалы и химические соединения, используемые для соответствующего реактора.

В качестве еще одного источника энергии могут служить топливные элементы, которые способны генерировать электрическую энергию за счет химической реакции водорода и кислорода. Такие элементы уже успешно функционируют при реализации аэрокосмических программ. Недостатком топливных элементов является их небольшая мощность.

В последнее время вырос интерес к трем основным природным источникам энергии: солнцу, воде и ветру. Эти источники практически неограничены и значительно меньше загрязняют окружающую среду.

Основной недостаток энергетических установок, использующих энергию солнца, воды и ветра, – их малая мощность и высокая стоимость.

Примерно с конца 60-х гг. прошлого столетия началось бурное развитие ядерной энергетики (после того как в декабре 1942 г. в Чикагском университете впервые была осуществлена контролируемая цепная реакция).

Ранее считалось, что энергетические ядерные реакторы достаточно надежны, безопасны и наиболее экологичны. Однако серьезные аварии и катастрофы на атомных электростанциях Великобритании, США и России показали, что материальный ущерб при аварии на ядерном энергетическом реакторе превышает соответствующие потери на энергетической установке такой же мощности, использующей ископаемое топливо, на несколько порядков. Так, чернобыльская авария только Беларусь нанесла экономический ущерб в 235 млрд дол.

Работающие в нормальном режиме энергетические ядерные установки выбрасывают в окружающую среду около 250 радиоактивных изотопов, которые включаются в биохимический круговорот и в конечном итоге попадают в организм человека, вызывая раковые заболевания, врожденные уродства и дефекты, снижая устойчивость иммунной системы. Однако приверженцы использования ядерной энергетики считают, что атомная энергия в связи с исчерпаемостью ископаемого горючего будет и дальше развиваться.

### 2.9.1. Экологические проблемы современности

Среди глобальных проблем отмечают экологические проблемы, возникшие в результате научно-технического прогресса, демографического взрыва, огромного объема мирового производства и загрязнения окружающей среды. Наиболее актуальными из них являются:

- ◆ изменение климата Земли;
- ◆ разрушение озонового слоя;
- ◆ обеспечение водой;
- ◆ земельные проблемы;
- ◆ сокращение биологического разнообразия биосферы и др.

Токсические вещества, поступающие в среду обитания селитебных зон, оказывают на человека не только прямое негативное воздействие, но и вторичные воздействия (выпадение кислотных дождей, образование фотохимического смога и др.).

*Изменение климата Земли* является одной из основных проблем, вызывающих озабоченность мировой общественности.

Геологические исследования осадочных отложений в земной коре показали, что изменения климата имели место и в прошедшие эпохи и обусловлены они были естественными (природными) причинами. Важнейшей особенностью природных изменений климата является то, что они протекают в гораздо более медленном темпе, чем прогнозируемые уже в текущем столетии, и поэтому различные формы жизни имели достаточно времени для адаптации к изменениям климатических условий.

По мере развития сельского хозяйства и промышленности наряду с естественными факторами все возрастающее влияние на климат начала оказывать хозяйственная деятельность человека.

На первых этапах развития земледелия, с применением искусственного орошения и вырубкой лесов, изменения климата в основном имели место в приземных слоях атмосферы в районах, где указанные работы проводились более масштабно и интенсивно.

В настоящее время установлено, что влияние хозяйственной деятельности на глобальный климат обусловлено возникновением парникового эффекта, загрязнением атмосферы оксидами углерода ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), азота ( $\text{N}_x\text{O}_m$ ), метана и других газов и паров, а также аэрозолями и возрастанием поступающей в атмосферу тепловой энергии, вырабатываемой в результате производственной деятельности.

Общая тенденция к повышению температуры воздуха, начавшаяся в XX в., в настоящее время усиливается. Согласно прогнозам ООН в XXI в. средняя температура воздуха Земли повысится на  $1,5\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$ , что вызовет таяние ледников и полярных льдов, поднимет уровень Мирового океана, создаст угрозу для сотен миллионов жителей прибрежных стран и полностью затопит некоторые острова, приведет к развитию других негативных процессов (опустыниванию земель, климатическим стихийным бедствиям, увеличению ущерба мировому хозяйству).

Для ослабления угрозы глобального потепления, снижения антропогенного воздействия на климат Земли мировое сообщество подписало Конвенцию ООН об изменении климата, цель которой – добиться стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере. Для этого необходима дальнейшая

разработка и внедрение энергосберегающих технологий, более широкое использование возобновляемых и альтернативных источников энергии.

**Разрушение озонового слоя Земли.** Озон (трехатомные молекулы кислорода  $O_3$ ) рассеян над Землей в стратосферной части атмосферы на высоте от 15 до 50 км (от 8–10 км на полюсах, от 16–18 до 50 км на экваторе) и играет важнейшую роль в сохранении всего живого на Земле.

Озоновый слой защищает людей и всю биосферу Земли от жесткого ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений и ультрафиолетовой части солнечной радиации и существенно влияет на распределение температуры в верхних слоях атмосферы, что в свою очередь оказывает влияние на климат.

Кроме того, истощение озонового слоя ведет к гибели планктона в экваториальной зоне, угнетению роста растений, резкому увеличению глазных и раковых заболеваний, а также болезней, связанных с ослаблением иммунной системы человека и животных, повышению окислительной способности атмосферы, коррозии металлов и др. Так, подсчитано, что снижение концентрации озона в стратосфере только на 1% в масштабе планеты вызывает до 150 тыс. дополнительных случаев потери зрения, увеличивает на 2,6% число раковых заболеваний и т.п.

В настоящее время принята точка зрения (Ф. Роулэнд и М. Молино), что основными разрушителями озона являются инертные в обычных условиях негорючие, неядовитые и несложные в производстве синтетические соединения хлорфтоглероды, которые получили широкое распространение как охлаждающие жидкости в холодильниках и кондиционерах (фреоны), как растворители (тетрахлорметан, метилхлороформ, бромистый метил). Хлорфтоглероды используются также в производстве пестицидов, средств тушения пожаров, в баллончиках с аэрозолями различного назначения и т.д.

Попадая в верхние слои атмосферы, эти вещества, инертные у земной поверхности, под воздействием ультрафиолетового излучения химически преобразуются, в результате чего выделяется хлор, который при столкновении с молекулой озона ( $O_3$ ) выбивает из нее один атом. Таким образом озон превращается в кислород ( $O_2$ ), а хлор, оказавшись свободным, аналогичным образом разрушает следующую молекулу озона и т.д. (до десятков тысяч молекул).

Разрушение озонового слоя происходит также и в результате запуска мощных ракет, полетов реактивных самолетов в высоких слоях атмосферы, в результате испытания ядерного и термоядерного оружия, при лесных пожарах.

Глобальное истощение озонового слоя началось примерно с 70–80-х гг. прошлого века. В настоящее время над некоторыми районами Антарктики в сентябре–октябре концентрация озона в стратосфере снижается на 60%.

Определен список из 25 стран, являющихся основными разрушителями озонового слоя (США, Япония, Великобритания, Россия и др.).

Для защиты озонового слоя от разрушения в рамках Венской конвенции (1985) был принят Монреальский протокол (1987) по веществам, разрушающим озоновый слой, согласно которому определен порядок и нормы поэтапного снижения производства и потребления озоноразрушающих газов и веществ.

В соответствии с Протоколом в 1996 г. в развитых странах было прекращено производство фреонов, тетрахлоридов и других озоноразрушающих веществ, а в развивающихся странах прогнозируется их прекращение с 2010 г. Принят также запрет на производство мелитбромидов и гидрофреонов к 2030 г.

Согласно результатам некоторых расчетов, если бы Протокол не был подписан, уровни веществ, разрушающих озоновый слой, были бы в 5 раз выше ныне существующего. Приминаются также меры (различные программы) по глобальной очистке атмосферы от фреонов, образованию в стратосфере искусственного озона с помощью мощных лазеров, которые на высоте 25–30 км «раскачивают» молекулы кислорода, а затем с помощью солнечной радиации процесс выработки озона протекает естественным путем.

**Обеспеченность водой.** Основными источниками пресной воды являются возобновляемые поверхностные воды, обеспечивающие потребности двух третей населения, и подземные воды, обеспечивающие водой остальную его часть. В связи с ростом численности населения Земли и расширением поливного земледелия обеспеченность водой постепенно снижается. Так, если в 70-е гг. прошлого века на одного жителя нашей планеты приходилось 11 тыс. м<sup>3</sup>/год, то к концу XX в. обеспеченность водой снизилась до 6,5 тыс. м<sup>3</sup>/год. Объемы потреб-

ления подземных вод во многих регионах Земли значительно превышают их возобновляемость, что является причиной падения их уровня от 1 до 3 м/год.

Особенно острый дефицит воды испытывает население Ближнего Востока и Северной Африки, а также Индии, Китая, Мексики, США и некоторых стран СНГ.

Продолжает ухудшаться качество водных ресурсов, обусловленное загрязнением производственными отходами, стоками с сельскохозяйственных полей, городских и промышленных территорий. Загрязнение поверхностных вод стало приобретать глобальный характер.

В связи с нехваткой и низким качеством воды во многих развивающихся странах Азии и Африки причиной около 80% всех заболеваний населения являются плохие санитарно-гигиенические условия быта.

**Земельные проблемы.** В связи с сокращением земельного фонда, снижением плодородия и деградацией почвенного покрова проблема земельных ресурсов в настоящее время стала одной из крупнейших экологических проблем и приобрела глобальный характер.

Основными причинами деградации почв являются эрозия и засоление их в результате орошения, а также техногенного загрязнения.

Слово **эррозия** происходит от латинского *erosio*, что означает «разъедать». Эрозия почв бывает водная и ветровая, что обусловлено факторами, вызывающими ее развитие.

**Водная эрозия** подразделяется на **поверхностную** (плоскостную) и **линейную** (овражную) – размыв почвы и подпочвы.

Эрозия является естественным геологическим процессом, который усугубляется нерациональностью сельскохозяйственного производства, его интенсификацией, сокращением лесных угодий.

**Ветровая эрозия** вызывается пыльными бурями, при этом ветер способен выдувать слой почвы толщиной 10–25 см, поднимая его на высоту до 3 км.

Отличие ветровой эрозии от водной состоит в том, что ветровая эрозия не связана с условиями рельефа, т.е. она может наблюдаться на совершенно выровненных площадках.

При ветровой эрозии происходит выдувание лишь механических элементов почвы, а при водной, кроме того, проис-

ходит растворение в текущей воде питательных веществ и их удаление.

В результате эрозии в почвах уменьшается содержание азота, фосфора и калия, а также органических веществ, определяющих плодородие земель.

**Сохранение биологического разнообразия.** Это необходимое условие поддержания нормального состояния, эволюции и функционирования биосфера, основой чего является биотический круговорот веществ и перенос энергии.

Под влиянием геологических процессов и изменяющегося климата Земли биологические виды в результате эволюции вымирали, возникали другие и, достигнув своего расцвета, снова исчезали, а на смену им выступали новые; изменялись также и целые биотические сообщества. Этот процесс в эволюции биосферы совершается чрезвычайно медленно и продолжается десятки миллионов лет.

В настоящее время главной силой, преобразующей растительный и животный мир, является хозяйственная деятельность человека.

Согласно статистическим данным, в настоящее время около четверти миллиона видов растений (1/8 часть) находится под угрозой исчезновения. Приблизительно 25% всех видов млекопитающих и 11% видов птиц также грозит исчезновение. Продолжается истощение рыбных промысловых районов Мирового океана.

Одной из проблем вторичного происхождения являются так называемые кислотные дожди.

Термин «кислотные дожди» был введен впервые английским инженером Р. Смитом в 1872 г. Кислотные дожди, содержащие растворы серной и азотной кислот, наносят значительный ущерб природе и хозяйственным сооружениям и возникают в результате соединения с водяными парами воздуха оксидов серы и азота.

Оксиды и диоксиды серы и азота выделяются при сжигании любого ископаемого топлива (уголь, горючие сланцы, мазут и др.). Особенно насыщенными сернистым газом являются выбросы при сгорании высокосернистых углей и мазута. Оксиды азота образуются в результате соединения азота с кислородом воздуха при высоких температурах, главным образом в двигателях внутреннего сгорания и котельных установках.

Кислотные дожди губительно влияют на живые организмы открытых водоемов (рек и озер). Под их воздействием снижается продуктивность почв, меняется состав почвенных микроорганизмов. Особенно большой вред кислотные дожди наносят лесам и сельскохозяйственным культурам. В результате их воздействия развивается суховершинность деревьев на больших лесных площадях. Особенно страдают хвойные деревья. Они желтеют, корона их изреживается, повреждаются мелкие корни. У лиственных деревьев изменяется окраска листьев, гибнет корона, повреждается кора. У сельскохозяйственных культур повреждаются покровные ткани, изменяется обмен веществ в клетках. Они замедляют рост и развитие, снижается сопротивляемость заболеваниям и в результате падает урожайность.

Кислотные дожди наносят большой ущерб памятникам архитектуры (мрамор под воздействием серной кислоты превращается в гипс). Они ухудшают качество питьевой воды, загрязняя ее токсичными металлами – ртутью, свинцом, кадмием и т.п.

### **2.9.2. Региональные экологические проблемы стран Содружества Независимых Государств и Республики Беларусь**

Создание во второй половине XX в. крупных производительных сил, их размещение без учета экологических особенностей, стремление получить быстрый экономический эффект привели в ряде регионов СНГ к разрушению природных комплексов, истощению ресурсов, накоплению большого количества отходов и исключению значительных территорий земельных угодий из сельскохозяйственного производства.

Участки и территории стран, где в результате хозяйственной деятельности произошли глубокие необратимые изменения среды, приведшие к существенному ухудшению здоровья населения, нарушению природного равновесия, разрушению экологических систем, деградации почв, оскуднению флоры и фауны, принято называть зонами экологического бедствия (Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды») или повышенного экологического риска (Российская Федерация).

К концу XX в. площадь территорий в СНГ, относящихся к зонам повышенного экологического риска, составила, по дан-

ным ООН, около 4 млн км<sup>2</sup>, что соответствует площади Германии, Франции, Испании и Великобритании вместе взятых.

Невосполнимый ущерб экономике Беларуси нанесла чернобыльская катастрофа, повлекшая реальную угрозу здоровью и жизни миллионов людей. От радиоактивного загрязнения пострадали территории Украины, России, Казахстана. Этому способствовало и строительство в 40-е гг. XX в. атомных военных заводов на Южном Урале (Челябинская обл.), многолетние ядерные испытания в Казахстане (район Семипалатинска), а также взрыв термоядерного устройства на Новой Земле, в результате которого уровень радиоактивного излучения превысил фоновые значения в 100–1000 раз.

Невозобновляемое использование воды для орошения плантаций хлопчатника привело к резкому сокращению стока рек Амударьи и Сырдарьи в Аральское море. В результате уровень воды в море упал более чем на 12 м, а объем ее уменьшился на 60%. В связи с высыханием Аральского моря наблюдаются катастрофические изменения природы Приаралья. Произошло иссушение и засоление земель в дельтах этих рек, глубокая деградация экосистем, животного и растительного мира самого моря и прилегающих к нему территорий.

В результате резкого ухудшения санитарно-токсикологической и рыбохозяйственной обстановки в зоне Каспийского моря экологическая ситуация этого бассейна также оценивается как кризисная. В этом регионе произошла полная дестабилизация системы самоочищения бассейна и водохранилищ. Продолжается деградация экосистем притоков Волги. Особенно острая экологическая обстановка наблюдается в Северном Прикаспии. Здесь прогнозируется дальнейшее ухудшение экологической ситуации в связи с резким увеличением добычи нефти на каспийских месторождениях. В связи с подъемом уровня воды в Каспийском море обостряется проблема водоснабжения прибрежных территорий.

По некоторым данным, в России зоны повышенного экологического риска составляют около 10% всей ее территории с населением около 70 млн человек. Во всех этих зонах растет заболеваемость людей, увеличивается смертность, снижается продуктивность земель, истощаются природные ресурсы.

Тяжелая экологическая ситуация сложилась в зоне Арктики, особенно в Мурманской области (г. Норильск). Здесь на-

блюдается загрязнение воздушной среды и сброс сточных вод в результате деятельности предприятий цветной металлургии.

Важнейшей экологической проблемой является сохранение природного комплекса бассейна озера Байкал. Байкал – уникальное пресное озеро, занимающее первое место в мире по глубине (1,6 км) и объему воды (23 600 км<sup>3</sup>). В нем содержится около 20% объема мировых и свыше 80% пресных вод СНГ. Экосистема Байкала отличается большим богатством. В озере обитают не менее 2400 видов и разновидностей животных и растений. Оно обладает особенно тонким биологическим механизмом самоочищения вод, основная роль в котором принадлежит зоопланктону, имеющему фильтрационный тип питания и пропускающему через себя воду озера.

Развитие производства, нерациональное использование природных ресурсов в регионе привели к ухудшению гидрохимического состояния озера и его притоков, загрязнению атмосферы, развитию эрозионных процессов, деградации живых организмов Байкала и т.д.

**Экологические проблемы Республики Беларусь.** Неблагоприятное состояние окружающей среды в Республике Беларусь является следствием многолетнего развития ресурсоемких, многоотходных отраслей материального производства без учета естественных способностей природной среды к саморегуляции и восстановлению.

Наиболее актуальными экологическими проблемами Республики Беларусь являются:

- ◆ загрязнение более 1/5 территории радионуклидами (загрязнено 22% сельскохозяйственных и почти столько же лесных угодий);
- ◆ многократное превышение нормативного уровня загрязнения отходами производства воздушного бассейна в городах с высоким уровнем промышленности и большим парком автотранспорта;
- ◆ исчезновение множества малых рек и ручьев в результате крупномасштабного осушения заболоченных земель;
- ◆ увеличение загрязнения вод по всем рекам при сокращении общего объема сбрасываемых в них стоков, что свидетельствует о нарушении процессов самоочищения водоемов;

- ◆ загрязнение сточными водами уникальных водных объектов – озер Нарочь, Свityзь, Голубых и Браславских;
- ◆ неблагоприятная ситуация в сельской местности, обусловленная воздействием на среду обитания отходов крупных животноводческих комплексов, химизацией сельского хозяйства, использованием тяжеловесной сельскохозяйственной техники, изъятием плодородных земель для несельскохозяйственных целей, эрозией почв антропогенного происхождения, усыханием лесов и трансформацией почв в результате крупномасштабной мелиорации и др.

Наиболее серьезной экологической проблемой остается радиоактивное загрязнение территории, на которой проживает 2,2 млн человек (свыше 3600 населенных пунктов, в том числе 27 городов). Острее всего эта проблема стоит в Гомельской и Могилевской областях, где радионуклидами загрязнено 68 и 35% территории. В Брестской, Гродненской и Минской областях загрязнено радионуклидами 13, 7 и 5% площади, в Витебской – около 1%.

Повышенный уровень радиации, радиационное загрязнение почв, вод и других природных ресурсов Беларуси отрицательно сказывается на состоянии здоровья населения, что выражается в росте заболеваний эндокринной системы, системы кровообращения, онкологических заболеваний.

На загрязненных радионуклидами территориях проживает 530 тыс. детей и подростков; заболеваемость раком щитовидной железы в последние годы колеблется в пределах 2,5–3 человека на 100 тыс. детей, что примерно в 5–6 раз выше, чем в странах Европы, где этот показатель не превышает 0,5 человека. Среди детских заболеваний растет удельный вес врожденных и наследственных патологий, обусловленных наличием в окружающей среде дополнительных мутагенных факторов. Начался рост заболеваемости и на территориях с невысоким уровнем загрязнения.

Серьезной проблемой в республике является также загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах и промышленных центрах. По показателю индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) высокие уровни загрязнения воздушной среды наблюдаются в Могилеве – 8,8–10, Бобруйске – 6,3–7,7, Гомеле – 4,5–7,1, Витебске – 5,8–8,3.

Основными источниками загрязнения воздушного бассейна являются автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия. В структуре выбросов преобладают оксид углерода (СО) – 55,3%, диоксид серы (SO<sub>2</sub>) – 11,5, углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) – 10,2, оксиды азота (N<sub>n</sub>O<sub>m</sub>) – 10,1% и др.

Диоксид серы и оксиды азота являются исходными веществами для образования кислотных осадков, которые губительно влияют на живой мир поверхностных водоемов, повышают кислотность, уничтожают леса и посевы, усиливают коррозию металлов, разрушают облицовку зданий и сооружений.

В районах автомагистралей, перекрестков магистральных улиц городов воздух загрязнен формальдегидом, основным источником которого является автотранспорт. Примерно 30% от общего объема выбросов стационарных источников в атмосферу приходится на долю электростанций, около 15% – на химические и нефтехимические предприятия.

Определенные проблемы вызывает антропогенное загрязнение водных объектов.

Большинство рек республики относится к категории умеренно загрязненных с индексом загрязнения воды (ИЗВ), равным 1–2,5. В последние годы наблюдается увеличение ИЗВ по многим рекам республики, что на фоне сокращения поступающих сточных вод свидетельствует о нарастании скорости вторичного загрязнения и деградации процессов самоочищения водоемов.

Ухудшение качества поверхностных вод в Беларуси обусловлено сбросами в них неочищенных или недостаточно очищенных промышленных и хозяйствственно-бытовых стоков, а также поступлением ливневых и талых вод с городских территорий и сельскохозяйственных угодий. При этом самым крупным источником жидких отходов являются бытовые стоки (65% годового объема сброса сточных вод).

Актуальной для республики является проблема состояния подземных вод, которые в объеме потребления составляют в среднем 43%. Высокая проницаемость пород обуславливает слабую защищенность этих вод от поверхностного загрязнения, что сказывается на увеличении их минерализации, содержания в них хлоридов, сульфатов нитратного азота и др.

Особенно значительное загрязнение грунтовых и подземных вод происходит в районах промышленных центров, горнодобывающих предприятий, нефтехимических производств.

Так, в районе солеотвалов и хранилищ солигорских калийных комбинатов глубина зоны загрязнения превышает 100 м, а минерализация вод достигает 300 г/л. Загрязнение подземных вод наблюдается в районах размещения водозаборных скважин в жилых зонах, в районе очистных сооружений, свалок, животноводческих ферм и т.п.

Водоснабжение сельского населения в основном осуществляется за счет неглубоких индивидуальных колодцев, качество воды которых не соответствует нормативам (75%). Доля населения, использующего подобные источники, колеблется от 52% в Минской области до 79% в Брестской.

Важной экологической проблемой для Беларуси является также деградация ландшафтов, вызванная неполным извлечением полезных элементов при добыче минерального сырья, отсутствием комплексности его переработки, что ведет к скоплению огромного количества отходов пустой породы на территориях, пригодных для сельскохозяйственного использования, появлению пыльных бурь, концентрации вредных веществ в почве, водоемах, воздухе.

К настоящему времени в Беларуси образуется более 40 млн т отходов. Под отвалами, свалками и шлаконакопителями занято более 3 тыс. га земель (в том числе 1,25 тыс. га приходится на солевые отвалы солигорских комбинатов).

Среди социально-экономических последствий негативного антропогенного воздействия на экологию основным является ухудшение здоровья населения, которое можно рассматривать как интегральный показатель качества жизни людей. Продолжительность жизни населения Беларуси сокращается, особенно в сельской местности, что является следствием повышенной заболеваемости в результате загрязнения природной среды химическими веществами, нитратным загрязнением питьевой воды из колодцев и т.п.

## **2.10. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Экологическое нормирование заключается в установлении санитарно-гигиенических нормативов качества окружающей среды. Нормативы, или допустимые нормы, – это предельно допустимые уровни (ПДУ) различных излучений или предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, воздействующих на биосферу Земли. ПДК представляют со-

бой предельно допустимую массу вредного вещества в единице объема воздуха ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), воды ( $\text{мг}/\text{л}$ ) или почвы, грунтов, других пород ( $\text{мг}/\text{кг}$ ).

Предельно допустимая концентрация — это такая концентрация, при которой вредные вещества при ежедневном воздействии в течение продолжительного времени не вызывают патологических изменений в организме, заболеваний людей, животных и растений.

В настоящее время разработаны стандарты качества воздушной среды по 1080 загрязнителям; питьевой воды — по 1373, соединений воды для ведения рыбного хозяйства — по 972 и т.д.

Санитарно-гигиеническая оценка качества природной среды заключается в сравнении фактических (измеренных) значений концентрации того или иного вредного вещества (или веществ) с ПДК, регламентированными нормативными документами (стандартами, нормами или правилами), т.е. нормальным является соотношение

$$\frac{C_1}{C_{\text{ПДК}1}} \leq 1.$$

Соблюдение этого требования свидетельствует о чистоте воздушного бассейна или водной среды.

При многокомпонентном загрязнении окружающей среды должно выдерживаться следующее условие:

$$\frac{C_1}{C_{\text{ПДК}1}} + \frac{C_2}{C_{\text{ПДК}2}} + \dots + \frac{C_n}{C_{\text{ПДК}n}} \leq 1.$$

Для каждого загрязняющего вещества установлены классы опасности: максимальная разовая, среднесуточная ПДК. Максимальная разовая ПДК устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, изменение активности головного мозга, световой чувствительности глаз и др.) при кратковременном воздействии атмосферных загрязнений (до 20 мин).

Среднесуточная ПДК устанавливается для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного, сенсибилизирующего действия загрязняющих веществ.

На основе ПДК устанавливаются предельно допустимые выбросы (ПДВ) и предельно допустимые сбросы (ПДС) вред-

ных веществ из конкретного точечного источника исходя из условия непревышения ПДК этих веществ на данной территории при суммировании выбросов или сбросов всех источников.

Предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу устанавливаются на уровне, при котором выбросы от конкретного и всех других источников в данном районе с учетом перспектив его развития не приведут к повышению нормативов ПДК загрязняющих веществ в воздухе.

При определении ПДВ загрязняющих веществ от расчетного источника учитывают их концентрацию в атмосфере, обусловленную выбросами от других источников, с соблюдением для приземного слоя следующего условия:

$$C + C_{\phi} \leq C_{\text{ПДК}},$$

где  $C$  – концентрация вещества в приземном слое, создаваемая расчетным источником выброса;  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация вещества.

Если на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, значение ПДВ или ПДС по объективным причинам не может быть достигнуто в настоящее время, то по согласованию с органами по природным ресурсам и охране окружающей среды допускается планировать поэтапное снижение выбросов до величин, обеспечивающих соблюдение ПДК. Для этого вводятся нормативные значения временно согласованных выбросов или сбросов (ВСВ или ВСС).

Кроме вышенназванных нормативов существуют предельно допустимые нормы нагрузки на окружающую среду, т.е. допустимая степень воздействия на окружающую среду в конкретном регионе.

## 2.11. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИСТОЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Как отмечалось, в природе процессы обмена веществом и энергией между компонентами окружающей среды замкнуты, бесконечны (рис. 2.9, *a*). В сфере же производства (техносфера) имеет место линейная система процесса (рис. 2.9, *б*). Большинство отходов не утилизируется ни промышленностью, ни экологическими системами, поэтому ос-

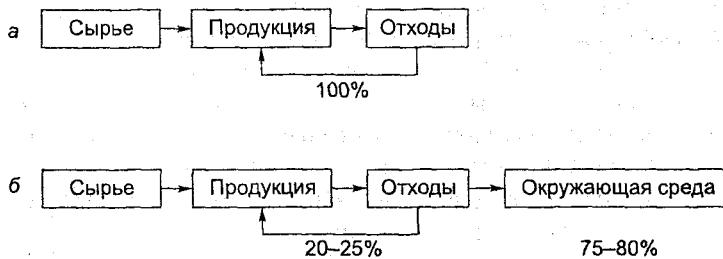


Рис. 2.9. Условная схема обмена веществ в природе (а) и в сфере производства (б)

новным перспективным принципом (направлением) оптимизации взаимодействия общества и природы, решения экологических проблем является превращение линейного процесса обмена в бесконечный природно-производственный цикл.

Такое превращение может быть реализовано разработкой и применением малоотходных технологий и созданием территориально-производственных комплексов, в которых отходы одного производства могли бы использоваться в качестве вторичных ресурсов для другого производства, т.е. созданием замкнутых технологических циклов, при которых рационально используются все компоненты сырья и энергии.

В настоящее время степень повторного использования (утилизации) производственных отходов очень невелика (10–25%). Основные причины – отсутствие простых и эффективных технологий и неудовлетворительная их экономика (рентабельность), когда затраты на переработку отходов превышают доходы от дополнительной продукции, полученной из отходов. Поэтому при современном технологическом уровне и экономике новейших технологий для экологизации производства в мировой практике продолжают широко применяться так называемые пассивные методы защиты окружающей среды от загрязнения и деградации, которые заключаются в ограничении количества выбросов путем их улавливания, обезвреживания и захоронения.

Современные методы улавливания и уничтожения отходов тоже очень сложны и дороги. Затраты на очистные сооружения зачастую достигают 40% стоимости основных фондов, а строительство очистных сооружений требует изъятия больших площадей земельных угодий.

Таким образом, основными путями защиты окружающей среды от загрязнения и ресурсообеспеченности экономики продолжают оставаться:

- ◆ разработка и применение эффективных очистных сооружений, малоотходных технологий, более широкое использование вторичного сырья и отходов;
- ◆ экономное и рациональное расходование природных ресурсов, их комплексная переработка.

В настоящее время в мировой практике наиболее широко применяются следующие способы обеззараживания и захоронения отходов:

- ◆ биологическое окисление и физико-химическая очистка;
- ◆ термическая обработка и обработка при высоком давлении;
- ◆ складирование отходов в поверхностных хранилищах и поверхностных слоях земли;
- ◆ захоронение жидких отходов в глубинных формациях и подземных полостях естественного и искусственного происхождения;
- ◆ сброс отходов в глубинные части морей и океанов.

В настоящее время большое влияние уделяется подземному способу захоронения токсичных отходов в геологических средах, например созданию хранилищ в соленосных отложениях, где защита окружающей среды от вредных веществ обеспечивается геологическими барьерами глубоких горизонтов на протяжении необозримого периода.

### **2.11.1. Утилизация и захоронение отходов**

Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве, относятся ко вторичным ресурсам (например, макулатура для производства бумаги; металлический лом для производства металла).

Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию в качестве вторичных ресурсов (например, переработка которых сложна и экономически невыгодна или которые имеются в избытке), подвергаются захоронению на полигонах. Перед захоронением отходы с высокой степенью влажности обезвоживаются, прессуемые отходы целесообразно спрессовать, а горючие – сжечь с целью снижения их объема и массы. При прессовании объем отходов уменьшается в 2–10 раз, а при сжигании – почти в 50 раз. Недостатком сжигания

являются значительно большие издержки по сравнению с вывозом на свалку, сбросом в море и захоронением в отработанные шахты. Однако термический способ уничтожения отходов (на мусоросжигательных заводах, которые получили широкое распространение) предпочтительнее складирования и захоронения, хотя связан с образованием газообразных токсичных выбросов, поэтому такие предприятия должны оборудоваться высокоеффективными системами пылегазоочистки.

Полигоны для складирования отходов бывают различного уровня и класса: полигоны предприятия, городские, регионального значения. Они должны располагаться вдали от водоохраных зон, иметь санитарно-защитные зоны и оборудоваться в зависимости от типа и класса токсичности складируемых отходов.

Одной из наиболее сложных проблем является переработка и захоронение радиоактивных отходов. Их сбор, переработка и захоронение осуществляется отдельно от других видов отходов.

Твердые радиоактивные отходы целесообразно подвергать прессованию и сжиганию на специальных установках, оборудованных радиационной защитой и высокоеффективной системой очистки вентиляционного воздуха и отходящих газов. При сжигании 85–90 % радионуклидов локализуется в золе, остальные улавливаются системой газоочистки.

Жидкие радиоактивные отходы подвергают упариванию (для уменьшения их объема), при котором основная масса радионуклидов локализуется в осадке. Временно жидкие радиоактивные отходы хранят в специально оборудованных емкостях, а затем отправляют на специальные полигоны. С целью снижения опасности загрязнения грунтовых вод при окончательном захоронении нерадиоактивных отходов применяют методы их отверждения. Их цементируют с образованием цементного камня, битумируют, остекловывают, включают остеклованные отходы в металлическую матрицу (для высокоеактивных отходов).

Захоронение радиоактивных отходов осуществляется в могильниках в геологических формациях. Могильники могут оборудоваться в поверхностных слоях почвы, в массивах каменной соли (часто используют отработанные соляные шахты), кристаллических горных породах. Их располагают в местах, не подверженных наводнениям, в сейсмически безопасных районах и вдали от грунтовых вод.

## 2.11.2. Методы и средства защиты воздушного бассейна

Уменьшение концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы до значений, не превышающих предельно допустимых, обеспечивается комплексом мер, основными из которых являются:

- ◆ рациональное размещение производств – источников загрязняющих веществ по отношению к населенным территориям;
- ◆ использование средств для рассеивания примесей в атмосфере;
- ◆ применение технических средств (устройств, аппаратов) для очистки удаляемого из производственных помещений воздуха от загрязнителей (частиц пыли, туманов кислот, щелочей, масел и др.).

Рациональное размещение заключается в максимально возможном удалении производств – загрязнителей воздуха от жилых районов, создании вокруг источников санитарно-защитных зон, учет рельефа местности, преобладающей розы ветров и др.

Общая схема системы очистки воздуха от производственных пылей и газов представлена на рис. 2.10.

Системы очистки воздуха характеризуются эффективностью и гидравлическим сопротивлением. Эффективность определяется концентрацией вредной примеси на выходе из устройства очистки, а гидравлическое сопротивление – затратами энергии на пропуск очищаемых смесей (газов) через устройство очистки.

Эффективность очистки характеризуется коэффициентом очистки ( $\eta$ ) и рассчитывается по формуле

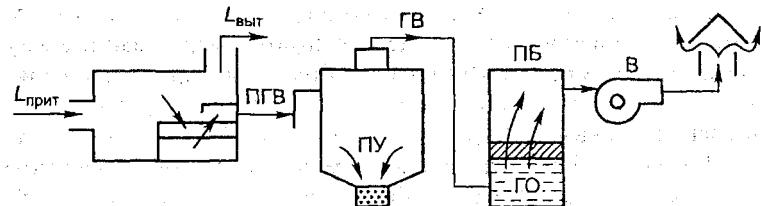


Рис. 2.10. Принципиальная схема пылегазоочистки воздуха, удаляемого из производственного помещения:

ПГВ – пылегазовоздушная смесь; ПУ – пылеулавливающая камера; ГВ – газовоздушная смесь; ПБ – промывная башня; ГО – газоочистка; В – вентилятор

$$\eta = 1 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}},$$

где  $C_{\text{вых}}$  и  $C_{\text{вх}}$  – массовые (объемные) концентрации примесей в воздухе до и после очистки,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

По известной концентрации вредного вещества в очищенном воздухе  $C_{\text{вых}}$  и установленного предельно допустимого выброса этого вещества в атмосферу можно определить требуемую эффективность очистки аппарата по каждому веществу:

$$\eta_{\text{треб}} = 1 - \frac{\text{ПДВ}}{M \cdot C_{\text{вых}}},$$

где  $M$  – расход очищаемого воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Для очистки пылегазовоздушных смесей от пыли применяются аппараты сухой и мокрой очистки.

**Сухие пылеуловители** работают на принципе гравитационной и инерционной сепарации. К ним относятся различного рода пылеосадочные и пылеотстойные камеры, циклоны, роторные, вихревые и радиальные пылеуловители (рис. 2.11).

В пылеотстойных и пылеосадочных камерах лабиринтного и прямоточного типа осуществляется грубая очистка воздуха от пыли с диаметром пылинок  $d > 100 \text{ мкм}$ . Коэффициент очистки таких камер не превышает 50–60%.

Из пылеуловителей сухого типа наибольшее распространение получили циклоны (одиночные, групповые, батарейные), фильтры (тканевые, волокнистые, зернистые), обеспечиваю-

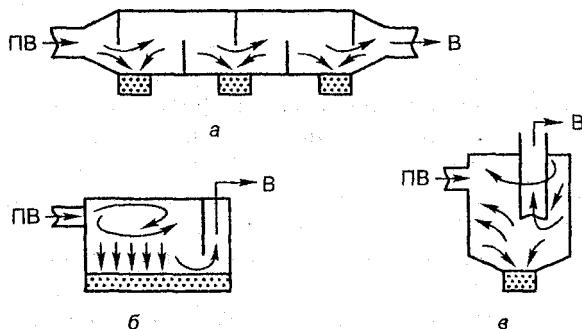


Рис. 2.11. Аппараты сухой очистки:

*а* – пылеосадочная камера лабиринтного типа; *б* – прямоточного типа; *в* – циклон

щие высокую эффективность улавливания ( $\eta=70\text{--}95\%$ ) крупных и мелких ( $d=100\text{--}10 \mu\text{м}$ ) частиц.

В тканевых фильтрах фильтровальная перегородка может быть хлопчатобумажной, шерстяной, лавсановой, нейлоновой и др. В этих фильтрах используется ситовый механизм фильтрования, при котором фильтрование осуществляется за счет не только фильтровальной ткани, но и пылевого слоя, образующегося на поверхности. Наибольшее распространение получили тканевые рукавные фильтры (рис. 2.12).

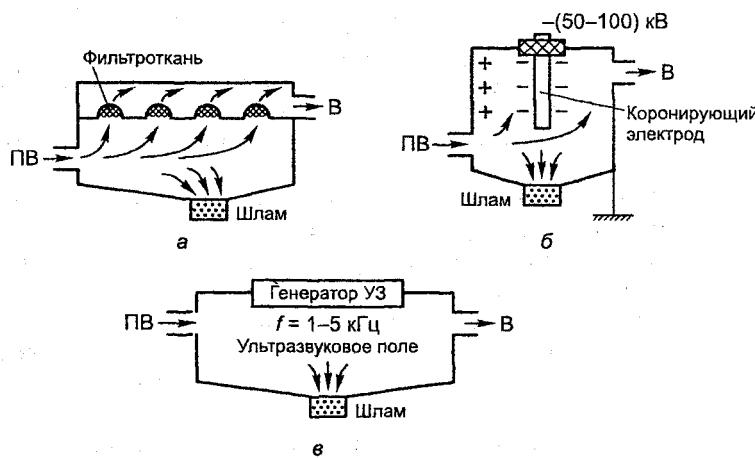


Рис. 2.12. Фильтры:

а — рукавный фильтр ( $\eta=95\text{--}98\%$ ); б — электростатический фильтр ( $\eta=96\text{--}98\%$ ); в — ультразвуковые фильтры ( $\eta=90\%$  при действии УЗ- поля 3—5 с)

Для очистки больших объемов воздуха или газов с высокой эффективностью применяют электрофильтры, использующие два электрода — коронирующий и осадительный. При подаче на электроды высокого напряжения постоянного тока ( $15\text{--}100 \text{ кВ}$ ) у коронирующего электрода возникает коронный разряд, в результате которого образуются положительные и отрицательные ионы; они адсорбируются на поверхности частиц пыли, заряжая их противоположными знаками (+ и -). Отрицательно заряженные частицы пыли начинают перемещаться к положительному осадительному электроду и прилипают к нему, удерживаясь и накапливаясь благодаря силе электростатического поля.

**Мокрые пылеуловители** работают на принципе осаждения под действием сил гравитации и броуновского движения частиц пыли на поверхность капель или пленки жидкости. К ним относятся различной конструкции пенные аппараты, трубы, или скруббера Вентури, форсуночные или центробежные скруббера, аппараты ударно-инерционного типа и др. (рис. 2.13).

Очистка газовоздушных смесей от вредных газообразных примесей осуществляется с помощью следующих методов: абсорбции, хемосорбции, адсорбции, термического дожигания и метода каталитической нейтрализации.

**Абсорбция** – это растворение вредной газовой примеси сорбентом (как правило, водой). Этим методом можно улавливать только хорошо растворимые газовые примеси и пары. Так, хорошей растворимостью в воде обладают аммиак, хло-

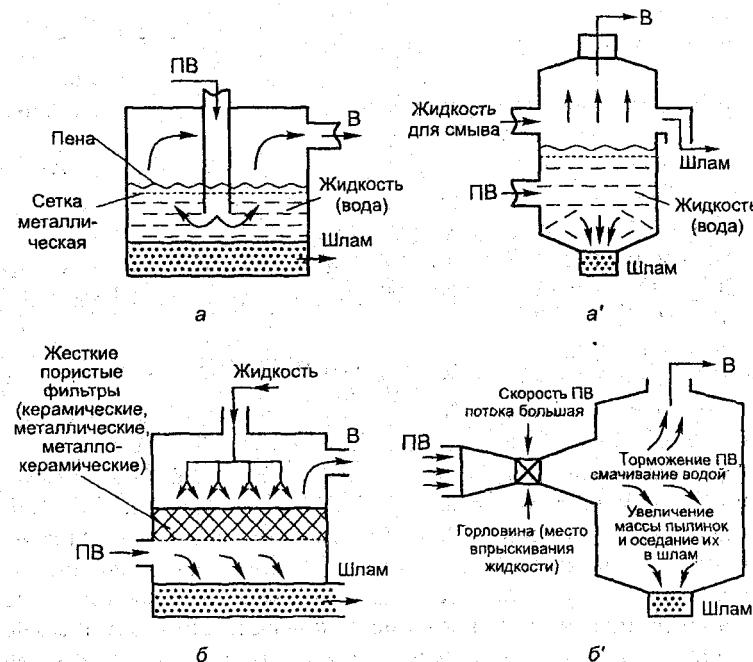


Рис. 2.13. Мокрые пылеуловители:  
а, а' – пенные аппараты; б, б' – соответственно форсуночный скруббер и скруббер (труба) Вентури

роводород, фтороводород, пары кислот и щелочей. Для проведения процесса абсорбции используют средства мокрого типа, применяемые также и для пылеулавливания.

*Хемосорбция* — применяется для улавливания газовых примесей, нерастворимых или плохо растворимых в воде. Этот метод заключается в том, что очищаемый газ орошают растворами реагентов, вступающих в химическую реакцию с вредными примесями с образованием нетоксичных, малолетучих или нерастворимых химических соединений. Хемосорбция широко применяется для улавливания диоксида серы ( $S_2O$ ). При хемосорбции очищаемые газы орошают суспензией известняка ( $CaCO_3$ ), известняковым молоком (мелкодисперсной суспензией гашеной извести  $Ca(OH)_2$ ) или негашеной извести  $CaO$ , суспензией магнезита  $MgO$  и др.

*Адсорбция* заключается в улавливании поверхностью микропористого адсорбента (активированный уголь, силикагель, цеолиты) молекул вредных веществ. Этот метод весьма эффективен, но при невысокой запыленности газа — 2–5  $mg/m^3$ . Адсорбция широко применяется для улавливания паров растворителей, неприятно пахнущих веществ, органических соединений и других газов.

*Термическое дожигание* — это процесс окисления вредных веществ кислородом воздуха при высоких температурах (900–1200 °C). С помощью термического дожигания окисляют токсичный угарный газ (CO) до нетоксичного углекислого газа ( $CO_2$ ) ( $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ ), углеводороды ( $C_nH_m$ ) до углекислого газа и воды ( $C_nH_m + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ ). Термическое дожигание применяют также для очистки паров растворителей и красок в лакокрасочных производствах, очистки выбросов испытательных станций двигателей, работающих на органических горючих, и др.

*Катализическая нейтрализация* может осуществляться в термокатализитических реакторах путем изменения катализаторов, материалов, которые ускоряют протекание реакций или делают их возможными при значительно более низких температурах (250–400 °C). В качестве катализаторов используют прежде всего благородные металлы — платину, палладий в виде тонкослойных напылений на металлические или керамические носители. Кроме того, применяется монельметалл, диоксид титана, пентаоксид ванадия и др.

При сильном и многокомпонентном загрязнении воздуха или газов применяют сложные многоструктурные системы

чистки, состоящие из последовательно установленных аппаратов различного типа.

Очистка воздуха от туманов, кислот, щелочей, масел и других жидкостей осуществляется волокнистыми фильтрами, принцип действия которых основан на осаждении капель жидкости на поверхности материалов фильтров и последующем стекании жидкости под действием сил гравитации.

### **2.11.3. Защита водных ресурсов от загрязнений сточными водами**

Защита водных ресурсов от загрязнений осуществляется организационно-планировочными, технологическими и санитарно-техническими методами и средствами.

*Организационно-планировочные мероприятия* заключаются в рациональном размещении устройств сброса сточных вод в водоемы и устройств водозабора и водоотвода. При этом водозабор на технологические нужды целесообразно организовать ниже по течению реки, чем сброс сточных вод, что стимулирует предприятие – источник загрязнения осуществлять высокоэффективную очистку собственных стоков.

Для увеличения интенсивности перемешивания и кратности разбавления стоков применяются рассредоточенные выпуски стоков через трубы, расположенные поперек русла реки.

*Технологические меры* включают разработку и внедрение маловодных и безводных производств; максимальную утилизацию различных побочных компонентов сырья и продуктов производства; сокращение объемов потребления за счет внедрения систем водооборотного водоснабжения; более широкое использование для охлаждения воздуха вместо воды; строительство разделительных систем хозяйственного и бытового водоснабжения; применение некоторых видов сточных вод для сельскохозяйственного орошения, охлаждения энергетических установок и др.

*Санитарно-технические меры* очистки сточных вод включают комплекс различных очистных сооружений, состоящих из средств механической, физико-химической и биологической очистки.

Средства механической очистки предназначены для удаления нерастворимых примесей и примесей, всплывающих на поверхность (твердые частицы, частицы жиро-, масло- и нефтепродуктов). Механическая очистка осуществляется

процеживанием, отстаиванием, обработкой в поле центробежных сил, фильтрованием, флотацией и др.

*Процеживание* применяется для удаления из сточных вод крупных и волокнистых включений. Процесс реализуется на вертикальных и наклонных решетках с шириной прозоров 15–20 мм и на волокноуловителях в виде ленточных и барабанных сит.

*Отстаивание* основано на свободном оседании (всплытии) примесей с плотностью, большей (меньшей) плотности воды. Этот процесс реализуется в песколовках, отстойниках, жироуловителях. Песколовки применяются для отделения частиц металла и песка размером более 250 мкм. Они бывают с горизонтальным, вертикальным и круговым движением воды.

Отстойники применяются для гравитационного выделения из сточных вод более мелких взвешенных частиц или живых веществ. По направлению движения основного потока воды различают отстойники вертикальные, горизонтальные, диагональные и радиальные.

*Очистка сточных вод в поле центробежных сил* осуществляется в гидроциклах. Как и в газоочистных циклонах, под действием центробежной силы, возникающей во вращающемся потоке, происходит более интенсивное отделение взвешенных частиц от потока воды. Гидроциклоны бывают низконапорные (открытые) и высоконапорные (закрытые).

*Фильтрование* используется для очистки сточных вод от мелкодисперсных примесей как на начальной, так и на конечной стадии очистки. Часто используются зернистые фильтры из несвязанных или связанных между собой частиц. В зернистых фильтрах в качестве фильтра материала применяются кварцевый песок, дробленый шлак, гравий, антрацит и т.п.

Метод *флотации* заключается в обволакивании частиц примесей мелкими пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду, и поднятии их на поверхность, где образуется слой пены. В зависимости от способа образования пузырьков различают флотации пневматическую (напорную, вакуумную), пенную, химическую, вибрационную, биологическую, электрофлотацию. На практике наибольшее распространение получила пневматическая флотация, которая основывается на уменьшении растворимости газа в воде при снижении его давления.

При резком снижении давления происходит выделение из воды излишнего воздуха в виде пузырьков. Если вода с атмо-

сферным давлением направляется в камеру под вакуумом, такая флотация называется вакуумной; если из-под напора в открытую камеру — напорной. Флотация осуществляется во флотационных камерах.

*Физико-химические методы очистки* применяются для удаления из сточной воды растворимых примесей (солей тяжелых металлов, цианидов, фторидов и др.), а в ряде случаев и для удаления взвесей. Как правило, физико-химическим методам предшествует стадия очистки от взвешенных частиц веществ. Из физико-химических методов наиболее распространены электрофлотационные, коагуляционные, реагентные, ионообменные и др.

*Электрофлотация* находит широкое применение наряду с пневматической флотацией для удаления маслопродуктов и мелкодисперсных взвесей. Она осуществляется в электрофлотационных установках путем пропускания через сточную воду электрического тока, возникающего между парами электродов (стальные, алюминиевые). В результате электролиза воды образуются пузырьки газа, прежде всего легкого водорода, а также кислорода, которые обволакивают частички взвеси и способствуют их быстрому всплытию на поверхность.

*Коагуляция* — это физико-химический процесс укрупнения мельчайших коллоидных и дисперсированных частиц под действием сил молекулярного притяжения. В результате коагулирования устраняется мутность воды. В качестве коагулянтов применяют алюминий, содержащий хлорид железа, сульфат железа. Коагуляция осуществляется посредством перемешивания воды с коагулянтами в камерах, откуда вода направляется в отстойники, где хлопья отделяются отстаиванием. Необходимые для коагулирования ионы алюминия или железа иногда получают электрохимическим путем. Для этого используются емкости — электролизеры (электрокоагуляторы), в которых размещены электроды из алюминия или стали. Образующиеся в процессе анодного растворения металла ионы алюминия или железа осуществляют процесс коагуляции. Так как электрофлотаторы и электрокоагуляторы практически одинаковы по конструкции, процессы электрофлотации и электрокоагуляции могут протекать в них одновременно.

*Реагентный метод* заключается в обработке сточных вод химическими веществами-реагентами, которые, вступая в химическую реакцию с растворенными токсичными приме-

сиями, образуют нетоксичные или нерастворимые соединения. Затем они могут быть удалены одним из выше описанных методов удаления взвеси и осветления воды. Реагентный метод находит применение для очистки сточных вод от солей металла, цианидов, хрома, фторидов и т.д. Например, для удаления цианидов используют различные реагенты – окислители, содержащие активный хлор: хлорная известь, гипохлориты кальция или натрия, хлорная вода. Для очистки от хрома изменяют натриевые соли сернистой кислоты ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ), гидросульфит  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  и др.

Разновидностью реагентного метода является процесс *нейтрализации сточных вод*. Согласно действующим нормативным документам, сбросы сточных вод в системы канализации населенных пунктов и вводные объекты допустимы только в случаях, если имеют  $\text{pH}=6,5-8,5$ . В том случае, если  $\text{pH}$  сточных вод соответствует кислой ( $\text{pH}<6,5$ ) или щелочной ( $\text{pH}>8,5$ ) среде, сточные воды подлежат нейтрализации, под которой понимают снижение концентрации в них свободных ионов  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$  до установленных в указанном интервале значений  $\text{pH}$ . Нейтрализация кислых сточных вод осуществляется добавлением растворимых в воде щелочных реагентов (оксида кальция, гидроксидов натрия, кальция, магния и др.), нейтрализация щелочных стоков – добавлением минеральных кислот (серной, соляной и др.). Реагентная очистка осуществляется в емкостях, снабженных устройствами для перемешивания.

*Ионообменная очистка* сточных вод заключается в пропускании их через ионообменные смолы, которые подразделяются на катионовые, имеющие подвижные и способные к обмену катионы (чаще всего водорода  $\text{H}^+$ ), и анионовые, имеющие подвижные и способные к обмену анионы (чаще всего гидроксильную группу  $\text{OH}^-$ ). При прохождении сточной воды через смолы подвижные ионы смолы заменяются на ионы соответствующего знака токсичных примесей. Например, катион тяжелого металла заменяет катион водорода, а токсичный анион – соли металла – анион  $\text{OH}^-$ , происходит сорбирование токсичных ионов смолой. Регенерация (восстановление сорбирующей способности при насыщении смолы токсичными ионами) осуществляется промывной кислотой (катионовая смола) или щелочью (анионитовая смола). При этом токсичные ионы замещаются соответствующими катионами или анионами ( $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ), а токсичные примеси выделяются в концентрированном виде как щелочные или кислые

стоки, которые взаимно нейтрализуются и подвергаются реагентной очистке или утилизации.

**Биологическая очистка** сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать растворимые и коллоидные органические соединения в качестве источника питания в процессе своей жизнедеятельности. При этом органические соединения окисляются до воды и углекислого газа. Биологическим путем очищаются многие виды органических соединений городских и производственных сточных вод. С биологической точки зрения активный ил – это скопление аэробных бактерий в виде зоогелей. Кроме микробов в иле могут присутствовать простейшие, черви, личинки, насекомые, водяные клещи в биофильтрах. При очистке многих видов сточных вод, в том числе бытовых, используют бактерии рода *pseudomonas* – грам-отрицательные палочки.

Биологическую очистку ведут или в естественных условиях (поля орошения, поля фильтрации, биологические пруды), или в специальных сооружениях: биофильтрах, аэротенках. Аэротенки представляют собой открытые резервуары с системой коридоров, через которые медленно протекают сточные воды, смешанные с активным илом. Эффект биологической очистки обеспечивается постоянным перемешиванием сточных вод с активным илом и непрерывной подачей воздуха через систему аэрации аэротенка. Активный ил затем отделяется от воды в отстойниках и вновь направляется в аэротенки. Биологический фильтр – сооружение, заполненное загрузочным материалом, через который фильтруется сточная вода, а на поверхности развивается биологическая пленка, состоящая из прикрепленных форм микроорганизмов. Водоочистные сооружения крупных промышленных предприятий, имеющих различное производство (механообрабатывающее, гальваническое, литейное, окрасочное, кузничное и т.д.), выполнены следующим образом: отдельные производства имеют свои локальные очистные сооружения, аппаратурное обеспечение которых учитывает специфику загрязнений и полностью или частично удаляет их, затем все локальные стоки направляются в емкости-усреднители, а из них – на централизованную систему очистки до значений, устанавливаемых для предприятия предельно допустимых сбросов.

#### **2.11.4. Охрана недр и почв**

При проведении геологических исследований и геолого-разведочных работ, отчуждающих значительные территории сельскохозяйственных и лесных угодий, происходит изменение теплового баланса недр, загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, буровым раствором, кислотами и другими токсичными компонентами, используемыми при проводке скважин. Проведение систематических исследований с применением буровзрывных работ, вызывает нарушение физико-химических свойств почвы и верхних слоев литосферы, загрязнение грунтовых вод и т.д.

Вся хозяйственная деятельность, повреждающая природную среду (изъятие плодородных земель под отвалы; образование провалов земной поверхности и разрушение ландшафта за счет огромных по площади и глубине выработанных пространств), должна осуществляться с минимальными экологическими нарушениями и последующей рекультивацией земель, засыпкой завалов, закладкой породой выработанных пространств, выравниванием карьерных пространств, их озеленением, созданием водоемов и т.п.

Охрана недр включает в себя систему мер, обеспечивающих сохранение разнообразия геологической среды, ее рациональное использование и направлена:

- ◆ на полное извлечение полезных ископаемых из недр (так, в Республике Беларусь извлечение нефти не превышает 40%, тогда как совершенствование технологий позволяет довести этот показатель до 60%);
- ◆ полное извлечение из добытой рудной массы всех полезных компонентов;
- ◆ снижение потерь при транспортировке с отходящими газами, сточными водами и т.п.

К мерам по защите и сохранению почв относятся:

- ◆ выращивание лесных полезащитных полос (так называемое полосное земледелие);
- ◆ снегозадержание;
- ◆ обработка почв поперек склона;
- ◆ контурная вспашка, углубление пахотного слоя;
- ◆ регулирование выпаса скота;
- ◆ перенос почв при строительстве и др.

### **2.11.5. Охрана и защита лесов**

*Охрана и защита лесов* представляет собой комплекс организационных, правовых, инженерно-технических и иных мер, обеспечивающих рациональное использование лесного фонда, его сохранение от уничтожения, пожаров, повреждения, загрязнения и других вредных воздействий, а также воспроизводство лесных экосистем, повышение экологического и ресурсного потенциала лесов, удовлетворение потребностей общества в лесных ресурсах.

Важнейшим направлением лесозащиты является применение интегрированных систем защиты от вредителей и болезней. Они подразделяются на *лесохозяйственные мероприятия* (носят в основном профилактический характер и предупреждают распространение вредных насекомых и болезней, повышают биологическую устойчивость растений), *биологические методы* (включают использование хищников и паразитических насекомых, насекомоядных птиц и зверей, а также патогенных бактерий и вирусов. Для борьбы с насекомыми, вредителями эффективно использовать некоторые виды лесных муравьев), *химический метод* (основан на применении ряда ядовитых веществ).

С целью сохранения биологического разнообразия, включающего совокупность форм жизни, сочетание биотических сообществ в надземных, почвенных, водных и других средах обитания, создаются особо охраняемые природные территории. Они представляют собой участки земли и части водного пространства, в том числе природные комплексы, имеющие особое экологическое, научное, культурное, эстетическое, историческое значение. К таковым относятся государственные заповедники, национальные парки, заказники, памятники природы, а также животные и растения – представители видов, занесенных в Красную книгу.

*Заповедники* являются исключительно природоохранными, научно-исследовательскими учреждениями государственного значения, в задачи которых входит: сохранение в натуральном состоянии природного комплекса; входящего в состав заповедника; проведение научных исследований; организация мониторинга окружающей среды и др.

*Национальные парки* – это комплексные природоохранные и хозяйствственные и научно-исследовательские учреждения, за-

дачами которых являются: сохранение эталонных и уникальных природных комплексов и объектов природы; организация экологического просвещения и воспитания населения; проведение научно-исследовательских работ и др.

Заказники определяются как территории, выделяемые с целью сохранения и восстановления одного или нескольких видов природных ресурсов и поддержания общего экологического баланса.

В зависимости от предназначения заказники подразделяются:

- ◆ на ландшафтные, для сохранения и восстановления особо ценных природных ландшафтов и комплексов;
- ◆ биологические (ботанические, зоологические);
- ◆ палеонтологические (для сохранения отдельных иско-  
паемых объектов и их комплексов);
- ◆ гидрологические (болотные, озерные, лесные).

В состав других особо охраняемых объектов входят памятники садово-паркового искусства, ботанические реликвии, геологические памятники природы, ценные насаждения, ред-  
кие и вековые деревья.

## 2.12. ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРИНЦИПЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В развитии взаимоотношений природы и общества наблюдаются определенные закономерности, связанные с уровнем развития производительных сил и степенью воздействия их на окружающую среду. Различным этапам хозяйственной деятельности соответствовали свои принципы природопользования.

До второй половины XX в. критерием эффективности экономики было получение максимума материальных благ (прибыли) при минимальных затратах. Природные ресурсы считались неистощимыми. Такая модель экономики называлась «фронтальной экономикой» (К. Будинг). В основе природопользования в то время лежал так называемый **экономический принцип**, когда природа рассматривалась как неисчерпаемый источник ресурсов, «сточная труба» для различных отходов. Природоохранная деятельность носила как бы «благотворительный» характер. Она ограничивалась созданием отдельных заповедников, охраной некоторых уникальных памятников природы и т.д.

При относительно небольшой плотности населения и низком уровне развития промышленности такое широкое использование ресурсами не вызывало опасений относительно глобальных экологических изменений.

Однако XX век ознаменовался быстрым ростом населения, небывалыми темпами росло потребление материальных и энергетических ресурсов, масштабы производства в мире увеличились в 20 раз. За последние 50 лет население Земли удвоилось, а уровень промышленного производства и потребления топлива возрос в 4 раза. Техногенные воздействия на окружающую среду по своим масштабам стали сопоставимы со многими природными процессами, что привело к существенным нарушениям круговорота веществ и обменным энергетическим процессам в природе.

Резкое ухудшение качества окружающей среды и рост в связи с этим экономических издержек привели к появлению концепции «охраны природы», сменившей концепцию ее «покорения», господствовавшую в период «фронтальной экономики». Ведущим принципом природопользования в развитых странах становится **экологово-экономический**, согласно которому критерием эффективности хозяйственной деятельности является получение максимальных экономических результатов при минимальных затратах и минимальных нарушениях природной среды.

Внедрение этого принципа в жизнь в определенной степени затормозило процесс разрушения природной среды. В большинстве стран мира были образованы государственные органы управления природоохранной деятельностью и природопользованием. Были приняты правовые акты, регламентирующие нормы, процедуры природопользования и др. В результате в развитых странах резко сократилось производство чугуна, стали, снизилось потребление топливно-энергетических ресурсов, а также удельный вес наиболее ресурсо- и энергоемких отраслей, металло- и материалоемких производств.

В настоящее время наблюдается совершенствование технологий и улучшение технических характеристик продукции, производства оснащаются микропроцессорной техникой, привычные конструкционные материалы заменяются новыми, более легкими и износостойкими. Высокая стоимость природо-восстановительных работ вызвала повышенный спрос на безотходные, малоотходные и ресурсосберегающие технологии.

В мировой экономике произошли также качественные сдвиги в соотношении групп отраслей А и Б в сторону увеличения удельного веса отраслей группы Б, так как увеличился потребительский спрос, стимулирующий процесс технического обновления и увеличения производства товаров потребления нового поколения (компактные и экономичные автомобили, аудио- и видеотехника, компьютеры, средства мобильной связи и др.).

Таким образом, одним из критериев технического развития общества стали качественные характеристики выпускаемой продукции (в том числе ее ресурсоемкость и экономичность).

Вместе с тем концепция охраны природы позволила ведущим странам добиться лишь определенной экологической стабильности, а не коренного улучшения состояния окружающей среды, так как по-прежнему при эколого-экономическом принципе природопользования основным направлением являлся рост экономики, наращивание темпов производства. Природоохранные затраты представляются как ограничивающие экономический рост, т.е. природоохранная деятельность так и не стала органичной частью природопользования и постоянно отстает от темпов социально-экономического развития общества.

Реализация в 60 – 80-х гг. XX в. эколого-экономического принципа природопользования дала положительные результаты. Формировался в общественном сознании новый тип природоохранного мышления, разрабатывались и внедрялись новые экономичные технологии, расширялся природно-заповедный фонд. Однако до настоящего времени разрыв между разрушением и восстановлением природной среды, несмотря на прилагаемые усилия, существенно не сократился.

Таким образом, становится необходимым создание такой системы природопользования, при которой исключалась бы возможность возникновения конфликтных ситуаций между обществом и природой, т.е. природопользование должно базироваться на новом *социально-экологическом принципе*, когда максимальный экономический эффект достигается при сохранении динамического равновесия экосистем и их составляющих.

Основой нового типа эколого-экономического взаимодействия должно стать устойчивое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени и не ставит под угрозу удовлетворение потребностей будущих поколений, т.е. долж-

на использоваться концепция экономического роста на основе ресурсосбережения.

Долгосрочный учет экологических ограничений имеет не только социальный аспект, но и экономический, так как экономические проекты, учитывающие последствия для природы, оказываются в перспективе экономически выгоднее тех, которые осуществлялись с целью получения сиюминутной выгоды без учета долгосрочных экологических последствий.

Таким образом, для любого государства характерны три стадии эколого-экономического развития:

- ◆ фронтальная экономика;
- ◆ экономическое развитие с учетом охраны природы;
- ◆ развитие с учетом экологических ограничений (устойчивое развитие).

Каждой стадии соответствуют свои принципы природопользования:

- ◆ экономический;
- ◆ эколого-экономический;
- ◆ социально-экологический.

## **2.13. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ**

Управление охраной окружающей среды и природопользованием в Беларуси осуществляется на организационно-правовой и нормативной основе.

Органами управления являются структуры и подразделения, создаваемые всеми ветвями власти – законодательной, исполнительной и судебной. Парламент, являясь законодательным органом государства, определяет основные направления государственной политики в области окружающей природной среды, принимает законодательные акты. Правительство, являясь органом государственного управления и осуществления исполнительной власти, реализует государственную экологическую политику, разрабатывая и претворяя в жизнь экологические программы и природоохранные мероприятия.

На местах государственная экологическая политика реализуется областными, городскими, районными, поселковыми и сельскими Советами депутатов, а также их исполкомами,

которые несут ответственность за состояние окружающей среды на подведомственных территориях.

Основные природоохранные функции в Республике Беларусь возложены на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды.

На уровне субъектов хозяйствования управление охраной окружающей среды осуществляется их администрацией. В ее функции входит планирование природоохранных мероприятий, эксплуатация основных природоохранных фондов, контроль уровня загрязнения окружающей среды отходами производства. Важное место в природоохранной деятельности предприятий принадлежит экологическим лабораториям.

Для воздействия на деятельность управляемых объектов (субъекты хозяйствования, граждане) в системе управления используют различные методы, основными из которых являются:

- ◆ административные, обеспечиваемые государством;
- ◆ экономические, создающие материальную заинтересованность субъектов хозяйствования в выполнении необходимых экологических мероприятий, решений органов управления в сфере природопользования;
- ◆ социально-психологические — методы морального стимулирования, которые реализуются посредством мер как поощрительного характера, так и принудительного воздействия на нарушителей.

Административные методы управления природопользованием являются превалирующими в странах с монопольным правом на владение государства природными ресурсами.

Экономические методы управления предполагают использование стоимостных рычагов, таких как рентные платежи; платежи за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды (экологический налог); компенсационные выплаты за изъятие природного ресурса из целевого использования или ухудшение его качеств в результате производственной деятельности; штрафы за нарушение экологических стандартов и лимитов природопользования; система налоговых льгот, льготное кредитование и субсидирование и др.

Правовой основой природоохранной деятельности и природопользования является экологическое законодательство.

Важнейшим законодательным актом, направленным на обеспечение экологической безопасности и защиту окружающей среды Республики Беларусь, является Закон «Об охране окружаю-

щей среды». Этот закон устанавливает систему природоохранного законодательства, основные принципы и объекты охраны окружающей природной среды и порядок управления ею.

В законе зафиксировано право граждан Республики Беларусь на благоприятную среду обитания. Закон устанавливает принципы нормирования качества окружающей природной среды, порядок проведения государственной экологической экспертизы, экологические требования к размещению, проектированию, реконструкции, вводу в эксплуатацию предприятий. Отдельные разделы закона посвящены особо охраняемым территориям и объектам; принципам экологического контроля, экологическому воспитанию, образованию и научным исследованиям; ответственности за экологические правонарушения; порядку возмещения причиненного вреда.

Экологическое законодательство включает ряд законов, направленных на защиту отдельных природных ресурсов от загрязнения, их рациональное использование и эксплуатацию. К ним, в частности, относятся земельный и водный законы, лесное законодательство, законодательство о недрах, об охране атмосферного воздуха, озонового слоя, растительного и животного мира, закон о государственной экологической экспертизе, а также законодательные акты о платежах за пользование природными ресурсами и санкции за нарушение правил природопользования.

Охране подлежат как вовлеченные в хозяйственный оборот, так и не используемые в данный период природные ресурсы, к которым относятся: климат, озоновый слой земли, атмосферный воздух, земля, ее недра и почвы, воды (поверхностные, подземные и почвенная влага), типичные и редкие ландшафты, а также иные компоненты экологических систем и биосфера.

Граждане Республики Беларусь и иные лица, проживающие на ее территории, согласно ст. 6 Закона «Об охране окружающей среды», обязаны беречь и охранять природу, рационально использовать ее богатства, соблюдать требования природоохранного законодательства, постоянно повышать экологическую культуру, содействовать экологическому воспитанию подрастающего поколения.

С целью оздоровления экологической обстановки в республике, сохранения и укрепления ее природно-ресурсного потенциала, эффективного и устойчивого социально-экономического развития в Беларуси реализуется «Программа

охраны окружающей среды», основным содержанием которой является решение следующих задач:

- ◆ последовательное осуществление экологизации всех звеньев общественного производства с поэтапным переводом промышленности на малоотходные технологии и комплексные безотходные производства;
- ◆ совершенствование механизма рационального природопользования, основанного на введении платы за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды;
- ◆ проведение независимых экологических экспертиз проектов строительства, расширения и реконструкции хозяйственных объектов;
- ◆ повышение экологической безопасности новой техники, технологий и материалов;
- ◆ предотвращение аварийных ситуаций;
- ◆ создание системы контроля за качеством природной среды (мониторинг);
- ◆ обеспечение полной гласности о состоянии окружающей среды, о результатах экологических экспертиз и об экологически опасных ситуациях;
- ◆ усиление правовой ответственности и экономических санкций за нарушение природоохранного законодательства и ответственности должностных лиц за сокрытие и искажение информации о состоянии здоровья населения и экологической обстановке;
- ◆ повышение уровня экологического образования и воспитания населения.

### **2.13.1. Контроль и надзор в области охраны окружающей среды**

Основной задачей контроля является обеспечение соблюдения субъектами хозяйствования и гражданами требований законодательства в области охраны окружающей среды.

Система контроля состоит из государственного, ведомственного, производственного и общественного контроля.

Государственный контроль осуществляют Госкомитет по экологии, Советы депутатов и другие специальные органы. Так, Главное управление метеорологии при Кабинете Министров контролирует радиационную обстановку в республике и ведет наблюдение за загрязнением окружающей среды. Ми-

нистерство лесного хозяйства осуществляет охрану лесных угодий. Главрыбвод контролирует соблюдение правил рыболовства и т.д.

Ведомственный контроль осуществляют министерства, государственные комитеты и ведомства с целью обеспечения выполнения подведомственными предприятиями и организациями планов и мероприятий по охране окружающей среды, природоохранного законодательства, предписаний Госкомитета по экологии и других государственных органов.

Производственный контроль осуществляется экологическими службами предприятий, организаций и других хозяйственных субъектов.

Общественный контроль осуществляется общественными организациями и трудовыми коллективами, которые проверяют соблюдение субъектами хозяйствования и гражданами природоохранного законодательства, а также выполнение мероприятий по охране, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов.

Высший надзор за соблюдением правовых норм в области экологии осуществляют три природоохранные прокуратуры – Белорусская, Могилевская и Гомельская.

### **2.13.2. Ответственность за экологические правонарушения**

Лица, виновные в нарушении экологического законодательства, привлекаются к административной, дисциплинарной, уголовной, материальной и другим видам ответственности.

***Административная ответственность*** заключается в наложении на виновных штрафов, предупреждений, запретов. Административными правонарушениями могут считаться: неиспользование земель; несоблюдение требований природоохранного режима их использования; нарушение правил землепользования в районах с радиоактивным загрязнением; порча земель; нарушение требований по охране недр; несоблюдение правил водопользования; незаконная порубка и повреждение деревьев и кустарников; сбор растений, занесенных в Красную книгу, и др.

***Дисциплинарная ответственность*** выражается в вынесении виновным выговоров, лишении премий, понижении в должности и т.п. Такая ответственность возлагается на лиц за

ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей, в результате чего природной среде наносится ущерб.

*Материальная, или имущественная, ответственность* состоит в возмещении ущерба, причиненного неправомерными действиями. Субъекты хозяйствования возмещают ущерб по специальным таксам или по решению суда по иску потерпевшей стороны.

*К уголовной ответственности* привлекаются субъекты, виновные в нанесении природной среде значительного ущерба, повлекшего гибель людей или особо крупные материальные потери (в том числе умышленное уничтожение либо повреждение особо охраняемых природных объектов и др.). К лицам, совершившим подобные преступления, могут применяться такие меры воздействия, как ограничение или лишение свободы, исправительные работы, конфискация имущества и др.

Юридические лица и граждане, причинившие вред окружающей среде, здоровью и имуществу граждан и другим юридическим лицам, обязаны возместить нанесенный материальный ущерб (добровольно или по решению суда) в полном объеме.

### **2.13.3. Мониторинг в области окружающей среды**

*Мониторинг* представляет собой сеть или систему наблюдения (контроля) за состоянием окружающей среды с целью оценки и разработки мероприятий по охране природной среды, рациональному использованию природных ресурсов, предупреждению критических ситуаций, вредных и опасных для здоровья людей, а также для прогноза состояния окружающей среды. Мониторинг позволяет своевременно оценить возможные изменения физических, химических и биологических процессов, уровень загрязнения атмосферного воздуха, почвы, водных и других природных ресурсов и объектов.

Мониторинг окружающей среды включает: регистрацию метеорологических и других природных явлений, видов загрязнения и их источников; контроль за соблюдением санитарно-гигиенических норм, оптимального количества сброса отходов; контроль за выполнением законов и постановлений, предусматривающих рациональное использование ресурсов, и др.

Таким образом, мониторинг предоставляет информацию, на основании которой разрабатываются меры по обеспечению защиты здоровья, благополучия и безопасности населения. Эта информация используется для рационального и эффек-

тивного управления состоянием окружающей природной среды и использования природных ресурсов.

Мониторинг может быть *локальным* (охватывает отдельные районы), *национальным* (отдельные государства), *многонациональным* (отдельные регионы, включающие несколько государств) и др.

Подсистемами мониторинга могут быть отдельные проблемы и аспекты охраны окружающей среды. Например, мониторинг природных ресурсов, мониторинг атмосферы, гидросфера, литосфера, всей биосфера и отдельных экологических систем.

#### **2.13.4. Экологическая экспертиза**

В Республике Беларусь действуют два вида экологической экспертизы – государственная и общественная.

*Государственная экологическая экспертиза* проводится с целью определения уровня экологической безопасности, которая может возникнуть в процессе осуществления хозяйственной и другой деятельности в настоящее время и в будущем и прямо или косвенно оказывать отрицательное воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения; оценки соответствия хозяйственной или другой деятельности, которая планируется и практикуется, требованиям природоохранного законодательства; определения достаточности и обоснованности мер по охране окружающей среды, предусматривающихся проектом.

Государственная экологическая экспертиза проводится государственными органами по экологии на основании принципов законности, научной обоснованности, комплексности, гласности с участием в необходимых случаях общественных и государственных организаций.

Реализация проектов, которые подлежат государственной экологической экспертизе, без подтверждающего заключения государственной экологической экспертизы запрещается и не подлежит финансированию. Государственной экологической экспертизе подлежат:

- ◆ предплановая, предпроектная и проектная документация по хозяйственной и другой деятельности, которая может оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье населения;
- ◆ проекты планов (программ), основных направлений, схем развития и расположения производительных сил и отраслей хозяйствования;

◆ действующие предприятия, комплексы и другие объекты, а также проекты и решения, внедрение или реализация которых может привести к нарушению норм экологической безопасности.

**Общественная экологическая экспертиза** осуществляется независимыми группами специалистов по инициативе общественных организаций, Советов депутатов и граждан. Она проводится независимо от государственной экологической экспертизы, а ее заключения (результаты) учитываются органами, осуществляющими государственную экспертизу.

### 2.13.5. Экологический аудит

**Экологический аудит** является объективной оценкой экологичности производства и оборудования. Его возникновение в конце XX в. (в США – 1970 г., в ЕС – 1993 г.) обусловлено увеличением экологических издержек на предприятиях и отраслях, являющихся основными источниками загрязнения окружающей среды (например, химической промышленности), а также возможным риском крупных компаний и банков при осуществлении широкомасштабных инвестиций, предоставлении кредита и при других рисковых операциях, связанных с расширением, модернизацией, приватизацией, реорганизацией предприятий, т.е. операциях, в которых желательно произвести оценку потенциальных рисков, связанных с охраной окружающей среды.

Объектами экологического аудита являются:

- ◆ имущество (земельные участки, природные объекты, здания и сооружения, машины и оборудование и др.);
- ◆ текущие операции предприятия (производственные, коммерческие и др.);
- ◆ система управления предприятием в чрезвычайных ситуациях;
- ◆ программа охраны окружающей среды и обеспечения безопасности трудового коллектива и др.

Проведение экологического аудита обычно является добровольным, однако когда деятельность того или иного предприятия явно угрожает окружающей среде и здоровью населения, то по решению исполнительной власти экологический аудит может быть проведен принудительно.

Экологический аудит рекомендуется проводить всем предприятиям с привлечением специалистов из местных экологических инспекций и общественных экологических организаций.

## **2.14. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ**

Решение глобальных экологических проблем возможно лишь при объединении усилий всего мирового сообщества, так как в их основе лежат процессы и явления планетарного масштаба. К таким глобальным экологическим проблемам относятся: предотвращение антропогенного изменения климата, охрана стрatosферного озонового слоя, борьба с трансграничным переносом загрязняющих веществ, сохранение биоразнообразия и др.

Формирование современной системы международного экологического сотрудничества осуществлялось в течение длительного времени, и на этом пути можно выделить следующие этапы.

Первый этап (1913–1948) характеризуется попытками объединения усилий различных стран в целях защиты природы в рамках международных конференций. Первая конференция такого рода, собравшая ученых из восемнадцати стран, состоялась в 1913 г. в Берне (Швейцария). В 1923 г. в Париже прошел I Международный конгресс по охране природы, а в 1928 г. в Брюсселе было открыто Международное бюро защиты природы. Однако на этом этапе усилия международной общественности носили информационный, дискуссионный характер и не пользовались поддержкой правительств, а значит, не привели к выработке каких-либо практических мер по охране окружающей среды.

Второй этап (1948–1968) связан с созданием Организации Объединенных Наций (ООН), которой в настоящее время принадлежит ведущая роль в международном экологическом сотрудничестве. В 1956 г. был создан Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) вместо Международного союза защиты природы.

Третий этап (1968–1992) характеризуется активизацией международного экологического сотрудничества, что было обусловлено негативными последствиями научно-технической революции. В 1968 г. сессия Генеральной ассамблеи ООН приняла резолюцию, установившую роль благоприятной окружающей среды для соблюдения основных прав человека. Важнейшим этапом в развитии экологической политики принято считать состоявшуюся в Стокгольме в 1972 г. Международную конференцию по окружающей среде. На

этой конференции был учрежден постоянно действующий орган ООН по охране окружающей среды ЮНЕП.

Четвертый этап начался с состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро Конференции ООН по окружающей среде и развитию. На этой конференции была разработана концепция устойчивого развития общества. Она предложила для подписания международные конвенции (договор, соглашение) об охране климатических ресурсов и о биологическом разнообразии.

Современная система международного экологического сотрудничества объединяет следующие основные направления:

- ◆ парламентское сотрудничество, состоящее в координации законодательной деятельности в области экологии;
- ◆ взаимодействие исполнительной власти государств по разработке и реализации экологических программ под эгидой ООН;
- ◆ регулирование природоохранной деятельности путем заключения договоров, соглашений и тому подобного, предполагающих единый подход разных стран к решению конкретных экологических проблем;
- ◆ научно-техническое сотрудничество, направленное на обмен научно-технической информацией, совместную реализацию природоохранных мероприятий, проектов, комплексное использование научных разработок, совместное осуществление экспертиз и т.п.;
- ◆ экологическое сотрудничество общественных организаций, деловых кругов, проведение международных экологических форумов и т.п.

Наиболее распространенной и действенной формой сотрудничества по вопросам охраны окружающей среды является заключение международных договоров и других соглашений.

Современное конвенционное регулирование направлено на предотвращение возможных последствий для окружающей среды опасных видов хозяйственной деятельности. С этой целью были подписаны следующие документы:

- ◆ Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979);
- ◆ Венская конвенция об охране озонового слоя (1985);
- ◆ Конвенция о помощи в случае ядерной войны или радиационной аварийной ситуации (1986);
- ◆ Конвенция о перевозке опасных грузов (1989);

♦ Монреальский протокол о веществах, разрушающих озоновый слой (1987); оценивается как важнейшее достижение международного сообщества, имеющее исключительное значение для экологии.

Эффективной формой международного сотрудничества является создание и деятельность межправительственных специализированных учреждений при ООН в области охраны окружающей среды.

Центральным учреждением ООН, обеспечивающим комплексный подход к решению многочисленных задач по сохранению биосферы, является ЮНЕП – программа ООН по окружающей среде.

В 1992 г. состоялась вторая Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро).

В отличие от Стокгольмской конференции (1972), принявшей ряд рекомендательных документов в области охраны окружающей среды, конференция в Рио-де-Жанейро приняла документы законодательного характера, согласно которым каждое государство (участник конференции) должно отрегулировать свое национальное законодательство в соответствии с принятой мировым сообществом концепцией устойчивого человеческого развития. Суть ее состоит в создании такой модели социально-экономического развития, при которой удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей достигается без лишения такой возможности будущих поколений.

Главными условиями устойчивого развития общества являются:

- ♦ приоритетность качественных показателей (качества жизни) перед количественными (численностью, потреблением);
- ♦ сохранение биологического и культурного разнообразия;
- ♦ согласование природопользования с эволюционной периодичностью природных процессов.

Модель устойчивого развития мировой системы основывается на количественной связи между биосферой, человечеством и введением механизма глобального управления. Таким образом, устойчивое развитие общества, мировой системы, отдельных стран мира – это оптимально управляемое развитие на основе высших достижений современной науки

и устойчивой биосфера, нацеленное на сохранение и совершенствование человека.

Таким образом, если первая Конференция ООН (1972) положила начало интенсивному изучению взаимодействия биосфера и человечества, то вторая (1992) подвела первые итоги и приняла ряд очень важных документов по окружающей среде, развитию и управлению.

С решением глобальных экологических проблем связана деятельность международных общественных партий, организаций, групп, движения «зеленых» (экологистов) и др. Самой известной в настоящее время является экологическая организация «ГринПис» («Зеленый мир»), главное направление деятельности которой – борьба с радиоактивным загрязнением биосфера.

Основной международной неправительственной организацией является Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП), учрежденный под эгидой ЮНЕСКО в Фонтенбло (Франция, 1948). По инициативе МСОП была создана Красная книга о состоянии популяций редких и исчезающих видов млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий. В настоящее время составляется Зеленая книга, содержащая сведения об уникальных и редких ландшафтах земного шара.

Важную роль в реализации международных соглашений и программ по оздоровлению окружающей среды играют международные финансовые организации – Международный банк реконструкции и развития (МБРР), Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), Всемирный банк (ВБ), которые определили охрану окружающей среды в качестве одной из основных задач своей деятельности.

Так, ЕБРР в качестве приоритетных направлений своей деятельности определил следующее:

- ◆ оказание материальной помощи странам по формированию экологической политики, включая разработку эффективных правовых и нормативных документов, а также подготовку кадров для обеспечения мониторинга и соблюдения стандартов;
- ◆ содействие применению рыночных методов в управлении национальными экологическими программами;
- ◆ поощрение развития в странах рынка экологических товаров и услуг, а также инвестиции в проекты по сохранению и улучшению окружающей среды;

◆ организация и поддержка специальных исследований и программ по экологическому образованию населения, предпринимателей, банкиров и т.п.;

◆ проведение процедур, связанных с экологической оценкой, планированием, управлением, аудированием и мониторингом операций и проектов банка.

Перспективы международного сотрудничества в охране природы неразрывно связаны с процессами глобализации, в контексте которых решение глобальных экологических проблем немыслимо без широкого взаимного обмена не только информацией, но и природосберегающими технологиями.

# ГЛАВА || ОХРАНА 3 ТРУДА

---

## 3.1. ПРЕДМЕТ ОХРАНЫ ТРУДА

Одной из основных форм деятельности человека является трудовой процесс, осуществляющийся в производственных условиях. В процессе труда работающие взаимодействуют с различными элементами производственной среды, такими как предметы и орудия труда, средства производства, продукты труда. Важное значение имеет уровень организации производства, состояние воздушной среды и др.

Отличительной особенностью производственной деятельности является то, что работающие преимущественно подвергаются техногенным опасностям и вредностям, т.е. опасностям и вредностям, непосредственно связанным с природой технологических процессов, оборудования, технических устройств.

Зашита работающих от производственных опасностей и вредностей, обеспечение безопасных и безвредных условий труда является одной из острейших социально-экономических проблем мирового сообщества. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в экономически развитых странах ежегодно несчастные случаи на производстве составляют 4–7%. Около 10% населения в развитых странах страдает нервно-психическими заболеваниями, обусловленными ростом интенсификации производства.

Сокращение производственного травматизма, общей и профессиональной заболеваемости работающих до приемлемого (допустимого) уровня риска является целью охраны труда, а ее предметом – исследование опасностей и вредностей, выявление их источников, оценка количественных и качественных характеристик и разработка принципов, методов и средств для достижения указанной цели.

Для снижения травматизма и заболеваемости в охране труда используется система правовых и соответствующих им социально-экономических, санитарно-гигиенических, инженерно-технических, организационных и других мероприятий.

## **3.2. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА**

### **3.2.1. Законодательные и нормативные акты**

Правовой основой охраны труда является совокупность государственных мероприятий, закрепленных в правовых нормах (законах и подзаконных актах) и осуществляемых в целях улучшения условий труда и быта людей, сокращения производственного травматизма, общих и профессиональных заболеваний.

Основной юридической базой трудового законодательства является Конституция. Она обладает наивысшей юридической силой.

Конституция Республики Беларусь содержит ряд принципиальных положений (право на труд, отдых, на материальное обеспечение и т.п.), получивших развитие в конкретных правовых нормах.

Важнейшие положения по охране труда закреплены в трудовом законодательстве, включающем в себя Трудовой кодекс и Закон «Об охране труда», в котором указывается, что государственная политика в области охраны труда Республики Беларусь направлена на обеспечение приоритета жизни и здоровья граждан.

Проектирование, строительство и реконструкция производственных зданий и сооружений, разработка средств производства, внедрение новой техники и технологий, в том числе приобретенных за границей, которые не соответствуют требованиям охраны труда, запрещается.

Согласно закону проекты строящихся и реконструируемых предприятий и производств подлежат обязательной экспертизе на соответствие их требованиям охраны труда.

Опытные виды оборудования и технологии подлежат государственным испытаниям на соответствие требованиям охраны труда.

Машины, механизмы, технологические линии и другие средства производства не могут быть приняты в эксплуатацию без наличия сертификата (свидетельства) безопасности.

Производство работ и эксплуатация средств производства, использование сырья и материалов, которые не отвечают требованиям охраны труда и создают угрозу жизни и здоровью работников, подлежат приостановке государственными

органами надзора и контроля до приведения их в соответствие с требованиями охраны труда.

Ряд положений по охране труда отражен в нормативных документах (нормы, правила, решения и постановления местных органов власти, приказы и инструкции министерств, ведомств) и других подзаконных актах и стандартах.

По сфере действия подзаконные акты, нормы и правила подразделяются на общие (единые), межотраслевые и отраслевые.

Нормы и правила конкретизируют требования безопасности. На их основании нанимателем с участием профсоюзов разрабатываются и утверждаются инструкции по охране труда (технике безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности), обязательные для рабочих и служащих, устанавливающие правила выполнения работ и поведения в производственных помещениях и на промышленных площадках. Работники обязаны также соблюдать установленные требования обращения с машинами и механизмами.

Министерствами, государственными комитетами, ведомствами с участием республиканских органов профсоюзов, а в необходимых случаях и с соответствующими органами государственного надзора могут утверждаться типовые инструкции по охране труда для работников основных профессий.

Систематизированное изложение норм безопасности приводится в Системе стандартов безопасности труда (ССБТ), комплексе взаимосвязанных стандартов, направленных на упорядочение и повышение технического уровня нормативно-технических документов по обеспечению безопасности. ССБТ представляет собой свод норм и правил в области безопасности труда.

Стандарты безопасности, гигиенические нормы, санитарные нормы и правила устанавливают требования и нормы безопасности по видам опасных и вредных производственных факторов, общие требования безопасности к производственному оборудованию, производственным процессам, средствам защиты работающих и методам оценки безопасности труда.

### **3.2.2. Надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде**

Надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде осуществляют:

- ♦ специально уполномоченные государственные органы и инспекции, в том числе Государственная инспекция по труду и социальной защите населения;
- ♦ местные, исполнительные и распорядительные органы власти;
- ♦ министерства, государственные комитеты и ведомства в отношении подчиненных им предприятий, организаций;
- ♦ Генеральный прокурор и подчиненные ему прокуроры.

Общественный контроль за соблюдением законодательства о труде имеют право осуществлять профсоюзы. Государственный орган или наниматель обязан рассмотреть представление профсоюза об устраниении нарушений законодательства о труде и в течение месяца уведомить профсоюз о результатах рассмотрения.

Постоянный контроль за соблюдением работниками всех требований инструкций по охране труда возлагается на нанимателя. Должностные лица, виновные в нарушении законодательства о труде, в невыполнении обязательств по коллективным договорам и соглашениям по охране труда, несут дисциплинарную (замечание, выговор, строгий выговор, перевод на нижеоплачиваемую должность), административную (штрафы), материальную и уголовную ответственность.

### **3.2.3. Организация охраны труда на производстве**

Обеспечение здоровых и безопасных условий труда осуществляется с помощью системы управления охраной труда, представляющей собой подготовку, принятие и реализацию решений по осуществлению организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий.

Объектом управления охраной труда является деятельность производственных подразделений и служб предприятия. Органами управления охраной труда являются службы главного инженера и руководителей структурных подразделений всех уровней.

Организационно-методическую работу по управлению охраной труда, подготовку управленческих решений и контроль за их выполнением осуществляет служба (группа инженеров, отдел, бюро) охраны труда, непосредственно подчиняющаяся главному инженеру.

Правовой и нормативной основой системы управления охраной труда являются законодательство о труде, постановления и распоряжения директивных органов, нормы, правила, положения, инструкции, стандарты и другие документы по охране труда.

Управление охраной труда включает в себя решение задач, позволяющих администрации (нанимателю) реализовать свои обязанности по обеспечению требований охраны труда в соответствии с законодательством.

**Обязанности администрации в области охраны труда.** Согласно Трудовому кодексу наниматель обязан создавать работникам предприятий, учреждений и организаций здоровые и безопасные условия труда, внедрять новейшие средства и технологии, обеспечивающие соблюдение норм и правил по охране труда.

Требованиям, обеспечивающим здоровые и безопасные условия труда, должны отвечать производственные здания, сооружения, оборудование и технологические процессы. Эти требования включают рациональное использование территории и производственных помещений, правильную эксплуатацию оборудования и организацию технологических процессов, защиту работающих от воздействия опасных и вредных факторов, устройство санитарно-бытовых помещений.

Ни одно предприятие, цех, участок, производство не может быть принято и введено в эксплуатацию, если на них не обеспечены здоровые и безопасные условия труда, и ни один образец новой машины, механизма и другого производственного оборудования не может быть передан в производство, если он не отвечает требованиям охраны труда.

Администрация (наниматель) с участием профсоюзов, а также представителей других органов обязана своевременно и правильно проводить расследование и учет несчастных случаев на производстве.

На основе материалов расследования и учета несчастных случаев наниматель обязан своевременно принимать необходимые меры для устранения причин, вызывающих несчастные случаи.

Средства и необходимые материалы для проведения мероприятий по охране труда расходовать на другие цели запрещается.

Порядок использования указанных средств и материалов определяется в коллективных договорах или соглашениях по

охране труда, которые заключаются администрацией предприятия и профсоюзным комитетом, выступающим от имени трудового коллектива предприятия.

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, проводимых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам выдаются бесплатно по установленным нормам специальная одежда, обувь и другие средства индивидуальной защиты.

Администрация (наниматель) обязана обеспечивать хранение, стирку, дезинфекцию, дегазацию, дезактивацию и ремонт выданных работникам специальной одежды, обуви и других средств индивидуальной защиты.

На работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам мыло, моющие средства. На работах с особо вредными условиями труда работающие должны обеспечиваться лечебно-профилактическим питанием. Работники горячих цехов должны обеспечиваться газированной соленой водой.

При выполнении работ в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях администрация обязана предоставить обогреваемое помещение для отдыха работников.

При поступлении на работу, связанную с вредными и опасными условиями труда, обязательно предварительное прохождение медицинского осмотра. Работники, занятые на тяжелых работах, периодически проходят медицинские осмотры (лица в возрасте до 21 года – ежегодно) для определения их пригодности к поручаемой работе и предупреждения профессиональных заболеваний.

Работников, ожидающих по состоянию здоровья в предоставлении более легкой работы, администрация обязана перевести на такую работу с сохранением прежнего среднего заработка в течение двух недель со дня перевода.

Работникам, временно переведенным на нижеоплачиваемую работу в связи с увечьем или иным повреждением здоровья, связанным с работой, наниматели, ответственные за нанесенный здоровью вред, выплачивают разницу между прежним заработком и новым. Такая разница выплачивается до восстановления трудоспособности либо установления стойкой утраты трудоспособности или инвалидности.

Работники, заболевшие на месте работы, перевозятся в лечебные учреждения транспортными средствами или за счет начальника.

Наниматели несут материальную ответственность за ущерб, причиненный работникам повреждением здоровья, связанным с исполнением ими своих трудовых обязанностей.

**Инструктаж и обучение по вопросам безопасности.** По вопросам безопасности должны проводиться следующие виды инструктажей: вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой.

**Вводный инструктаж** проводится для всех вновь поступающих на предприятие рабочих, инженерно-технических работников, служащих, командированных, учащихся для прохождения практики.

**Первичный инструктаж** проводится непосредственно на рабочем месте для всех принятых рабочих и инженерно-технических работников, а также переведенных с другого участка, с одной работы на другую, с одного вида оборудования на другой (и при временном переводе). О проведении инструктажа делается отметка в контрольном листе с расписью инструктируемого.

**Повторный инструктаж** проводится один раз в 6 месяцев по программе инструктажа на рабочем месте. О проведении повторного инструктажа инструктирующий делает запись в журнале учета проведения инструктажей со своей подписью и подписью получившего инструктаж.

**Внеплановый инструктаж** проводится в следующих случаях:

- ◆ при изменении правил по охране труда;
- ◆ изменении технологического процесса;
- ◆ замене и модернизации оборудования, средств защиты и т.п.;
- ◆ нарушении работниками правил, а также после длительного перерыва в работе.

О проведении внепланового инструктажа делается запись в журнале учета инструктажей с отметкой о причине его проведения и подписями проводившего и получившего инструктаж.

**Целевой инструктаж** проводится с работниками перед производством работ, на которые оформляется наряд-допуск; его проведение фиксируют в наряде-допуске. Целевой инструктаж проводится при выполнении разовых работ (погрузочно-разгрузочные, сельскохозяйственные, работы по ликвидации аварий, катастроф и т.п.).

К проведению работ на оборудовании повышенной опасности допускается персонал, прошедший специальное обучение и проверку знаний в области безопасности с выдачей удостоверения на право допуска к таким работам и оборудованию.

Руководители и специалисты проходят проверку знаний по охране труда не позднее чем через месяц после поступления на работу или вступления в должность.

Переаттестацию по технике безопасности административно-технический персонал проходит не реже одного раза в три года.

### **3.2.4. Расследование и учет несчастных случаев на производстве**

Расследованию подлежат несчастные случаи, произошедшие:

- ◆ на территории предприятия (учреждения), т.е. нанимателя, или в ином месте при условии, что потерпевший совершил там действия в интересах нанимателя;

- ◆ при следовании к месту работы или с работы на транспорте, предоставленном нанимателем;

- ◆ на личном транспорте, используемом в интересах нанимателя с его согласия или по его распоряжению (поручению);

- ◆ на транспорте общего пользования или ином транспорте, а также при следовании пешком при передвижении между объектами обслуживания либо выполнении поручения нанимателя;

- ◆ при следовании на транспортном средстве в качестве сменщика во время междусменного отдыха (водитель-сменщик, проводник и т.п.);

- ◆ при выполнении работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий;

- ◆ при участии в общественных работах безработных граждан, зарегистрированных в государственной службе занятости.

Хронические и острые профессиональные заболевания (отравления) расследуются специалистами системы здравоохранения.

**Организация расследования несчастного случая.** При несчастном случае на производстве работающие обязаны принять меры по предотвращению воздействия травмирующих факторов.

на потерпевшего, оказать потерпевшему первую помощь, вызвать на место происшествия медицинских работников или обеспечить доставку потерпевшего в учреждение здравоохранения, сообщить о происшествии руководителю работ (структурного подразделения) или иному должностному лицу. Руководитель работ (структурного подразделения) или иное должностное лицо обязан:

- ◆ немедленно организовать оказание первой помощи потерпевшему, вызвать медицинских работников на место происшествия либо доставить потерпевшего в организацию здравоохранения;
- ◆ принять неотложные меры по предотвращению развития аварийной ситуации и воздействия травмирующих факторов;
- ◆ обеспечить до начала расследования сохранение обстановки, какой она была на момент несчастного случая, а если это угрожает жизни и здоровью работников, других лиц и может привести к аварии, – фиксирование обстановки;
- ◆ сообщить нанимателю о произошедшем несчастном случае.

Наниматель, получив сообщение о несчастном случае, обязан:

- ◆ направить в течение суток в организацию здравоохранения запрос о тяжести травмы потерпевшего;
- ◆ информировать о несчастном случае на производстве родственников потерпевшего и профсоюз (иной представительный орган работников);
- ◆ обеспечить расследование несчастного случая на производстве и его учет.

Наниматель, у которого произошел несчастный случай с работником другого нанимателя, в течение суток должен сообщить о происшествии нанимателю потерпевшего.

Наниматель обеспечивает лицам, занятым расследованием несчастного случая на производстве (профессионального заболевания), необходимые условия для работы: предоставляет помещение, транспорт, средства связи, специальную одежду, специальную обувь, другие средства индивидуальной защиты; оплачивает расходы, связанные с проведением расследования несчастного случая на производстве или профессионального заболевания; организует оформление и учет несчаст-

нного случая на производстве, профессионального заболевания, а также разработку и реализацию мероприятий по их профилактике.

При специальном расследовании группового несчастного случая, несчастного случая со смертельным исходом, несчастного случая с тяжелым исходом или профессионального заболевания наниматель издает приказ (распоряжение) о выполнении мероприятий по устранению причин несчастного случая (профессионального заболевания), привлечении к ответственности лиц, допустивших нарушения законодательства о труде и охране труда.

О выполнении мероприятий по устранению причин несчастного случая (профессионального заболевания) наниматель сообщает органам, проводившим специальное расследование.

Контроль за правильным и своевременным расследованием, оформлением и учетом несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также выполнением мероприятий по устранению их причин осуществляют республиканские органы государственного управления и иные государственные организации. Потерпевший или лицо, представляющее интересы потерпевшего, вправе ознакомиться с документами расследования несчастного случая (профессионального заболевания) и получить их копии.

**Порядок расследования несчастных случаев на производстве.** Расследование несчастных случаев на производстве (кроме групповых, со смертельным исходом, тяжелым исходом) проводится уполномоченным должностным лицом нанимателя с участием уполномоченного представителя профсоюза (иного представительного органа работников), специалиста по охране труда или другого специалиста, на которого возложены эти обязанности (заместителя руководителя, ответственного за организацию охраны труда). При необходимости для участия в расследовании могут приглашаться соответствующие специалисты иных организаций.

Расследование несчастного случая должно быть проведено не более чем за три рабочих дня. В указанный срок не включается время, необходимое для проведения экспертиз, получения заключений специализированных органов и других документов.

При расследовании несчастного случая проводится обследование состояния условий труда на месте происшествия.

После завершения расследования уполномоченное должностное лицо нанимателя с участием указанных лиц оформляет акт о несчастном случае на производстве формы Н-1 в трех экземплярах. Если на основании документов установлено, что несчастный случай произошел при совершении потерпевшим проступка, содержащего признаки уголовно наказуемого деяния либо административного правонарушения, в результате умышленных действий по причинению вреда своему здоровью либо обусловлен исключительно состоянием здоровья потерпевшего, то такой случай оформляется актом о непроизводственном несчастном случае (происшествии) формы НП в трех экземплярах. К несчастным случаям, обусловленным исключительно состоянием здоровья потерпевшего, на основании заключения организации здравоохранения, судебно-медицинской экспертизы могут быть отнесены случаи, вызванные: судорожными расстройствами сознания, острым психическим расстройством (реактивный невроз, стресс, острый психоз) потерпевшего, эпилепсией, инфарктом миокарда, инсультом и другими внезапно возникшими состояниями, связанными с расстройством координации движения и отсутствием способности контролировать свое поведение.

Решение об оформлении таких случаев (происшествий) актом формы НП принимается в том случае, если в ходе расследования не будут выявлены организационные, технические, санитарно-гигиенические, психофизиологические и иные причины, а также факторы производственной среды и трудового процесса, оказавшие влияние на состояние здоровья потерпевшего.

Акты формы Н-1 или НП с прилагаемыми к одному из экземпляров акта протоколами опросов, объяснениями потерпевшего, свидетелей, должностных лиц, планами, схемами, фотоснимками, медицинскими заключениями и другими документами, характеризующими место, где произошел несчастный случай, с указанием допущенных нарушений требований законодательства о труде и охране труда, нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных нормативных актов направляются нанимателю для рассмотрения и утверждения.

Наниматель в течение двух рабочих дней после окончания расследования обязан рассмотреть документы расследования, утвердить акт формы Н-1 или формы НП и зарегистрировать

его в журнале регистрации несчастных случаев на производстве или в журнале регистрации непроизводственных случаев.

По одному экземпляру акта формы Н-1 или НП в трехдневный срок после их утверждения наниматель направляет потерпевшему или лицу, представляющему его интересы, государственному инспектору труда, специалисту по охране труда или специалисту, на которого возложены его обязанности (заместителю руководителя, ответственного за организацию охраны труда), с документами расследования. Наниматель в этот же срок направляет копии акта формы Н-1 или НП руководителю подразделения, где работает либо работал потерпевший, профсоюзу (иному представительному органу работников), органу государственного специализированного надзора, если случай произошел на подконтрольном ему предприятии (объекте), вышестоящей организации (по ее требованию).

Акт формы Н-1 или НП с документами расследования хранится в течение 45 лет у нанимателя, у которого взят на учет несчастный случай.

При прекращении деятельности нанимателя акты формы Н-1 или НП с документами расследования передаются право-преемнику, а при его отсутствии — в государственный архив для дальнейшего хранения.

Несчастный случай на производстве, который не вызвал у потерпевшего потерю трудоспособности или необходимость перевода на другую (более легкую) работу, учитывается нанимателем в журнале учета микротравм.

Несчастный случай с работником, направленным нанимателем для выполнения его задания либо для исполнения должностных обязанностей к другому нанимателю, расследуется нанимателем, у которого произошел несчастный случай, с участием уполномоченного представителя нанимателя, направившего работника.

**Специальное расследование несчастных случаев на производстве.** Специальному расследованию подлежат групповые несчастные случаи, произошедшие одновременно с двумя и более работниками, независимо от тяжести полученных травм; несчастные случаи со смертельным исходом; несчастные случаи с тяжелым исходом.

Тяжесть производственных травм определяется организациями здравоохранения в соответствии с нормативными правовыми актами Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

О групповом несчастном случае, несчастном случае со смертельным исходом наниматель немедленно сообщает прокуратуре по месту, где произошел несчастный случай; территориальному структурному подразделению Департамента государственной инспекции труда; профсоюзу (ам) (иному представительному органу работников); вышестоящей организации, а при ее отсутствии – местному исполнительному и распорядительному органу, где зарегистрирован наниматель; организации, направившей работника к нанимателью; территориальному органу государственного специализированного надзора, если несчастный случай произошел в организации (на объекте), подконтрольном этому органу.

О несчастных случаях с тяжелым исходом наниматель информирует указанные органы после получения заключения организации здравоохранения о степени тяжести травмы потерпевшего.

О несчастном случае, при котором погибло два или более работника, главный государственный инспектор труда Республики Беларусь сообщает Правительству Республики Беларусь. Если такой случай произошел в организации (на объекте), подконтрольном органу государственного специализированного надзора, то об этом Правительству Республики Беларусь сообщает также руководитель указанного органа.

Территориальное структурное подразделение Департамента государственной инспекции труда, орган государственного специализированного надзора после получения сообщения о несчастном случае, подлежащем специальному расследованию, направляют своих представителей на место происшествия.

Специальное расследование несчастного случая проводит государственный инспектор труда с участием уполномоченного должностного лица нанимателя, представителя профсоюза (иного представительного органа работников), вышестоящей организации (местного исполнительного и распорядительного органа).

Специальное расследование группового несчастного случая, при котором погибло два-четыре человека, проводится главным образом государственным инспектором труда области (города Минска) с участием лиц, указанных выше.

Расследование несчастного случая, при котором погибли пять и более человек (если по этому поводу не было специального решения Правительства), проводится главным государственным инспектором труда Республики Беларусь.

Специальное расследование проводится (включая оформление и рассылку документов) в срок не более 14 дней со дня получения сообщения о происшествии. Указанный срок может быть продлен главным государственным инспектором труда области до 28 рабочих дней и более.

По результатам специального расследования государственным инспектором труда составляется и подписывается заключение о несчастном случае. Лица, участвующие в расследовании, удостоверяют свое участие в расследовании подписями на заключении. При несогласии с содержанием заключения указанные лица излагают свое особое мнение по данному вопросу, которое прилагается к документам расследования. В соответствии с заключением наниматель в течение суток составляет акты формы Н-1 или НП на каждого потерпевшего и утверждает их.

Документы специального расследования включают:

- ◆ заключение государственного инспектора труда органа государственного специализированного надзора или государственного инспектора труда о несчастном случае с приложением к нему копии актов формы Н-1 или НП на каждого потерпевшего;
- ◆ протокол осмотра места происшествия несчастного случая;
- ◆ планы, схемы (эскизы) и фотоснимки места происшествия;
- ◆ протоколы опросов, объяснения потерпевшего, свидетелей, работников, должностных и иных лиц;
- ◆ копии выписки документов о прохождении потерпевшим обучения, инструктажей и проверки знаний по вопросам охраны труда, медицинских осмотров; о получении специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты;
- ◆ медицинские заключения о характере и тяжести травмы, причинах смерти потерпевшего, а также о нахождении потерпевшего в состоянии алкогольного или токсического опьянения и др.

### **3.2.5. Методы изучения и анализ причин производственного травматизма**

Основными задачами анализа травматизма являются выявление причин и повторяемости несчастных случаев; уста-

новление наиболее опасных видов работ; определение факторов, влияющих на несчастные случаи, и др.

При анализе причин производственного травматизма могут использоваться различные методы, основанные на материалах статистики (собственно статистический, групповой, топографический, экономический и др.), и методы, основанные на результатах технического обследования (лабораторный (или технический), монографический и др.).

*Статистический метод* основан на изучении причин травматизма по актам формы Н-1 за определенный период времени. Этот метод позволяет определить динамику травматизма, выявить закономерности и связи между обстоятельствами и причинами возникновения несчастных случаев.

Для оценки уровня травматизма используются относительные статистические показатели (коэффициенты) частоты, тяжести и коэффициент общего травматизма на предприятии.

Коэффициент частоты травматизма  $K_q$  определяется числом несчастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный календарный период (год, квартал):

$$K_q = \frac{T}{P} \cdot 1000,$$

где  $T$  – число несчастных случаев за конкретный период;  $P$  – среднесписочное число работающих.

Коэффициент тяжести травматизма  $K_t$  характеризует среднюю длительность нетрудоспособности, приходящуюся на один несчастный случай:

$$K_t = \frac{D}{T},$$

где  $D$  – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям.

Коэффициент общего травматизма на предприятии  $K_{общ}$ , характеризующий количество дней нетрудоспособности, которые теряют каждые 1000 работников за отчетный период, рассчитывается по формуле

$$K_{общ} = K_q \cdot K_t = \frac{D}{P} \cdot 1000.$$

*Групповой метод* анализа позволяет распределить несчастные случаи по видам работ, опасным и вредным производственным факторам, сведениям о пострадавших (возраст, пол, стаж работы и т.п.), данным о времени происшествия (месяц, день, смена, час рабочего дня).

*Топографический метод* состоит в изучении причин несчастных случаев по месту их происшествия на предприятии. При этом все несчастные случаи систематически наносятся условными знаками на планы предприятия или цехов (отделов), в результате чего образуется топограмма, на которой глядно видны рабочие участки и места с повышенной травмоопасностью.

*Экономический метод* заключается в определении потерь, вызванных производственным травматизмом, и в оценке социально-экономической эффективности мероприятий по предупреждению несчастных случаев.

*Монографический метод* изучения травматизма состоит в детальном исследовании всего комплекса условий труда, где произошел несчастный случай, — технологического процесса, рабочего места, оборудования, средств защиты и др. При этом широко применяются *технические (лабораторные)* способы и средства исследования.

Монографический метод позволяет выявить не только истинные причины произошедших несчастных случаев, но и причины, которые могут привести к травматизму, т.е. прогнозировать уровень травматизма на том или ином производстве.

### **3.3. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Техника безопасности* — это система организационных и технических мероприятий, технических способов и средств, обеспечивающих с определенной вероятностью (достаточным уровнем риска) защиту персонала преимущественно от опасных производственных факторов, приводящих к травмированию и гибели работающих.

В задачи техники безопасности входит выявление потенциальных опасностей и их источников, количественная и качественная оценка этих опасностей и разработка комплекса мер по обеспечению безопасности работающих с целью сокращения производственного травматизма и гибели людей в результате несчастных случаев, аварий, катастроф и т.д.

### **3.3.1. Основные причины несчастных случаев на производстве**

Причины несчастных случаев на производстве условно можно разделить на организационные, технологические, санитарно-гигиенические и психофизиологические.

*Организационные причины* включают низкий уровень образования, профессиональной подготовки работника, отсутствие достаточного опыта и навыков в работе, пренебрежение требованиями безопасности, недисциплинированность, безответственность (нарушение инструкций, технических указаний, правил эксплуатации и т.п.).

*Технологические причины* – это низкий технический уровень оборудования и технологий, несоответствие их характеристик мировым стандартам, неисправность оборудования и нарушение технологических процессов, низкий уровень эффективности защитных мер, неисправность средств защиты и приспособлений.

*Санитарно-гигиенические причины* включают несоответствие требованиям санитарных норм (правил, стандартов), характеристик производственной среды (освещение, микроклимат, шумы, вибрация, различные излучения и т.п.). Эти причины способствуют более быстрому снижению работоспособности, ведут к утомлению и как следствие – нарушению координации движения, снижению внимания и повышению вероятности травмирования.

*Психофизиологические причины* – это физические и нервно-психические перегрузки, состояние утомления и другие психические состояния, возникающие в результате внешних воздействий и способствующие утомлению.

### **3.3.2. Защита от поражения электрическим током**

Современное производство немыслимо без широкого использования электрической энергии. Повышенная производительность труда и культуру производства, электрический ток в то же время представляет большую опасность для жизни и здоровья людей. В отличие от других опасностей электрический ток невозможно обнаружить дистанционно, без приборов.

Поражение человека электрическим током возможно при замыкании электрической цепи через его тело, что может иметь место при соприкосновении человека с сетью не менее

чем в двух точках (например, при двухфазном включении в сеть; однофазном включении в сеть, стоя на земле или касаясь каких-либо заземленных конструкций; при контакте с нетоковедущими частями оборудования, случайно оказавшимися под напряжением из-за нарушения изоляции проводов электропитания оборудования или электрифицированного инструмента и др.).

*Защита от поражения электрическим током, или электробезопасность*, включает систему организационных и технических мероприятий, технических способов и средств, обеспечивающих безопасные условия труда работающих с технологическим оборудованием и ручным инструментом, в котором используется электрическая энергия, с целью сокращения электротравматизма до приемлемого (и ниже) уровня риска.

Статистика несчастных случаев по причинам электропоражения показывает, что общее число травм, вызванных электрическим током, с потерей трудоспособности, невелико и составляет приблизительно 0,5–1,0% (в энергетике 3–3,5%) от общей численности несчастных случаев на производстве. Однако такие случаи со смертельным исходом на производстве составляют 30–40%, а в энергетике до 60%. Согласно статистике, 75–80% смертельных поражений электрическим током происходит в установках, электропитание которых осуществляется напряжением 380/220 и 220/127 В.

*Действие электрического тока на организм человека*. Пройдя через организм, электрический ток может вызывать термическое, электролитическое и биологическое действие.

*Термическое действие* выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов и нервных волокон.

*Электролитическое действие* выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов.

*Биологическое действие* проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным судорожным сокращением мышц, в том числе мышц сердца и легких. В результате в организме могут возникнуть различные нарушения, в том числе полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Раздражающее действие тока на ткани может быть *прямым*, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и

*рефлекторным*, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих органов.

Действие электрического тока приводит к двум видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

*Электрические травмы* – это четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги (электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения).

*Электрический удар* – это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц.

Различают четыре степени электрических ударов:

- ◆ I степень – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- ◆ II степень – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;
- ◆ III степень – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);
- ◆ IV степень – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение дыхания и электрический шок.

Остановка сердца или его фибрилляция, т.е. быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон (фибрилл) сердечной мышцы, при которых сердце перестает работать как насос, в результате чего в организме прекращается кровообращение, может наступить при прямом или рефлекторном действии электрического тока.

*Прекращение дыхания* как первопричина смерти от электрического тока вызывается непосредственным или рефлекторным воздействием тока на мышцы грудной клетки, участвующие в процессе дыхания; в результате наступает асфиксия (удушье по причине недостатка кислорода и избытка углекислоты в организме).

*Электрический шок* – это тяжелая реакция организма в ответ на сильное электрическое раздражение, сопровождающаяся опасными расстройствами кровообращения, дыхания,

обмена веществ и т.п. Такое состояние может продолжаться от нескольких минут до суток.

**Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.** Исход воздействия электрического тока на организм человека зависит от ряда факторов, основными из которых являются: величина электрического тока; величина напряжения, действующего на организм; электрическое сопротивление тела человека; длительность действия тока на организм; род и частота тока; путь протекания тока в теле; психофизиологическое состояние организма, его индивидуальные свойства; состояние и характеристика окружающей среды (производственного помещения) – температура, влажность, загазованность и запыленность воздуха и др.

**Меры первой помощи пострадавшим от действия электрического тока.** Первая доврачебная помощь при несчастных случаях от поражения электрическим током состоит из двух этапов:

- ◆ освобождение пострадавшего от действия тока;
- ◆ оказание пострадавшему медицинской помощи.

Так как исход поражения зависит от длительности действия тока, важно быстрее прекратить его дальнейшее действие. Очень важно также быстрее начать оказание пострадавшему медицинской помощи, так как период клинической смерти продолжается не более 7–8 мин. Заключение о смерти пострадавшего может вынести только врач.

При невозможности быстрого отключения установки необходимо отделить пострадавшего от токоведущих частей, которых он касается. При этом оказывающий помощь должен принять меры, чтобы самому не оказаться в контакте с токоведущей частью или телом пострадавшего.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего после освобождения его от действия тока. Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в обмороке, его следует уложить на подстилку и до прибытия врача обеспечить полный покой и наблюдать за пульсом и дыханием.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием и пульсом, то его следует уложить на подстилку, обеспечить приток свежего воздуха, поднести к носу вату, смоченную нацатырным спиртом, обрызгивать лицо холодной водой.

При плохом дыхании пострадавшего (очень редко, судорожно) необходимо делать искусственное дыхание и массаж сердца.

Если у пострадавшего отсутствуют признаки жизни (дыхание и пульс), значит, он в состоянии клинической смерти и необходимо немедленно приступить к его реанимированию, т.е. делать искусственное дыхание и массаж сердца.

Искусственное дыхание выполняется с целью насыщения крови кислородом, необходимым для функционирования всех органов и систем. Кроме того, искусственное дыхание вызывает рефлекторное возбуждение дыхательного центра головного мозга, что обеспечивает восстановление самостоятельного (естественному) дыхания пострадавшего.

Наиболее эффективным из ручных способов искусственного дыхания является способ «изо рта в рот (или в нос)». Он заключается во вдувании воздуха из легких оказывающего помощь в легкие пострадавшего через его рот (или нос).

Массаж сердца – это искусственные ритмические сжатия сердца пострадавшего, имитирующие его самостоятельные сокращения, с целью искусственного поддержания кровообращения в организме пострадавшего и восстановления нормальных естественных сокращений сердца. При поражении электрическим током производится непрямой массаж сердца, заключающийся в ритмическом надавливании на переднюю стенку грудной клетки пострадавшего.

При оживлении организма причиной длительного отсутствия пульса у пострадавшего (при появлении других признаков реанимации: восстановление самостоятельного дыхания, сужение зрачков) может явиться фибрилляция сердца. В таких случаях прибывшими медицинскими работниками должна быть произведена дефибрилляция сердца с помощью дефибриллятора, а до этого момента должны непрерывно производиться искусственное дыхание и непрямой массаж сердца.

**Оценка опасности поражения электрическим током.** Оценка опасности электропоражения заключается в расчете (или измерении) протекающего через человека тока  $I_h$  или напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  и сравнении этих величин с предельно допустимыми их значениями ( $I_{h\text{п.д.}}$  и  $U_{\text{пр.п.д.}}$ ) в зависимости от продолжительности воздействия тока.

Оценка электропоражения проводится в нормальном режиме работы электроустановки и в аварийном, т.е. в режиме,

при котором могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с установкой (например, при замыкании электропитания установки на ее корпус или другие электропроводящие части в результате нарушения изоляции).

Оценка опасности в таких случаях позволяет определить необходимость применения способов и средств защиты, а максимально возможные (или фактические) и предельно допустимые значения тока, проходящего через тело человека, или допустимые значения напряжения прикосновения служат исходными данными для их проектирования и расчета.

Максимально возможные значения тока, протекающего через тело человека при однофазном, однопроводном или однополюсном прикосновении, могут быть рассчитаны по формулам, представленным в табл. 3.1 и 3.2.

Как видно из табл. 3.1, более безопасной трехфазной сетью при нормальном режиме ее работы (т.е. при сопротивлении фазных проводов относительно земли не менее 500 кОм) при однофазном прикосновении является трехфазная сеть с изолированной от земли нейтралью, а в аварийном режиме (т.е. при замыкании одной из фаз на землю через сопротивление, значительно меньшее требуемого сопротивления изоляции ( $r_{3M} \ll Z$ )), – трехфазная сеть с заземленной нейтралью. Напряжение прикосновения  $U_{pr}$  при однофазном прикосновении к исправной фазе равно линейному напряжению сети ( $U_{pr} = U_l$ ), а в сети с заземленной нейтралью при тех же условиях напряжение прикосновения всегда меньше линейного, хотя и больше фазного ( $U_l > U_{pr} > U_\Phi$ ).

При выборе схемы трехфазной сети (по количеству проводов) и режима ее нейтрали относительно земли (изолирована либо заземлена) руководствуются двумя требованиями: степенью опасности той или иной сети, а также ее технологичностью, т.е. удобством эксплуатации потребителем электрической энергии.

По безопасности предпочтительнее трехфазная сеть с заземленной нейтралью, так как она менее опасна в аварийном режиме работы, а по технологичности – четырехпроводная сеть, поскольку в этом случае к сети можно подключать как трехфазные, так и однофазные потребители энергии.

Таблица 3.1

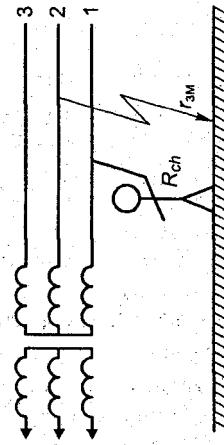
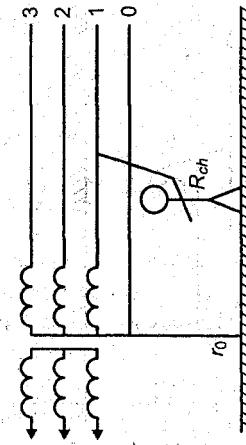
Формулы для расчета электрического тока, протекающего через тело человека ( $I_h$ ) при однофазном прикосновении в трехфазных сетях с различным режимом нейтрана по отношению к земле (изолирована, заземлена)

№ п/п	Характеристики сети	Схема сети	Формула для расчетов токов
1	2	3	4
1	Трехфазная сеть с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы, т.е. при сопротивлении изоляции фазных проводов по отношению к земле $Z \geq 500$ кОм в сетях напряжением до 1000 В		<p>При <math>R_1 = R_2 = R_3 = R</math> и <math>C_1 = C_2 = C_3 = C</math></p> $I_h = \frac{3U_\Phi}{3R_{di} + Z}$ <p>или в действительном виде:</p> $I_h = \frac{U_\Phi}{R_{di}\sqrt{1 + \frac{R(R + 6R_{dp})}{9R_{di}^2(1 + R^2\omega^2C^2)}}}$

При  $C_1 = C_2 = C_3 = C \rightarrow 0$  (в сетях небольшой протяженности)  $Z \approx R$ , тогда

$$I_h = \frac{3U_\Phi}{3R_{di} + R}$$

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4
2	Трехфазная сеть с изолированным нейтральным при аварийном режиме работы (одна из фаз замкнута на землю через сопротивление замыкания, $r_{3M} \ll Z$ )	 $I_h = \frac{U_A}{R_{ch} + r_{3M}}$ , $U_{trap} = U_A$	$I_h = \frac{U_\Phi}{R_{ch} + r_0}$ , $U_{trap} = U_\Phi$
3	Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы		$I_h = \frac{U_\Phi}{R_{ch} + r_0}$ , так как $r_0 \ll R_{ch}$ , то $I_h = \frac{U_\Phi}{R_{ch}}$

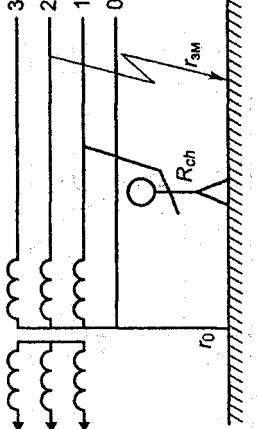
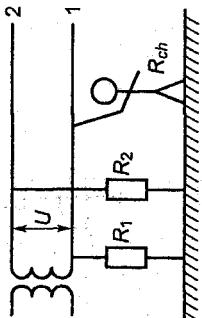
4	<p>Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при аварийном режиме работы (одна из фаз замкнута на землю)</p> 	<p>а) при <math>r_{3M} \gg r_0</math></p> $I_h \approx \frac{U_\Phi}{R_{ch}}; \quad U_{\text{пр}} \rightarrow U_\Phi;$ <p>б) при <math>r_{3M} \ll r_0</math></p> $I_h \approx \frac{U_\Lambda}{R_{ch}}; \quad U_{\text{пр}} \rightarrow U_\Lambda,$ <p>т.е. <math>U_\Lambda &gt; U_{\text{пр}} &gt; U_\Phi</math></p>
---	---	---

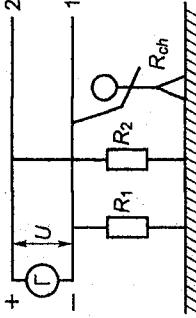
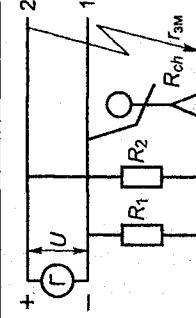
Таблица 3.2

**Формулы для расчета электрического тока, протекающего через тело человека ( $I_h$ ) при однопротонном прикосновении в двухпроводных сетях переменного (50 Гц) и постоянного тока**

№ п/п	Характеристика сети	Схема включения человека в электрическую сеть	Формула для расчета тока
1	Двухпроводная сеть переменного тока, изолированная от земли в нормальном режиме работы	 Схема включения человека в электрическую сеть	$I_h = \frac{UR_1}{R_1 R_2 + R_1 R_{ch} + R_2 R_{ch}}$ <p>При <math>R_1 = R_2 = R</math></p> <p>и <math>C_1 = C_2 = C \rightarrow 0</math></p> $I_h \approx \frac{U}{2R_{ch} + R}$

2	<p>Двухпроводная сеть переменного тока, изолированная от земли в аварийном режиме работы</p>	$I_h = \frac{U R_1}{R_1 R_3 + R_1 R_{ch} + R_3 R_{ch}}$ , $R_3 = \frac{R_2 f_{3M}}{R_2 + r_{3M}}$ — эквивалентное сопротивление где $R_3 = \frac{R_2 f_{3M}}{R_2 + r_{3M}}$
3	<p>Двухпроводная сеть переменного тока с заземленным проводом (прикосновение к незаземленному проводу)</p>	$I_h = \frac{U}{R_{ch} + r_0}$ ; так как $R_{ch} \gg r_0$ , то $I_h = \frac{U}{R_{ch}}$

Окончание табл. 3.2

<b>4</b> Двухпроводная сеть постоянного тока в нормальном режиме работы	 $I_h = \frac{UR_1}{R_{ch}(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$ , при $R_1 = R_2 = R$	<b>В установившемся режиме</b>
<b>5</b> Двухпроводная сеть постоянного тока в аварийном режиме работы (провод 2 замкнут на землю через сопротивление замыкания $r_{3M}$ )	 $I_h = \frac{U}{2R_{ch} + R}$	<b>В установившемся режиме при <math>r_{3M} &lt;&lt; R_1, R_2</math></b>

**Примечание.** В табл. 3.1 и 3.2 приведены следующие обозначения:  $R_1, R_2, R_3$  – активное сопротивление изоляции фазных проводов по отношению к земле;  $C_1, C_2, C_3$  – электрическая ёмкость фазных проводов по отношению к земле;  $Z$  – реактивное сопротивление фазных проводов по отношению к земле ( $Z = R + \frac{1}{j\omega C}$ , где  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота);  $U_\Phi$  – фазное напряжение;  $U_\lambda$  – линейное напряжение ( $U_\lambda = \sqrt{3} \cdot U_\Phi$ );  $R_{eh}$  – полное сопротивление в цепи тела человека;  $U$  – напряжение двухпроводных сетей переменного или постоянного тока.

Таким образом, на практике применяются следующие электрические сети:

- ◆ трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью (обычно в небольших лабораториях, производственных участках, где используются только трехфазные потребители и когда обеспечивается сопротивление изоляции фазных проводов такой сети по отношению к земле не менее 500 кОм);
- ◆ трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью (практически на всех предприятиях, в жилых и общественных помещениях);
- ◆ трехфазная четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью, как исключение, в передвижных установках.

При расчетах  $I_h$  по формулам, приведенным в табл. 3.1 и 3.2, необходимо принимать  $Z$  и  $R$  при нормальном режиме работы электрических сетей напряжением до 1000 В равными 500 кОм. Сопротивление заземления нейтралиами источника тока в трехфазных сетях  $r_0$  принимается равным 2, 4 или 8 Ом в зависимости от напряжения сети (соответственно 660/380, 380/220 и 220/127 В). При расчете полного сопротивления в цепи тела человека, которое включает сумму сопротивлений тела человека  $R_h$ , обуви  $R_{ob}$  и основания (пола или грунта), на котором стоит человек ( $R_{oc}$ ), сопротивление собственного тела человека следует принимать равным 1 кОм при напряжении прикосновения  $U_{pr} \geq 50$  В и 6 кОм при  $U_{pr} \leq 50$  В.

Предельно допустимые (наибольшие допустимые) значения напряжения прикосновения и частоты токов, проходящих через тело человека, для нормального (неаварийного) и аварийного режимов работы электроустановок приведены в табл. 3.3 и 3.4. Для оценки опасности электропоражения может быть определена вероятность возникновения электротравмы в конкретных производственных условиях.

Поражение человека электрическим током наступает при совпадении двух факторов:  $P(A)$  — вероятности того, что при прикосновении к электроустановке человек попал под напряжение, и  $P(B)$  — вероятности того, что ток, проходящий через человека, превысит (с учетом времени воздействия) допустимое значение.

Фактор  $B$  зависит от фактора  $A$ , поэтому вероятность поражения током равна

$$P = P(B/A) \cdot P(A).$$

Таблица 3.3

Предельно допустимые значения напряжения прикосновения  $U_{\text{пр.п.д}}$  и тока, проходящего через тело человека  $I_{h\text{ п.д}}$  при нормальном (неаварийном) режиме работы установок

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения (нормальный режим)	
	$U_{\text{пр.п.д}}, \text{ В}$	$I_{h\text{ п.д}}, \text{ мА}$
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

**Примечание.** Настоящие нормы соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин/сут. Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры (более 25 °C) и влажности воздуха (относительная влажность более 75%), приведенные нормы должны быть уменьшены в 3 раза.

Таблица 3.4

Предельно допустимые значения напряжения прикосновения  $U_{\text{пр.п.д}}$  и тока через тело человека  $I_{h\text{ п.д}}$  при аварийном режиме работы установок

Род и частота тока	Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с						
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	более 1,0
Переменный, 50 Гц	$U_{\text{пр.п.д}}, \text{ В}$	500	250	125	85	65	50	42
	$I_{h\text{ п.д}}, \text{ мА}$	500	250	125	85	65	50	6
Переменный, 400 Гц	$U_{\text{пр.п.д}}, \text{ В}$	500	500	250	170	130	100	42
	$I_{h\text{ п.д}}, \text{ мА}$	500	500	250	170	130	100	8
Постоянный	$U_{\text{пр.п.д}}, \text{ В}$	500	400	300	240	220	210	50
	$I_{h\text{ п.д}}, \text{ мА}$	500	400	300	240	220	210	15

Вероятность появления фактора  $A$  равна:

$$P(A) = P(G) \cdot P(D),$$

где  $P(G)$  — вероятность прикосновения человека к электроустановке;  $P(D)$  — вероятность появления на установке напряжения.

Таким образом, вероятность поражения человека током

$$P = P(G) \cdot P(D) + P(B/A).$$

Это выражение позволяет количественно оценить опасность электропоражения для данного типа электроустановок, определить эффективные пути снижения электротравматизма.

Вероятность появления факторов  $G$  и  $D$  для конкретных типов электроустановок можно определить путем анализа надежности и условий эксплуатации, хронометрии производственного процесса. При этом учитываются только те отказы (аварии) в электроустановках, которые ведут к возникновению условий поражения.

Для нахождения вероятности реализации фактора  $B$  определяется ток, проходящий через тело человека, и его значение сравнивается с допустимым. От значения  $I_h$ , зависит также выбор средств защиты и определение их характеристик.

**Способы и средства обеспечения электробезопасности.** Электробезопасность персонала обеспечивается конструкцией электроустановок, организационными и техническими мероприятиями, а также техническими способами, средствами и приспособлениями.

Требования электробезопасности к конструкции и устройству электроустановок определяются нормативными документами (стандарты, правила, нормы и др.) и технологическими условиями на электротехнические изделия (выбор материалов, размещение деталей, обработка и т.п.).

Организационные мероприятия включают: требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, проверка знаний и др.); назначение лиц, ответственных за организацию и производство работ; оформление наряда (распоряжения) на производство работ; осуществление допуска к проведению работ; организацию надзора за проведением работ и др.

Технические мероприятия в действующих установках со снятым напряжением при работах в электроустановках или вблизи их — это отключение установки (или ее части) от источника; механическое запирание приводов, отключающих коммутационные аппараты; снятие предохранителей; отсоединение концов питающих линий; установка знаков безопасности и ограждений; применение заземления и др.

Технические мероприятия при выполнении работ под напряжением включают применение изолирующих, ограждающих и вспомогательных защитных средств.

*Изолирующие защитные средства* служат для изоляции персонала от частей электрооборудования или проводов сети, находящихся под напряжением, а также для изоляции человека от земли.

Изолирующие средства делятся на основные и дополнительные.

К основным относятся такие средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение электроустановок и с помощью которых допускаются работы в электроустановках под напряжением или в их частях, оказавшихся под напряжением. К ним относятся (в электроустановках напряжением до 1000 В) электрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, указатели напряжения (токоискатели) и др.

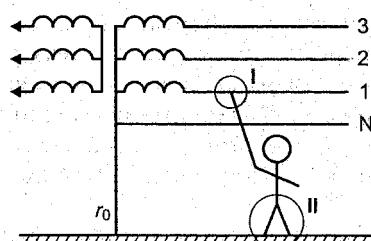


Рис. 3.1. Использование основных (I) и дополнительных (II) изолирующих средств

коврики, изолирующие подставки и т.п.

Основные изолирующие средства должны применяться вместе с дополнительными. В этом случае сопротивление в цепи тела человека резко увеличивается, снижая опасность электропоражения.

К дополнительным изолирующим средствам относятся средства, которые сами по себе не могут обеспечить электробезопасность и лишь дополняют защитную роль основных средств, изолируя ноги работающих от земли (рис. 3.1). Это диэлектрические галоши, диэлектрические резиновые

Ограждающие защитные средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей и защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям оборудования. К ним относятся временные переносные ограждения (щиты, ограждения-клетки и т.п.), изолирующие накладки, кожухи, предупредительные плакаты и др.

При работах на отключенному оборудовании во избежание электропоражения при ошибочной подаче на него напряжения или появлении наведенного напряжения применяются временные переносные заземления и закоротки.

Предупредительные плакаты служат для предупреждения персонала об опасности, напоминания о мерах безопасности и т.п.

*Вспомогательные защитные средства* служат для защиты персонала от сопутствующих опасностей и вредностей при работе в электроустановках. К ним относятся: приспособления, предохраняющие от падения с высоты (предохранительные пояса, страхующие канаты и т.п.); приспособления для безопасного подъема на высоту (стремянки, лестницы, монтерские когти и т.п.); устройства, защищающие работающих от световых, тепловых, электромагнитных, механических и химических воздействий (защитные очки, респираторы, противогазы, рукавицы и др.).

Для защиты от поражения электрическим током при эксплуатации различного технологического оборудования, использующего электрическую энергию, применяются технические методы (способы), основными из которых являются: применение малых напряжений для электропитания технических установок, оборудования, ручного инструмента; электрическое разделение сетей; защитное заземление; зануление; защитное отключение и др.

*Применение малых напряжений* в пределах наибольших допустимых значений для электропитания приборов, электрифицированного ручного инструмента и установок является наиболее эффективным способом обеспечения электробезопасности. Поэтому в случаях, когда это возможно, необходимо использовать более низкие напряжения, не превышающие  $U_{\text{пр.п.д.}}$ .

С этой целью для электропитания переносных установок и ручного инструмента (электрические дрели, гайковерты,

электрические паяльники и др.) допускаются следующие максимальные значения напряжения в зависимости от места работы (вид помещения по опасности поражения электрическим током, наружные условия и др.):

◆ 220 В (50 Гц) – при использовании установок в помещениях без признаков повышенной и особой опасности поражения электрическим током;

◆ 42 В (50 Гц) – в помещениях с наличием признаков повышенной опасности поражения электрическим током и при работах в наружных условиях. В таких условиях работы допускается использовать инструмент (переносные установки) до 220 В, но с обязательным применением основных и дополнительных изолирующих средств;

◆ 42 В (50 Гц) – в помещениях с наличием признаков особой опасности с обязательным применением основных и дополнительных изолирующих средств.

Для электропитания переносных светильников допускаются следующие максимальные значения напряжений:

◆ 42 В (50 Гц) – в помещениях с наличием признаков повышенной и особой опасности;

◆ 12 В (50 Гц) – при работах в особо опасных и неблагоприятных условиях.

К признакам повышенной опасности поражения электрическим током в производственных помещениях относятся: наличие в помещении токопроводящих полов (земляные, металлические, железобетонные, кирпичные и т.п.); поддержание в помещении длительное время (более 2 ч) температуры воздуха выше 25 °С и относительной влажности более 75%; наличие в воздухе токопроводящей пыли; наличие возможности одновременного прикосновения к корпусам и другим частям оборудования, на которых может оказаться напряжение, и к каким-либо заземленным конструкциям здания.

К признакам особой опасности помещений относятся: наличие в помещении двух или более признаков повышенной опасности; наличие в воздухе помещения химически агрессивной среды; поддержание в помещении высокой относительной влажности, близкой к 100%.

В качестве источников малого (низкого) напряжения применяются гальванические элементы, выпрямители, преоб-

разователи частоты (для уменьшения массы ручного инструмента на частоте 200 или 400 Гц), понижающие трансформаторы и др. Использование с этой целью автотрансформаторов не допускается, так как в этом случае сохраняется гальваническая связь автотрансформатора с электрической сетью, а значит, и опасность электропоражения при замыкании («пробое») напряжения электропитания на корпус или другие части таких устройств.

Электрическое разделение сетей заключается в использовании разделительных трансформаторов, с помощью которых сети большой протяженности или сети, имеющие большое количество ответвлений, разделяются на отдельные небольшие сети того же напряжения (рис. 3.2). Электрическое разделение сетей позволяет обеспечить достаточно большое сопротивление фазных проводов по отношению к земле ( $\geq 500$  кОм в сетях до 1000 В) и тем самым обеспечить безопасность при однофазном прикосновении.

Для разделения сетей могут применяться также преобразователи частоты и выпрямительные установки.

Защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение металлических частей оборудования (например, корпусов), которые могут оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции токоведущих частей оборудования (и по другим причинам), с землей посредством заземляющего устройства (рис. 3.3).

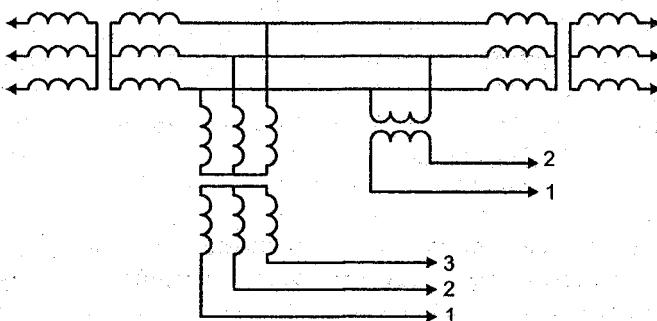


Рис. 3.2. Электрическое разделение сетей

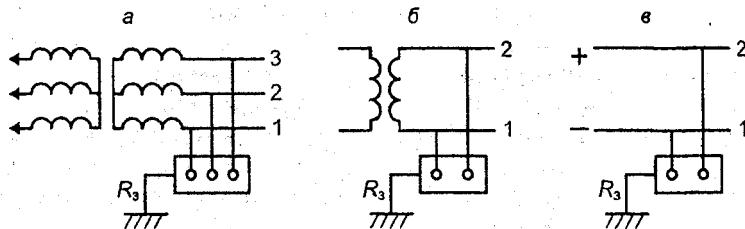


Рис. 3.3. Электрическая схема заземления при электропитании установки от трехфазной сети (а) и двухпроводных сетей переменного (б) и постоянного (в) тока;  $R_3$  – сопротивление заземляющего устройства (заземления)

Принцип действия защитного заземления заключается в уменьшении опасности электропоражения за счет снижения напряжения на заземленном корпусе (или других частях) при замыкании на него (или другие части оборудования), питающего напряжения до значения

$$U_K = I_3 R_3,$$

где  $I_3$  – ток, протекающий через заземлитель;  $R_3$  – сопротивление защитного заземления, и выравнивания потенциалов между корпусом установки и землей за счет подъема потенциала земли (основания, на котором стоит человек), возникшего в результате растекания в нем тока.

Таким образом, напряжение, действующее на человека в данном случае (напряжение прикосновения), будет равно разности потенциалов на корпусе установки (потенциал рук,  $\Phi_p$ ) и на основании (потенциал ног,  $\Phi_H$ ):

$$U_{\text{пр}} = \Phi_p - \Phi_H = \Phi_p \left(1 - \frac{\Phi_H}{\Phi_p}\right).$$

Так как потенциал рук равен напряжению на корпусе, т.е.  $\Phi_p = U_K = I_3 R_3$ , то напряжение прикосновения при заземленном корпусе станет равно

$$U_{\text{пр}} = I_3 R_3 \alpha_1,$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент напряжения прикосновения, равный  $1 - \frac{\Phi_H}{\Phi_p}$ . Он зависит от разности потенциалов на корпусе установки и основании (земле).

Рис. 3.4. Гиперболический закон распределения потенциала на основании земли в зависимости от расстояния ( $X$ ) до заземлителя



В связи с тем, что потенциал на поверхности грунта уменьшается в зависимости от расстояния до заземлителя (места стечения тока в землю) по гиперболическому закону (рис. 3.4), по мере удаления от места заземления разность потенциалов между корпусом и основанием будет увеличиваться и в зоне электротехнической земли (расстояние 15–20 м), где потенциал на основании (поверхности грунта) приблизительно равен нулю, она станет равной напряжению на корпусе. В этом случае коэффициент напряжения прикосновения  $\alpha_1=1$ , а напряжение прикосновения равно

$$U_{\text{пр}} = U_k \alpha_1 = I_3 R_3.$$

Зона, в пределах которой потенциалы на поверхности грунта не равны нулю, называется зоной *растекания тока* (рис. 3.4).

Для того чтобы обеспечить достаточно безопасное значение напряжения прикосновения, т.е. не более 42 В, при длительности воздействия  $t \geq 1$  с, необходимо, как видно из выражения  $U_{\text{пр}} = I_3 R_3$ , уменьшать значение сопротивления заземляющего устройства  $R_3$  ( $R_{3,y}$ ). Так как ток, протекающий через заземлитель  $I_3$ , не может быть более 10 А в сетях напряжением до 1000 В, то  $R_3$  должно быть не более 4 Ом. Допускается 10 Ом при суммарной мощности источников напряжения сети до 100 кВ·А.

Чтобы получить заземление, обеспечивающее безопасность, т.е. напряжение прикосновения не более 42 В, применяют сложные групповые заземлители.

Если расстояние между отдельными электродами (одиночными заземлителями) меньше 20 м, то их поля растекания накладываются, т.е. они экранируют друг друга (рис. 3.5), что выражается величиной коэффициента экранирования  $r$ .

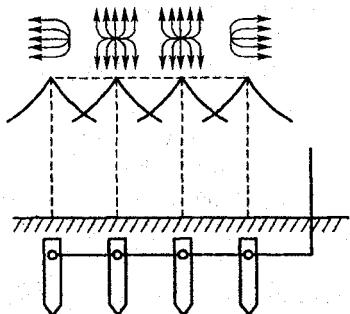


Рис. 3.5. Экранирование одиночных заземлителей группового заземляющего устройства

Заземляющие устройства (заземления) бывают двух типов – выносные и контурные (распределенные) или выполненные в ряд.

*Выносные заземления* устраиваются при отсутствии возможности разместить заземлитель в пределах защищаемой площадки, высоком сопротивлении грунта на этой территории и наличии на сравнительно небольшом удалении мест с повышенной проводимостью, а также при рассредоточенном размещении заземляемого оборудования.

При выносном заземлителе коэффициент напряжения прикосновения ( $\alpha_1$ ) близок или равен единице, т.е. заземление защищает в данном случае только за счет малого сопротивления. Поэтому данный тип заземлителя чаще всего применяется при малых токах замыкания на землю ( $I_3$ ).

К достоинству выносных заземлений можно отнести возможность выбора места размещения электродов с наименьшим сопротивлением грунта.

*Контурное (распределенное)* заземляющее устройство применяется в случаях, когда необходимо выровнять потенциал на защищаемой площадке с возможными потенциалами заземленных частей оборудования и тем самым уменьшить напряжение прикосновения (и напряжение шага) до безопасных значений.

Для заземления электроустановок в первую очередь необходимо использовать естественные заземлители – водопровод и другие трубопроводы, проложенные в земле (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей), металлические и железобе-

Общее сопротивление группового заземлителя определяется как сопротивление всех параллельно соединенных одиночных заземлителей с учетом коэффициента экранирования по формуле

$$R_{3,y} = \frac{R_{од.з}}{nr},$$

где  $R_{од.з}$  – сопротивление одиночного заземлителя;  $n$  – количество одиночных заземлителей.

тонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, свинцовые оболочки кабелей, проложенные в земле, нулевые (нейтральные) провода воздушных линий напряжением до 1000 В, рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и др.

Защитное заземление применяется в сетях, изолированных от земли (трехфазные трехпроводные сети с изолированной от земли нейтралью, двухпроводные сети переменного и постоянного тока с изолированными от земли проводами или полюсами).

Заземлению подлежат корпуса и другие части электрооборудования, на которых может оказаться напряжение; во всех случаях при величине номинального напряжения электропитания 380 В переменного тока и 440 В постоянного тока и выше; при номинальных напряжениях, равных и выше 42 В (50 Гц) и 110 В в помещениях с признаками повышенной и особой опасности и в наружных условиях; во взрывоопасных помещениях при любых значениях постоянного и переменного напряжения.

Заземляющее устройство состоит из вертикальных электродов, которые соединяются между собой горизонтальным электродом (полосой).

В качестве вертикальных электродов обычно используют стальные стержни диаметром 10–16 мм и длиной до 10 м, угловую сталь от 40×40 до 60×60 мм и, как исключение, стальные трубы диаметром 50–60 мм с толщиной стенок не менее 3,5 мм, длиной 2,5–3,0 м. Для электрического соединения вертикальных электродов применяют полосовую сталь шириной 20–40 мм и толщиной 4 мм, а также сталь круглого сечения диаметром 10–12 мм.

Для установки вертикальных заземлителей предварительно роют траншеи глубиной 0,7–0,8 м, после чего их заглубляют специальными механизмами (копры, гидропресссы, вибраторы и т.п.). Расстояние между соседними вертикальными электродами (если позволяют размеры площадки, отведенной под заземление) берут не менее 2,5 м. Для заземлителей, расположенных в ряд, отношение этого расстояния к длине электрода предпочтительно выбирать равным 2–3 м, а при расположении электродов по контуру – равным 3 м.

Расчет защитного заземления в установках до 1000 В выполняется по допустимому сопротивлению заземляющего устройства растеканию тока (4 или 10 Ом). При расчете определяют количество, размеры и схему размещения электродов в земле.

Если на территории проектируемого заземляющего устройства имеются естественные заземлители, которые можно использовать, то общее сопротивление заземляющего устройства  $R_{3,y}$  будет складываться из сопротивления естественных  $R_{\text{ест}}$  и искусственных  $R_{\text{иск}}$  заземлителей:

$$R_{3,y} = \frac{R_{\text{ест}} R_{\text{иск}}}{R_{\text{ест}} + R_{\text{иск}}} < R_{3,y,\text{доп}},$$

где  $R_{3,y,\text{доп}}$  – требуемое (допустимое) значение сопротивления заземляющего устройства.

*Зануление* представляет собой преднамеренное электрическое подсоединение к неоднократно заземленному защищенному проводнику сети нетокопроводящих частей оборудования (например, металлического корпуса), которые могут оказаться под напряжением в результате замыкания электропитания на эти части или корпус (рис. 3.6).

При наличии зануления опасность электропоражения при прикосновении к зануленным частям (корпусу) оборудования и при замыкании на них питающего напряжения сети устраняется отключением оборудования от сети в результате срабатывания отключающего устройства (например, перегорания плавкой вставки предохранителя), вызванного большим током короткого замыкания.

Так, при замыкании фазы 3 (рис. 3.6, а) на зануленный корпус установки образуется цепь короткого замыкания третьей фазы, а возникший большой ток в этой цепи приведет к

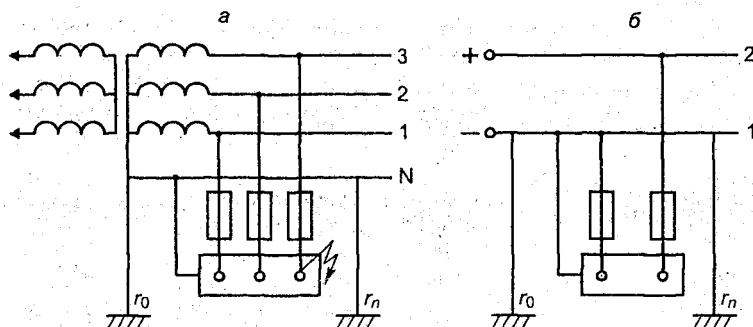


Рис. 3.6. Электрическая схема зануления: а – в трехфазной трехпроводной сети с заземленной нейтралью; б – в двухпроводной сети постоянного тока с заземленным полюсом

перегоранию плавкой вставки и отключит поврежденную установку от сети.

Так как плавкие предохранители и автоматические выключатели с тепловой защитой срабатывают в течение нескольких секунд, то для снижения напряжения, действующего на человека в течение этого времени, обязательно применение повторного заземления защитного проводника  $r_{\text{повт}}$ . При этом напряжение прикосновения уменьшится до значения

$$U_{\text{пр}} = I_{r, \text{повт}} \cdot r_{\text{повт}} \cdot \alpha_1,$$

где  $I_{r, \text{повт}}$  – ток, протекающий через повторное заземление;  $\alpha_1$  – коэффициент напряжения прикосновения.

Для надежной работы зануления необходимо обеспечить следующие требования:

а) ток короткого замыкания  $I_{k,3}$  должен в несколько раз превышать номинальный ток  $I_n$  срабатывания защиты, т.е.

$$I_{k,3} \geq k I_n,$$

где  $k$  – коэффициент кратности. Для плавких предохранителей он выбирается равным 3 (во взрывоопасных помещениях – 4). При использовании автоматических выключателей  $k \geq 1,25$  (для автоматов с номинальным током до 100 А  $k \geq 1,4$ );

б) полная проводимость защитного проводника должна составлять не менее 50% проводимости фазных проводов;

в) чтобы обеспечить непрерывность цепи зануления, запрещается установка в зануляемый проводник предохранителей и выключателей;

г) для уменьшения опасности поражения персонала током, возникающей при обрыве защитного проводника, обязательно применение повторного его заземления. Сопротивление току растекания повторных заземлений не должно превышать 5, 10 или 20 Ом при напряжениях в сети соответственно 660/380, 380/220 и 220/127 В;

д) зануление однофазных потребителей должно осуществляться специальным проводником (или жилой кабеля), который не может одновременно служить проводником для рабочего тока. Его сопротивление, как и заземляющего проводника, при защитном заземлении не должно превышать 0,1 Ом.

Зануление применяется только в сетях с заземленнойнейтралью (или заземленным полюсом и проводом в двухпровод-

ных сетях), так как в противном случае при аварийном режиме работы сети, когда одна из фаз сети замыкает на землю через незначительное сопротивление ( $r_{3M}$ ), человек, касающийся корпуса зануленной установки, окажется под фазным (в трехфазных сетях), а при пробое питающего напряжения (одной фазы) на корпус (до срабатывания защиты) — под линейным напряжением (рис. 3.7). При заземленной нейтрали в аварийном состоянии сети и нормальном режиме установки напряжение, действующее на человека ( $U_{np}$ ) без учета повторного заземления, будет равно

$$U_{np} = I_{r_0} r_0 = \frac{U_\Phi}{r_{3M} + r_0} r_0,$$

что значительно ниже  $U_\Phi$ .

Применение защитного заземления в сетях с заземленной нейтралью (заземленным полюсом или проводом в двухпроводных сетях) малоэффективно, так как при замыкании питающего напряжения (одной фазы в трехфазных сетях) на корпус напряжение в нем достигнет значения, превышающего или равного половине фазного (в трехфазных сетях при  $R_3 = r_0$ ):

$$U = I_3 R_3 = \frac{U_\Phi}{R_3 + r_0} R_3.$$

В этом случае ток замыкания на землю ( $I_3$ ) через защитное заземление ( $R_3$ ) будет недостаточен для срабатывания защиты (рис. 3.7).

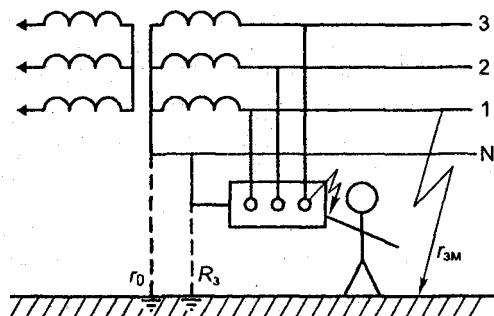


Рис. 3.7. Схема зануления в трехфазной сети с изолированной нейтралью

Для определения условия надежной работы замыкания производится расчет его на отключающую способность и на безопасность прикосновения к корпусу при замыкании фазы на землю (в этом случае производится расчет заземления нейтрали) и замыкании на корпус (в этом случае производится расчет повторного заземления нулевого провода — защитного проводника).

Расчет заземлений осуществляется по методике, аналогичной расчету защитного заземления.

Расчет на отключающую способность состоит в проверке правильности выбора проводимости защитного проводника (нейтрали) и всей петли «фаза — ноль», т.е. соблюдения условия надежности срабатывания защиты:

$$I_{\text{к.з}} \geq k I_{\text{н.}}$$

Значение  $I_{\text{к.з}}$  зависит от  $U_{\Phi}$  и сопротивления цепи «фаза — ноль» и определяется следующим выражением:

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\Phi}}{\dot{Z}_{\text{tp}} / 3 + \dot{Z}_{\Phi} + \dot{Z}_{\text{n}} + j X_{\text{n}}},$$

где  $\dot{Z}_{\text{tp}}$  — полное сопротивление трансформатора;  $\dot{Z}_{\Phi}$  — полное сопротивление фазного проводника;  $Z_{\text{n}}$  — полное сопротивление нулевого защитного проводника (нейтрали);  $X_{\text{n}}$  — внешнее индуктивное сопротивление петли (контура) «фаза — ноль».

Комплексное значение полного сопротивления петли «фаза — ноль» ( $\dot{Z}_{\text{n}}$ ) равно

$$\dot{Z}_{\text{n}} = \dot{Z}_{\Phi} + \dot{Z}_{\text{n}} + j X_{\text{n}}.$$

Модульное значение этого сопротивления определяется по формуле

$$|Z_{\text{n}}| = \sqrt{(R_{\Phi} + R_{\text{n}})^2 + (X_{\Phi} + X_{\text{n}} + X_{\text{n}})^2},$$

где  $R$  и  $X$  — соответственно активные и индуктивные значения сопротивлений фазного и нулевого проводников.

Теперь ток короткого замыкания можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\Phi}}{\dot{Z}_{\text{tp}} / 3 + \sqrt{(R_{\Phi} + R_{\text{n}})^2 + (X_{\Phi} + X_{\text{n}} + X_{\text{n}})^2}}.$$

Сопротивление трансформатора ( $Z_{tp}$ ) зависит от его мощности, напряжения в сети и схемы соединения его обмоток, а также конструктивного его исполнения (выбирается из технических характеристик трансформатора).

Сопротивления  $R_\Phi$  и  $R_n$  определяются по сечению ( $S$ ), длине ( $l$ ) и материалу проводников. Для цветных металлов – по формуле  $R = \rho \frac{l}{S}$ , а для стальных проводников – по справочнику (где  $\rho$  – удельное сопротивление металла). Значения  $X_\Phi$  и  $X_n$  для медных и алюминиевых проводников сравнительно малы (около 0,0156 Ом/км) и ими можно пренебречь. Для стальных проводников  $X_\Phi$  и  $X_n$  можно определить по справочникам.

Значение  $X_n$  можно рассчитать по известной в электротехнике формуле:

$$X_n = \omega L = \omega \frac{\mu \mu_0}{\pi} l \ln \frac{2D}{d},$$

где  $\omega$  – угловая частота ( $2\pi f$ ), рад/с;  $L$  – индуктивность линии, Г;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды;  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  Г/м);  $l$  – длина линии, м;  $D$  – расстояние между проводами линии, м;  $d$  – диаметр проводника, м.

Для воздушной линии длиной 1 км ( $\mu=1$ ) при частоте  $f=50$  Гц ( $\omega=314$  рад/с)

$$X_n = 314 \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \cdot 10^3 \ln \frac{2D}{d} = 0,1256 \ln \frac{2D}{d}.$$

Из этого выражения следует, что  $X_n$  в основном зависит от  $D$  (расстояния между проводами сети). Поэтому защитные проводники прокладываются совместно или в непосредственной близости от фазных проводников.

При малых значениях  $D$ , соизмеримых с  $d$ , сопротивлением  $X_n$  можно пренебречь, так как оно в этом случае не превышает 0,1 Ом/км.

*Защитное отключение* представляет собой устройство, автоматически отключающее установку или участок электрической сети при возникновении в них опасности поражения человека электрическим током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании электропитания установки на ее корпус, снижении сопротивления изоляции проводов электрической сети относительно земли ниже допустимого значения, появлении в сети более высокого напряжения, при прикосновении человека к токоведущим частям во время выполнения работ под напряжением и т.п. При этом имеет место изменение некоторых электрических параметров сети или электроустановки. Например, могут измениться напряжение корпуса установки относительно земли, ток замыкания с корпуса на землю, напряжение фаз относительно земли и т.п.

Эти изменения параметров используются в устройствах защитного отключения (УЗО) как входные сигналы, вызывающие срабатывание этих устройств и автоматическое отключение установки или опасного участка электрической сети от питающего напряжения. Эти сигналы называются уставкой.

В зависимости от того, что является уставкой, применяются следующие схемы УЗО:

- ◆ на напряжении корпуса относительно земли;
- ◆ на токе замыкания на землю;
- ◆ на токе нулевой последовательности;
- ◆ на напряжении нулевой последовательности и др.

Схема УЗО на напряжении корпуса относительно земли показана на рис. 3.8.

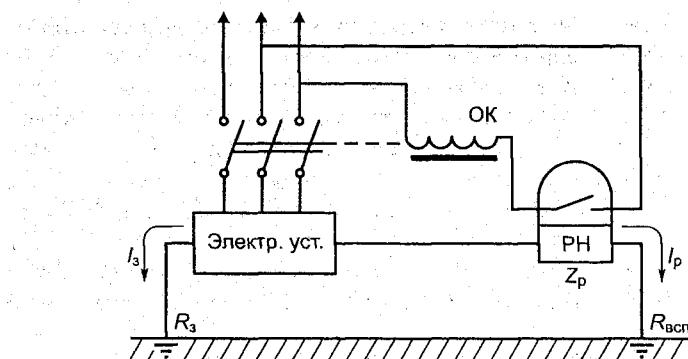


Рис. 3.8. Упрощенная электрическая схема УЗО на напряжении корпуса относительно земли:

$I_3$  — ток, протекающий через защитное заземление;  $R_3$  — сопротивление защитного заземления;  $R_{вспн}$  — сопротивление вспомогательного заземления; РН — реле напряжения;  $Z$  — полное сопротивление РН; OK — отключающая катушка автоматического выключателя

Данное УЗО предназначено для устранения опасности электропоражения при возникновении на заземленном корпусе повышенного напряжения и представляет собой дополнительную меру к защитному заземлению.

Уставкой здесь является напряжение срабатывания реле напряжения (РН):

$$U_{\text{уст}} = I_p Z_p ,$$

где  $I_p$  – ток, протекающий по обмотке реле;  $Z_p$  – полное сопротивление обмотки реле.

Ток реле может определяться предельно допустимым напряжением на корпусе относительно земли в зависимости от быстродействия реле, т.е.

$$I_p = \frac{U_{\text{п.д.}}}{Z_p + R_{\text{всп}}} ;$$

где  $R_{\text{всп}}$  – сопротивление вспомогательного заземления.

Тогда

$$U_{\text{уст}} = \frac{U_{\text{п.д.}}}{Z_p + R_{\text{всп}}} Z_p .$$

Если напряжение на корпусе относительно земли окажется равным или больше  $U_{\text{уст}}$ , заранее установленного в зависимости от  $U_{\text{п.д.}}$ , то реле напряжения сработает и включит в сеть электромагнитный расцепитель (контактор) и тем самым отключит установку от сети.

Эта схема УЗО пригодна для применения в сетях с изолированной нейтралью как дополнительная мера защиты к защитному заземлению.

Схема УЗО на токе замыкания на землю показана на рис. 3.9. Уставкой в этой схеме УЗО является величина тока, при которой срабатывает реле тока (РТ) и отключает установку от сети.

Значение уставки определяется величиной допустимого напряжения между корпусом установки и землей, т.е.

$$I_{\text{уст}} = \frac{U_{\text{п.д.}}}{Z_p + R_3} ;$$

где  $R_3$  – сопротивление защитного заземления, в разрыв электрической цепи которого включается РТ.

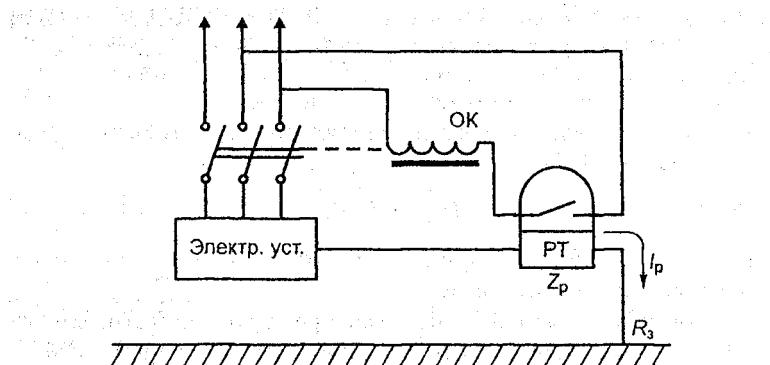


Рис. 3.9. Упрощенная электрическая схема УЗО на токе замыкания на землю:

РТ – реле тока;  $Z_p$  – полное сопротивление реле тока;  $R_3$  – сопротивление защитного заземления; ОК – отключающая катушка автоматического выключателя

Устройство защитного отключения на токе замыкания на землю применяется как в сетях с изолированной нейтралью, так и в сетях с заземленной нейтралью. В последнем случае реле тока включается в цепь нулевого проводника.

В обоих случаях УЗО является дополнительной мерой защиты к защитному заземлению и занулению.

На рис. 3.10 представлена схема УЗО на токе нулевой последовательности.

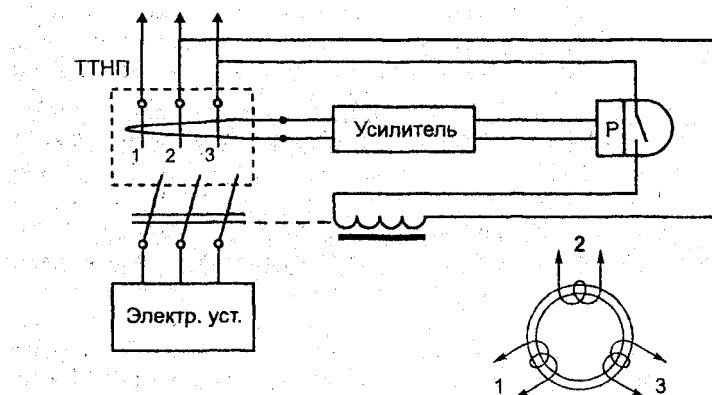


Рис. 3.10. Принципиальная схема УЗО на токе нулевой последовательности:

ТННП – трансформатор тока нулевой последовательности; Р – выходное реле

Датчиком в схеме УЗО этого типа служит трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП). Наибольшее распространение получила конструкция ТТНП с магнитопроводом торOIDальной формы. Первичными обмотками трансформатора служат фазные проводники (1, 2, 3), пропущенные через окно магнитопровода, вторичная обмотка равномерно расположена на магнитопроводе и нагружена на входное сопротивление преобразователя и усилителя.

Устройство защитного отключения на токе нулевой последовательности используется в сетях с различным режимом нейтрали относительно земли для защиты персонала как в случае прикосновения к корпусу электроустановки, оказавшейся под напряжением; так и при прикосновении непосредственно к фазе сети.

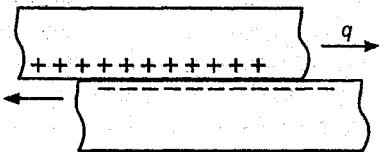
Ток уставки этого типа УЗО может регулироваться с помощью усилителя от 10 мА до 1,0 А.

Устройства защитного отключения применяются в передвижных установках и для ручного электрифицированного инструмента, а также в других случаях, где условия эксплуатации оборудования не позволяют обеспечить безопасность защитным заземлением, занулением и другими способами защиты.

### 3.3.3. Защита от статического электричества

**Условия возникновения и накопления электростатических зарядов.** Статическая электризация веществ имеет сложную природу. Существует несколько механизмов образования статического электричества: контактная электризация, электрохимический механизм, асимметричное заряжение в результате индукции в сильном электростатическом поле и др. Образование электростатических зарядов при контактной электризации происходит при разделении контактирующих поверхностей (разрыве контакта). Величина образовавшегося заряда определяется зарядами двойного слоя, электрическим сопротивлением материала и скоростью отрыва поверхностей (интенсивностью технологического процесса). В обычных же условиях при контакте двух материалов на их поверхностях вследствие действия внутриатомных электрических сил образуется двойной электрический слой. На поверхностях одного материала в месте контакта преобладают отрицательные заряды, на поверхности другого — положительные. При сохранении контакта суммарный заряд контактирующих материалов будет равен нулю. Образовавшиеся при контактной элек-

Рис. 3.11. Образование электростатических зарядов в результате контактной электризации



тризации заряды могут оставаться на поверхностях после их разделения только в том случае, если время разрушения контакта окажется меньше времени релаксации (рассеивания) зарядов (рис. 3.11). Последнее в значительной степени определяет величину зарядов на разделительных поверхностях, т.е. чем выше скорость отрыва (чем интенсивнее ведется процесс), тем больший заряд остается на поверхностях. Толщина двойного электрического слоя, т.е. пространственного разделения электрических зарядов на границах соприкосновения двух фаз (поверхностей), соответствует диаметру иона, равному  $10^{-10}$  м. При контактной электризации положительные заряды возникают на материале, имеющем большее значение диэлектрической постоянной.

Возникновение электрического заряда на материале сопровождается появлением электрического поля, каждая точка которого характеризуется потенциалом. Величина заряда  $q$  прямо пропорциональна электрической емкости заряженных материалов и потенциалу поля, т.е.

$$q = C\Phi,$$

где  $q$  — заряд на поверхности материала, К;  $C$  — электрическая емкость заряженных потенциалов,  $\Phi$ ;  $\Phi$  — потенциал.

По мере разделения поверхностей увеличивается разность потенциалов ( $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ ) между двумя равномерно заряженными поверхностями, что может привести к разряду, если напряженность поля превысит электрическую прочность воздуха, равную 30 кВ/см — для однородного электрического поля.

Если при контактной электризации соприкасающиеся поверхности электропроводны, то возникающие заряды практически мгновенно релаксируют (рассеиваются), и электрические заряды на этих поверхностях не накапливаются.

Наиболее сильно электризуются материалы, имеющие удельное электрическое сопротивление  $10^8$  Ом·см и более (диэлектрики). Материалы, имеющие удельное сопротивление не более  $10^5$  Ом·см, являются электропроводниками статического электричества, в силу чего на них заряды не накапливаются.

Заряды статического электричества в производственных условиях могут накапливаться на теле работающих и их одежде во время выполнения ручных операций при промывке, чистке, протирке, проклеивании с применением этилового эфира, бензина, ацетона, непроводящих резиновых kleев, изготавлении упаковочной тары (пакетов, мешков) из синтетических пленок, на аппаратах, трубопроводах, воздуховодах при движении по ним порошков, пылегазовоздушных смесей, сжатых и сжиженных газов, а также при работе ременных передач и резиновых транспортеров, при окрасочных работах с применением пульверизаторов и т.д.

Увеличение электростатического заряда и разности потенциалов на разделенных поверхностях может привести к электрическому пробою разделяющей среды. Возникновение искрового разряда и высоких потенциалов – наиболее опасное проявление статического электричества.

Разряд статического электричества возникает тогда, когда напряженность электрического поля над поверхностью диэлектрика или проводника, обусловленная накоплением на них зарядов, достигает пробивной величины.

При достижении энергией искрового разряда величины энергии воспламенения пылегазовоздушных и других взрыво- и пожароопасных смесей возникает опасность взрыва и пожара. Электростатическая искробезопасность объекта достигается при выполнении следующего условия безопасности:

$$W_p \leq k W_{\min},$$

где  $W_p$  – максимальная энергия зарядов, которая может возникать внутри объекта или на его поверхности, Дж;  $k$  – коэффициент безопасности, выбираемый из условий допустимой (безопасной) вероятности зажигания ( $k < 1,0$ );  $W_{\min}$  – минимальная энергия зажигания веществ и материалов, Дж.

Энергия искрового заряда ( $W_p$ ) с заряженной проводящей поверхности определяется по формуле

$$W_p = 0,5C\varphi^2, \text{ Дж},$$

где  $C$  – электрическая емкость проводящего объекта относительно земли, Ф;  $\varphi$  – потенциал заряженной поверхности относительно земли, В.

Заряды статического электричества и высокие потенциалы часто ведут к отказам отдельных элементов аппаратуры (полупроводниковых приборов, микросхем), являются причиной ухудшения условий труда, вызывая у работающих при разрядах неприятные болезненные ощущения.

Степень опасности статического электричества определяется электростатическими свойствами веществ и материалов, используемых на производстве, наличием в рабочей зоне взрывоопасных концентраций воздушных смесей газов, паров и пыли, а также чувствительностью изделий к электростатическим разрядам.

**Нормирование и гигиеническая оценка статического электричества.** Нормируемым параметром статического электричества, характеризующим условия труда персонала, является напряженность электростатического поля  $E$ , кВ/м, допустимые уровни которой устанавливаются в зависимости от времени пребывания персонала на рабочем месте:

Предельно допустимый (или наибольший) уровень напряженности устанавливается равным 60 кВ/м в течение одного часа, т.е.

$$E_{\text{п.д.}} = \frac{60}{\sqrt{t}}, \text{ кВ/м.}$$

При напряженности поля, равной или меньшей 20 кВ/м, время пребывания в таком поле не регламентируется. В диапазоне напряженностей от 20 до 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в электростатическом поле без средств защиты ( $t_{\text{п.д.}}$ ), в часах, определяется по формуле

$$t_{\text{п.д.}} = \left( \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{п.д.}}} \right)^2,$$

где  $E_{\text{факт}}$  – фактическое (измеренное) значение напряженности в рабочей зоне (на рабочем месте).

**Способы и средства защиты от статического электричества.** К общим способам по снижению возможности образования и накопления зарядов статического электричества на рабочих поверхностях, изделиях, одежде и теле работающих относятся: заземление электропроводных (в том числе и неметаллических) элементов оборудования и инструментов; общее и мест-

ное увлажнение воздуха и его ионизация; увеличение поверхностной и объемной проводимости обрабатываемых материалов; подбор контактирующих материалов, при которых уровень электризации минимален; ограничение скорости переработки и транспортирования электризующихся материалов (уменьшение скорости перемешивания и переливания жидкостей, возможности разбрызгивания и т.п.).

На производстве заземлению подлежат все металлические части оборудования, инструменты, корпуса измерительной аппаратуры, конструктивные элементы рабочего места и т.п.

Неметаллическое оборудование может считаться электростатически заземленным, если сопротивление растеканию тока в земле с любых точек его внешней и внутренней поверхности не превышает  $10^7$  Ом (при относительной влажности воздуха не выше 60%). Например, покрытие пола считается электропроводным для статического электричества, если электрическое сопротивление между металлической пластиной площадью  $50\text{ см}^2$ , уложенной на пол и прижатой с силой в  $25\text{ кг}\cdot\text{см}$ , и заземлением не превышает  $10^7$  Ом (бетон, керамическая плитка, ксиолит, антistатический линолеум и др.).

Заземление работающих обеспечивается применением антistатических заземляющих браслетов, антistатической одежды и обуви.

Заземляющий браслет соединяется с заземлением (или с заземленной нейтралью трехфазной сети) через резистор сопротивлением не менее  $1\text{ МОм}$  (для обеспечения электробезопасности) гибким многожильным проводом (сечением не менее  $1\text{ мм}^2$ ). Общее сопротивление цепи «тело человека – земля» не должно превышать  $10^7$  Ом.

Для снижения поверхностного сопротивления покрытий рабочих поверхностей производственных участков, если позволяет технология, повышают относительную влажность до 65–75%, что достигается свободным испарением воды с больших площадей, ее распылением или выпуском пара из форсунок.

Для уменьшения плотности зарядов наэлектризованного материала применяются индукционные, высоковольтные и радиационные нейтрализаторы.

Для увеличения поверхностной и объемной электропроводности жидких и твердых материалов при их производстве вводятся различные присадки (добавки). Так, электропровод-

ность жидкостей можно значительно увеличить, вводя в них хромовые соли синтетических жирных кислот. Для достижения желаемого эффекта количество их в процентном отношении может не превышать 0,001–0,003%.

Лучшим наполнителем для твердых диэлектриков является ацетиленовая кислота, снижающая удельное сопротивление на несколько порядков. С этой целью могут применяться также алюминиевая, медная и цинковая пыли.

Снижение поверхностного сопротивления полимерных материалов достигается применением гигроскопических и поверхностно-активных веществ типа многоатомных спиртов (гликоль, глицерин) и низкомолекулярных полигликолевых эфиров.

Недостатком поверхностного нанесения антистатических веществ является их недолговечность, так как они неустойчивы к механическим воздействиям. Наиболее эффективным является внутреннее введение этих веществ в полимеры.

Снижение возможности образования опасной искры с поверхности наэлектризованного материала достигается в некоторых случаях увеличением электрической емкости заряженного материала по отношению к земле путем установки заземленной металлической пластины либо сетки непосредственно под заряженной поверхностью.

Для снижения напряженности электростатического поля в рабочей зоне применяют стационарные или переносные экраны из металлической сетки с ячейкой площадью 4–8 см<sup>2</sup>.

Для устранения взрывоопасных концентраций мелкодисперсной пыли необходимо устройство эффективной вентиляции непосредственно с места контакта электризующихся материалов. При этом в системе вытяжной вентиляции должны устанавливаться индукционные нейтрализаторы.

Для снижения возможности образования статического электричества при транспортировке жидкостей по трубопроводам рекомендуются скорости, не превышающие значений, указанных в табл. 3.5.

Уменьшить образование электростатических зарядов при заливании жидкостей в резервуар можно также, снизив скорость заливания до значения, не превышающего 1 м/с.

При переливании жидкостей из одной емкости в другую необходимо следить за тем, чтобы жидкость не разбрызгивалась. С этой целью следует использовать трубы или воронки, нижний конец которых должен опускаться на дно сосуда или направлять жидкость вдоль его стенки.

Таблица 3.5

Рекомендуемые максимальные скорости течения жидкостей по трубопроводам в зависимости от диаметра трубопровода

Внутренний диаметр трубопровода, мм	10	25	50	100	200	400	600
Скорость течения, м/с	8,0	4,9	3,5	2,5	1,8	1,3	1,0

Перемешивать жидкости рекомендуется как можно медленнее. При этом миксер выбирают из электростатически проводящих материалов.

В местах и при технологических операциях, где трудно предусмотреть меры, исключающие опасное искрообразование в результате электризации, безопасные условия могут быть обеспечены заменой горючих сред негорючими, проведением операций в атмосфере инертных газов.

### 3.3.4. Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона

**Естественные и искусственные источники электромагнитных полей.** Биологически значимыми физическими факторами, определяющими экологическую ситуацию на Земле, являются электромагнитные излучения различного происхождения и различных диапазонов частот.

Многие тысячелетия электромагнитный фон Земли формировался естественными источниками, основными из которых являются геоэлектрическое и геомагнитное поля, излучения космического, солнечного и околоземного происхождения, а также излучения живых организмов.

Электрическое поле Земли направлено перпендикулярно к земной поверхности, заряженной отрицательно относительно верхних слоев атмосферы. У поверхности Земли напряженность его составляет порядка 130 В/м и с высотой убывает приблизительно по экспоненциальному закону. На высоте около 9 км напряженность уменьшается до 5 В/м.

Годовые изменения электрического поля Земли сходны по характеру на всем земном шаре и достигают максимума в январе – феврале (до 150–250 В/м) и минимума в июне – июле (100–120 В/м). Суточные вариации обусловлены в основном как грозовой деятельностью по земному шару, так и местной грозовой активностью.

Частотный спектр атмосферного электричества простирается в диапазоне от 100 Гц до 10 МГц. Максимум интенсивности (напряженности) находится вблизи 10 кГц и убывает с частотой. Интенсивность грозовой деятельности всегда и везде минимальна в утренние часы и повышается к ночи. В холодное время максимум отмечается среди ночи, в теплое — в 15–18 ч. Во время вспышек на Солнце интенсивность грозовой деятельности усиливается.

Магнитное поле Земли характеризуется двумя параметрами — горизонтальной и вертикальной составляющими.

Горизонтальная составляющая имеет максимальную напряженность у экватора (20–30 А/м), которая убывает к полюсам до единиц А/м.

Вертикальная составляющая у полюсов имеет напряженность порядка 50–60 А/м, уменьшаясь у экватора до пренебрежительно малой величины.

При высокой солнечной активности к Земле могут подходить высокоэнергетические частицы солнечной плазмы. Они вызывают магнитные бури, нарушающие структуру геомагнитного поля (магнитосферу).

Спектр космического и солнечного излучения занимает область приблизительно от 10 МГц до 10 ГГц. В «спокойном» состоянии интенсивность (плотность источника энергии) солнечного излучения находится в пределах  $10^{-10}$ – $10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>. Во время вспышек излучение усиливается в несколько раз.

Спектр и интенсивность излучения галактик близки к спектру и интенсивности солнечного излучения.

Электромагнитная энергия различных диапазонов частот в настоящее время широко применяется в промышленности, науке, быту. Высокие и ультравысокие частоты используются в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки и ковки металла, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Сверхвысокие частоты применяются в радиолокации различного назначения, ядерной физике, медицине, промышленности, быту, в системах наземной и спутниковой связи и других коммуникационных системах (сотовая связь и др.).

В связи с этим значительное воздействие на электромагнитный фон Земли стали оказывать искусственные источники электромагнитного поля (ЭМП). В результате уже в настоящее время практически все население земного шара в боль-

шей или меньшей степени подвергается воздействию надфональных уровней ЭМП.

В процессе эволюционного развития все живые существа на Земле приспособились к определенным изменениям природных электромагнитных полей и, по мнению большинства исследователей, вынуждены были не только выработать по отношению к ним защитные механизмы, но и в какой-то степени включить их в свою жизнедеятельность. Поэтому увеличение или уменьшение параметров ЭМП, значительно отличающихся от адекватных, могут вызвать в организмах функциональные сдвиги, в ряде случаев перерастающие в патологические.

О биологической значимости ЭМП свидетельствуют как давние наблюдения, так и последние экспериментальные исследования на различном уровне организации биологических систем. При этом установлено, что воздействие искусственных ЭМП на биообъекты обусловлено не только энергетическими, но и информационными его характеристиками.

Тепловой механизм воздействия современная теория признает при относительно высоких уровнях (к примеру, в диапазоне сверхвысоких частот это более  $1 \text{ Вт}/\text{см}^2$ ). Информационные биоэффекты проявляются при более низких уровнях ЭМП. В этом случае механизмы воздействия ЭМП еще мало изучены, хотя достоверно установлено, что на биологическую реакцию в таких случаях кроме интенсивности влияют частота и комбинация частот излучения, продолжительность облучения, модуляция сигнала, периодичность действия и др. Сочетание этих параметров может привести к существенно различающимся реакциям облучаемого организма.

Многочисленные исследования позволили установить, что наиболее чувствительными к действию ЭМП являются нервная, сердечно-сосудистая, иммунная и эндокринная системы, при этом выявлена повышенная опасность ЭМП для растущих организмов, а также людей с заболеваниями указанных систем.

При хроническом облучении более ранние и более выраженные реакции обнаруживаются со стороны нервной системы, на уровне нервной клетки и структурных образований по передаче нервных импульсов. Изменяется проницаемость гематоэнцефалического барьера, угнетается высшая нервная деятельность. Психоневрологические симптомы проявляют-

ся в виде постоянной головной боли, повышенной утомляемости, слабости, нарушении сна, повышенной раздражительности, ослаблении памяти и внимания, могут развиваться стрессовые реакции. При многолетнем облучении биоэффекты могут накапливаться, в результате чего возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы в центральной нервной системе, опухоли мозга, лейкозы, гормональные заболевания и др.

Нарушение функции сердечно-сосудистой системы чаще всего проявляется в виде нейроциркулярной дистонии, склонности к гипотонии, болью в области сердца и др. Возможны фазовые изменения в составе периферической крови с последующим развитием умеренной лейкопении, нейропении и эритроцитопении.

В развитии информационных (нетепловых) реакций организма важную роль играют некоторые формы модуляции, возможность возникновения так называемых резонансных эффектов, наличие частотных и амплитудных окон, обладающих высокой биологической активностью на клеточном уровне, при воздействии ЭМП на центральную нервную и иммунную системы.

Воздействие ЭМП незначительных интенсивностей на фоне действия физических и химических факторов усугубляет негативные последствия, а при некоторых их сочетаниях могут развиваться ярко выраженные патологические реакции.

При длительном воздействии СВЧ-излучений могут иметь место изменения в крови, помутнение хрусталика (катаракта), трофические нарушения (выпадение волос, похудение, ломкость ногтей) и др.

Таким образом, признанная биологическая значимость ЭМП, все возрастающая роль искусственных источников ЭМП в формировании электромагнитной обстановки в производственной среде являются важной предпосылкой для освоения будущими специалистами и руководителями производства методик гигиенической оценки и прогнозирования электромагнитных полей в рабочей зоне и жилой территории; определения санитарно-защитных зон и применения других инженерно-технических способов и средств по снижению вредного воздействия ЭМП на организм человека.

**Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях.** Гигиеническая оценка электромагнитного

поля заключается в измерении или расчете (при прогнозировании) ожидаемых уровней нормируемых энергетических характеристик поля и сравнении их фактических значений на рабочих местах (в рабочей зоне) с предельно допустимыми  $E_{\text{п.д.}}$ ,  $H_{\text{п.д.}}$ ,  $\text{ППЭ}_{\text{п.д.}}$  в зависимости от продолжительности воздействия.

В качестве нормируемых характеристик поля в диапазонах ВЧ (30 кГц – 30 МГц) и УВЧ (300 МГц – 30 ГГц) принимаются напряженности поля  $E$ , В/м – электрическая составляющая, а в диапазоне СВЧ – плотность потока энергии ППЭ, Вт/м<sup>2</sup>.

Достоверная оценка опасности и вредности электромагнитного поля на производстве позволяет определить необходимость проведения профилактических мероприятий против их вредного воздействия на организм людей и применения способов и средств защиты.

Рассчитанные значения нормируемых энергетических характеристик поля допускается использовать для гигиенической оценки его на планируемых производствах или объектах с источниками электромагнитных излучений, т.е. для прогнозирования электромагнитной обстановки в том или ином производственном помещении либо жилой зоне.

Расчетные формулы для определения  $E$ ,  $H$ ,  $\text{ППЭ}$  представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Частота ЭМП	Формулы для расчета нормируемых параметров	Обозначения
От 30 кГц до 300 МГц	$E = \frac{I L}{2\pi\epsilon_0\omega r^3}, \text{ В/м}$ $H = \frac{I L}{4\pi r^2}, \text{ А/м}$	$I$ , А – ток в проводнике (антенне); $L$ , м – длина проводника (антенны); $\epsilon_0$ , Ф/м – диэлектрическая проницаемость среды; $\omega$ , рад/с – круговая частота поля
От 300 МГц до 300 ГГц	$\text{ППЭ} = \frac{P_{\text{изл}}}{4\pi r^2} \Phi_3, \text{ Вт/м}^2$ $\text{ППЭ} = \frac{P_{\text{изл}} g}{4\pi r^2} \Phi_3, \text{ Вт/м}^2$	$P_{\text{изл}}$ , Вт – излучаемая мощность; $r$ , м – расстояние до излучателя; $g$ – коэффициент усиления антенны; $\Phi_3$ – фактор земли, зависящий от типа передатчика и характеристики трассы

Для одиночного прямолинейного проводника с током напряженностью магнитного поля  $H$  можно определить по закону полного тока:

$$H = I / (2\pi r),$$

где  $I$  — ток, А;  $r$  — расстояние от проводника до рассматриваемой точки, м. Например, при токе в однофазной сети, равном 3А, и при условии, что обратный провод находится на достаточно большом расстоянии, чтобы его полем можно пренебречь, на расстоянии 0,05м напряженность будет равна

$$H = 3 / (2\pi \cdot 0,05) \approx 10 \text{ А/м};$$

что при длительном воздействии, как считается в настоящее время, представляется небезвредным.

В диапазоне частот 300 Гц – 30 кГц устанавливаются фиксированные значения предельно допустимых уровней, равные по их электрической составляющей 1000 В/м (для условий шахт – 500 В/м), по магнитной составляющей – 25 А/м.

Для персонала предельно допустимое значение  $E$  и  $H$  в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц на рабочем месте следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{\text{п.д.}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.}}}}{T}}, \quad H_{\text{п.д.}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{H_{\text{п.д.}}}}{T}},$$

где  $T$ , ч — время воздействия;  $\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.}}}$ ,  $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$  и  $\mathcal{E}H_{H_{\text{п.д.}}}$ ,  $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$  — предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Предельно допустимые значения энергетической нагрузки

Параметр	Предельные значения в диапазоне частот, МГц		
	от 0,03 до 3,0	свыше 3 до 30	свыше 30 до 300
$\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.}}}$ , $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\mathcal{E}H_{H_{\text{п.д.}}}$ , $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	—	—

Для диапазона 30 кГц – 300 ГГц при воздействии на персонал ЭМП от нескольких источников, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены единые предельно допустимые уровни, следует определять суммарную нагрузку при равных ПДУ по формулам:

$$\mathcal{E}H_{E_1} + \mathcal{E}H_{E_2} + \dots + \mathcal{E}H_{E_n} \leq \mathcal{E}H_{E_{\text{п.д}}},$$

$$\mathcal{E}H_{H_1} + \mathcal{E}H_{H_2} + \dots + \mathcal{E}H_{H_n} \leq \mathcal{E}H_{H_{\text{п.д}}},$$

$$\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_1} + \mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_2} + \dots + \mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_n} \leq \mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_{\text{п.д}}}.$$

При наличии источников, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены разные значения ПДУ, безопасность воздействия ЭМП оценивается суммой отношений энергетических нагрузок, создаваемых каждым источником и соответствующих предельно допустимым значениям параметра:

$$\frac{\mathcal{E}H_{E_1}}{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.1}}}} + \frac{\mathcal{E}H_{E_2}}{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.2}}}} + \dots + \frac{\mathcal{E}H_{E_n}}{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д.н}}}} \leq 1.$$

При воздействии на персонал ЭМП с различными нормируемыми параметрами безопасность воздействия оценивается по критерию

$$\frac{\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}}}{\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_{\text{п.д}}}} + \frac{\mathcal{E}H_E}{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д}}}} \leq 1,$$

$$\frac{\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}}}{\mathcal{E}H_{\text{ППЭ}_{\text{п.д}}}} + \frac{\mathcal{E}H_H}{\mathcal{E}H_{H_{\text{п.д}}}} \leq 1.$$

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне от 0,03 до 3,0 МГц следует считать допустимыми при условии

$$\frac{\mathcal{E}H_H}{\mathcal{E}H_{H_{\text{п.д}}}} + \frac{\mathcal{E}H_E}{\mathcal{E}H_{E_{\text{п.д}}}} \leq 1.$$

Предельно допустимые значения ППЭ в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц следует определять исходя из допустимой

энергетической нагрузки ( $\text{ЭН}_{\text{ППЭ}_{\text{п.д}}}$ , равной  $2 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  или  $200 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ ) и времени воздействия ( $T$ , ч) по формуле

$$\text{ППЭ}_{\text{п.д}} = K \frac{\text{ЭН}_{\text{ППЭ}_{\text{п.д}}}}{T},$$

где  $K$  – коэффициент ослабления биологической активности, равной единице для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 10 – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

При этом максимально допустимое значение  $\text{ППЭ}_{\text{п.д}}$  установлено равным  $1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  для персонала и  $10 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  для населения (непрофессиональное воздействие).

В связи с широким распространением в настоящее время систем сотовой радиосвязи для пользователей радиотелефонов  $\text{ППЭ}_{\text{ПД}}$  не должна превышать  $100 \text{ мкВт}/\text{см}^2$ .

Для электрического поля промышленной частоты (50–60 Гц) предельно допустимый уровень напряженности электрического поля, пребывание в котором не допускается без применения средств защиты, равен  $25 \text{ кВ}/\text{м}$ . При напряженности свыше  $20 \text{ кВ}/\text{м}$  время пребывания персонала в поле не должно превышать 10 мин. Допускается пребывание персонала без средств защиты в течение всего рабочего дня в электрическом поле напряженностью до  $5 \text{ кВ}/\text{м}$ . В интервале от  $5 \text{ кВ}/\text{м}$  до  $20 \text{ кВ}/\text{м}$  включительно допустимое время пребывания  $t_{\text{п.д}}$  определяется по формуле

$$t_{\text{п.д}} = 50 / E - 2,$$

где  $E$  – напряженность действующего электрического поля в контролируемой зоне,  $\text{kV}/\text{м}$ .

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью электрического поля допустимое время пребывания вычисляется по формуле

$$t_{\text{п.д}} \leq 8 \left( t_1 / t_{\text{п.д}1} + t_2 / t_{\text{п.д}2} + \dots + t_n / t_{\text{п.д}n} \right),$$

где  $t_1, t_2, t_n, t_{\text{п.д}1}, t_{\text{п.д}2}, t_{\text{п.д}n}$  – фактическое и допустимое время пребывания в зонах с напряженностью  $E_1, E_2, E_n$ . При необходимости определения напряженности электрического поля при заданном времени пребывания в нем уровень напряженности (в кВ/м) вычисляется по формуле

$$E \leq 50 / (t + 2),$$

где  $t$  – время пребывания в электрическом поле, ч. Предельно допустимое значение напряженности электрического поля внутри зданий  $E_{\text{п.д}} \leq 0,5 \text{ кВ/м}$ , а на территории зоны жилой застройки – 1000 В/м.

**Способы и средства защиты от электромагнитных полей.** При выборе защиты персонала от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др.

Для снижения интенсивности поля в рабочей зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, организовывать лечебно-профилактические мероприятия.

В качестве инженерно-технических методов и средств применяют: экранирование излучателей, помещений и рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей зоне; ослабители (аттенюаторы); эквиваленты нагрузок (например, эквиваленты антенн); средства индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления, как поглощение электромагнитной энергии материалом экрана и ее отражение от поверхности экрана. Поглощение ЭМП обуславливается тепловыми потерями в толще материала экрана за счет индукционных токов и зависит от электромагнитных свойств материала экрана (электрической проводимости, магнитной проницаемости и др.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха (или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия) и энергия материала экрана (главным образом, волновых сопротивлений).

Толщина экрана ( $d$ ) из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм, и должна быть больше глубины проникновения электромагнитной волны в толщу экрана ( $r$ ):

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \mu \sigma}{2}}};$$

где  $\omega$  – круговая частота, рад/с:  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота, Гц;  $\mu$  – магнитная проницаемость материала, Гн/м;  $\sigma$  – электрическая проводимость среды, см/м. Глубина проникновения ЭМП высоких и сверхвысоких частот очень мала (например, для меди она составляет десятые и сотые доли миллиметра), поэтому толщину экрана выбирают по конструктивным соображениям.

Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, так как в результате образования стоячих волн может увеличиваться интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных ситуациях следует применять экраны, преимущественно с малым коэффициентом отражения (1–3%), т.е. поглощающие экраны. С этой целью используются радиопоглощающие материалы в виде тонких резиновых ковриков, гибких или жестких листов поролона, пропитанного соответствующим составом, ферромагнитные пластины и др.

Металлические сетки, применяемые для экранирования, обладают худшими экранирующими свойствами по сравнению со сплошными. Их обычно применяют в тех случаях, когда необходимо производить осмотр и наблюдение экранированных установок, вентиляцию и освещение экранированного пространства. Экранирующая эффективность сеток не превышает 20–30 дБ.

Требуемое ослабление поля ( $L_{тр}$ ) и эффективность экранирования ( $\mathcal{E}_{экп}$ , дБ) определяются по формулам:

$$L_{\text{тр}} = \frac{E_p}{E_{\text{п.д}}} = \frac{H_p}{H_{\text{п.д}}},$$

$$\Theta_{\text{экр}} = \left| \frac{E_2}{E_1} \right|, \quad \Theta_{\text{экр}} = \left| \frac{H_2}{H_1} \right|, \quad \Theta_{\text{экр}} = 10 \lg \frac{\Pi_2}{\Pi_1},$$

$$\Theta_{\text{экр}} = 20 \lg \frac{E_2}{E_1} = 20 \lg \frac{H_2}{H_1}, \text{ дБ}$$

где  $E_p$ ,  $H_p$ ,  $E_{\text{п.д}}$ ,  $H_{\text{п.д}}$  – соответственно, напряженность электрического и магнитного поля на рабочем месте (или жилой зоне) и предельно допустимые их значения;  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  – соответственно напряженность электрического и магнитного поля до и после экранирования;  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  – плотность потока энергии до и после применения экрана.

На расстоянии, равном длине волны ( $\lambda$ ), ЭМП в проводящей среде почти полностью затухает, поэтому для эффективного экранирования толщина стенки экрана должна быть примерно равна длине волны в металле.

Металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для электромагнитной энергии радиочастотного диапазона (при  $d > \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны).

Применение поглощающих нагрузок и аттенюаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМП при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте, рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из трех слоев ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний, защитный, слой – из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используют специальные радиозащитные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом. Эффективность таких очков составляет 20–22 дБ.

Организационные мероприятия включают: требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование; обучение, инструктаж и т.п.), выбор рационального размещения

в рабочем помещении оборудования, излучающего электромагнитную энергию, и рабочих мест; установление рационального режима работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счет сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ); защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т.п.) и др.

Защита расстоянием применяется, когда невозможно ослабить облучение другими методами, в том числе и сокращением, времени пребывания людей в опасной зоне. В этом случае увеличение расстояния между источниками излучения и персоналом позволяет снизить уровень излучения, что видно из следующих выражений для расчета напряженности электрической и магнитной составляющих в ближней зоне, т.е. на расстоянии

$$R \leq \lambda / (2\pi),$$

где  $\lambda$  — длина волны излучения, равная  $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f\sqrt{\epsilon\mu}}$ ,  
 $E = \frac{II}{2\pi\epsilon\omega R^3}$ ,  $H = \frac{II}{4\pi R^2}$ .

В дальней зоне ( $R \gg \lambda / 2\pi$ ) при увеличении рассматриваемого расстояния уменьшается плотность потока энергии, как видно из следующей формулы:

$$\Pi\Pi\mathcal{E} = \frac{P_{изл} G}{2\pi R^2},$$

где  $P_{изл}$  — мощность излучения, Вт;  $G$  — коэффициент усиления антенны.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение заболевания, которое может быть вызвано воздействием ЭМП, а также на своевременное лечение работающих при обнаружении заболеваний.

Для предупреждения профессиональных заболеваний у лиц, работающих в условиях ЭМП, применяются предвари-

тельные меры (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинский контроль за состоянием здоровья, а также меры, способствующие повышению устойчивости организма человека к действию ЭМП (регулярные физические упражнения, рационализация труда, отдыха, а также использование некоторых лекарственных препаратов, общеукрепляющих витаминных комплексов).

**Электротерметичные помещения и замкнутые экраны.** Для локализации ЭМП внутренних источников применяются электротерметичные помещения, аппаратные и кабины, представляющие собой замкнутые электромагнитные экраны. В таких помещениях экранируются стены, потолок, пол, оконные и дверные проемы и вентиляционные системы. Такие помещения и кабины могут использоваться и для защиты от внешних полей.

Монтаж экранов в больших помещениях производится прикреплением металлических листов (стальных, дюралюминиевых и т.п.) непосредственно к поверхности помещения. Размеры листов обшивки и их толщина определяются сортаментом проката. Для достижения электромагнитной герметичности рекомендуется листы соединять внахлест, встык или в фалец.

Для достижения высокой эффективности экранирования, при длине волны  $\lambda \leq 5$  м рекомендуется элементы конструкции экрана сваривать непрерывным швом или применять другие сплошные соединения.

На более низких частотах непрерывная сварка может быть заменена точечной или креплением листов винтами. При этом среднее число контактных точек  $n$  на 1 м длины контакта для обеспечения требуемой эффективности экранирования определяется по формуле

$$n = 10,6 \left( \frac{\Theta}{\lambda} \right)^{0,25},$$

где  $\lambda$ , м — длина волны ЭМП.

В ряде случаев во избежание отражение энергии, образования стоячих волн, зон, где плотность электромагнитного излучения может оказаться больше первоначальной плотности потока энергии, создаваемой источником, стены и другие отражающие конструкции должны быть покрыты поглощающи-

ми материалами. В случае направленного излучения допускается применение поглощающего покрытия только тех стен, на которые направлено излучение.

При защите помещений от внешних излучений применяется оклеивание стен специальными металлизированными обоями, засечивание окон, использование специальных металлизированных драпировок, штор и т.п. Для изготовления экранных штор, драпировок, чехлов и других защитных изделий, как и для изготовления защитной одежды (комбинезонов, халатов, капюшонов и т.п.), применяются радиотехнические ткани.

В качестве экранизирующего материала для световых проемов, приборных панелей, смотровых окон, как и для защитных очков, применяется оптически прозрачное стекло, покрытое полупроводниковой двуокисью олова. Световые проемы или смотровые окна на более низких частотах могут также экранироваться металлической сеткой.

При конструировании замкнутых экранов в диапазоне СВЧ иногда возникает необходимость предусматривать в них различного рода отверстия (вентиляционные окна, отверстия для проводов питания, ручек управления), которые не должны нарушать электромагнитную герметичность экрана и снижать его эффективность.

По условиям проникновения электромагнитной энергии СВЧ-диапазона за пределы экрана подобные отверстия в экранах могут быть разделены на три основных типа излучателей:

- ◆ малые отверстия различной формы без металлических выводов через них (например, смотровые и вентиляционные окна) представляют собой открытые концы волноводов;
- ◆ малые отверстия, через которые проходят провода электропитания или металлические ручки управления, можно рассматривать как открытые концы коаксиальных линий;
- ◆ щели, продольные размеры которых больше длины волны (периметр дверей, вентиляционные жалюзи и т.п.), являются щелевыми излучателями.

Для ослабления излучаемой энергии через отверстия различной формы без металлических выводов через них применяют трубки предельных волноводов (по форме отверстия в экране), длина которых определяется в зависимости от необходимой величины ослабления энергии и ослабляющей способности трубы.

Для трубок круглого сечения ослабление на один сантиметр длины рассчитывается по формуле

$$\Theta_{kp} = 32 / D, \text{ дБ/см},$$

где  $D$ , см – диаметр трубы.

Для трубок прямоугольной формы ослабление на один сантиметр длины рассчитывается по формуле

$$\Theta_p = 27 / d, \text{ дБ/см},$$

где  $d$ , см – размер стороны квадрата или большой стороны прямоугольника.

Коаксиальные отверстия практически беспрепятственно излучают высокочастотную энергию в любом диапазоне. Одним из способов ослабления излучения в коаксиальных выводах является заполнение пространства между центральным и наружным проводниками поглощающим материалом (карбонильным железом, графитом и т.п.). Излучение высокочастотной энергии через коаксиальные отверстия можно уменьшить также путем применения специальных фильтров, простейшим из которых является фильтр, основанный на соединении встык двух коаксиальных линий с резко отличающимися волновыми сопротивлениями. Одна такаястыковка отрезков кабелей обеспечивает затухание по мощности более 10 дБ.

Ослабления излучения щелевыми излучателями добиваются конструированием специальных четвертьвольновых фильтров, представляющих собой канавки глубиной  $\lambda/4$ . Такие фильтры обеспечивают уменьшение проникновения СВЧ-энергии более 10 дБ (недостаток – узкополосность по диапазону).

Более эффективным способом экранирования щелей в широком диапазоне частот является применение поглощающих прокладок по всей ширине щели либо обеспечение плотного электрического контакта по всему периметру щели.

**Защита при промышленной электротермии.** В высокочастотных установках диэлектрического и индукционного нагрева применяется либо общее экранирование установок, либо экранирование отдельных блоков.

При поблочном экранировании отдельные высокочастотные элементы (конденсаторы, трансформаторы, индукторы и др.) экранируются отдельно.

Экран конденсатора выполняется в виде замкнутой камеры из металлических листов или сетки.

Экран трансформатора представляет собой металлический кожух, который во избежание перегрева устанавливается от наружной поверхности трансформатора на расстоянии не менее одного его радиуса.

Экран плавильного или закалочного индуктора выполняется либо в виде подвижной металлической камеры, опускающейся на время нагрева и поднимающейся после его окончания, либо в виде неподвижной камеры с открывающейся дверью.

В установках диэлектрического нагрева экранированию подлежат пластины рабочего конденсатора и фидеры, подвоящие к ним высокочастотную энергию. Экран может выполняться в виде металлической камеры, шкафа, короба и т.п.

Смотровые окна в экранирующих камерах и генераторных устройствах экранируются с помощью мелкоячеистой металлической сетки с плотным контактом по периметру окон.

Линии питания технологических элементов высокочастотной энергии должны быть выполнены коаксиальными кабелями или заключены в металлические экраны. Экраны комплектуются электроблокировкой, исключающей подачу высокочастотной энергии при открытии или снятии экрана.

### **3.3.5. Защита от постоянного и переменного магнитного поля**

**Источники постоянных и переменных магнитных полей. Их влияние на организм человека.** Источниками постоянного магнитного поля на производстве являются технологическое оборудование и процессы, в которых используются электромагниты постоянного тока, литье и металлокерамические магниты, а переменного магнитного поля частотой 50 Гц – различные силовые установки, токоведущие части мощного технологического оборудования и линии электропитания.

Негативное воздействие магнитных полей выражается в нарушении функций центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и других систем организма, что влечет снижение работоспособности, ухудшение психофизиологического состояния и угнетение общей активности.

Интенсивность магнитных полей характеризуется магнитной индукцией  $B$ , Тл (tesla), потоком магнитной индукции  $\Phi$ , Вб (вебер) и напряженностью  $H$ , А/м (ампер на метр).

Магнитная индукция характеризует направление действия магнитной силы и ее значение в данной точке поля. *Магнитная индукция* – это векторная величина, численно равная силе, с которой магнитное поле действует на проводник длиной в 1 м с протекающим по нему током в 1 А и определяется по формуле

$$B = \frac{F}{Il},$$

где  $B$  – магнитная индукция, Тл;  $F$  – сила, действующая на проводник с током, Н;  $I$  – сила тока в проводнике, А;  $l$  – длина проводника, м.

*Поток магнитной индукции* – физическая величина, характеризующая количество магнитной индукции, воздействующее на единицу площади поверхности. Поток магнитной индукции  $\Phi$  определяется по формуле

$$\Phi = S \cos \alpha,$$

где  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол между направлением действия магнитной индукции и нормалью к поверхности.

*Напряженность* постоянного и переменного магнитного поля – это физическая величина, характеризующая магнитное поле и определяемая по формуле

$$H = \frac{B}{\mu_a},$$

где  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость:  $\mu_a = \mu_0 \mu$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $4\pi \cdot 10^7$  Гн/м);  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

Соотношение значений напряженности магнитного поля и магнитной индукции следующее:

$$1 \text{ мТл} = 800 \text{ А/м}; 1 \text{ А/м} = 1,25 \text{ мкТл}.$$

**Нормирование и гигиеническая оценка магнитных полей.** Нормируемыми параметрами магнитных полей являются напряженность поля и магнитная индукция, предельно допустимые значения, которых для постоянного поля представлены в табл. 3.8, а для переменного – в табл. 3.9 и 3.10.

**Способы и средства защиты от магнитных полей.** При защите от магнитных полей применяются организационно-планировочные и технические способы и средства.

Таблица 3.8

**Предельно допустимые значения напряженности и магнитной индукции  
для постоянного магнитного поля**

Время воз- действия за рабочий день, ч	Область воздействия			
	Все тело		Локальная (конечности)	
	Напряжен- ность, кА/м	Магнитная индукция, мТл	Напряжен- ность, кА/м	Магнитная индукция, мТл
1,0	16,0	20,0	24,0	30,0
8,0	8,0	10,0	8,0	10,0

Таблица 3.9

**Предельно допустимые значения магнитной индукции ( $B_{п,д}$ ) и напряженности ( $H_{п,д}$ )  
переменных магнитных полей при импульсном воздействии**

Продол- житель- ность воздей- ствия, ч	Длительность пауз между импульсами $t_p \leq 2$ с				Длительность пауз между импульсами $t_p > 2$ с	
	Длительность импульса $\tau_i$				Длительность импуль- са $\tau_i$	
	$\tau_i \geq 0,02$ с		$1,0$ с $\leq \tau_i \leq 60$ с		$0,02$ с $\leq \tau_i \leq 1,0$ с	
$H$ , А/м	$B$ , мкТл	$H$ , А/м	$B$ , мкТл	$H$ , А/м	$B$ , мкТл	
<1,0	6000	7500	8000	10000	10000	12500
2,0	4900	6125	6900	8625	8900	11125
3,0	4000	5000	6000	7500	8000	10000
4,0	3200	4000	5200	6500	7200	9000
6,0	2000	2500	4000	5000	6000	7500
7,0	1600	2000	3600	4500	5600	7000
8,0	1400	1750	3400	4250	5400	16750

К работе с источниками магнитных полей (магнитными материалами, оборудованием) допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный и периодический осмотры не реже одного раза в год.

Источники магнитных полей, располагаемые в общих производственных помещениях, должны выделяться в отдельные участки. Установки, являющиеся источниками магнитных полей,

Таблица 3.10

Предельно допустимые уровни магнитной индукции ( $B_{\text{п.д.}}$ ) и напряженности ( $H_{\text{п.д.}}$ ) переменного магнитного поля при непрерывном действии

Продолжительность воздействия, ч	Область воздействия			
	Все тело		Локальная (конечности)	
	$H$ , А/м	$B$ , мкТл	$H$ , А/м	$B$ , мкТл
1,0	400	500	1600	2000
8,0	80	100	800	1000

должны быть удалены одна от одной и от других рабочих мест не менее чем 1,5–2,0 м.

«Магнитомягкие» материалы (трансформаторное железо, кремниевая сталь и др.) должны располагаться на расстоянии не менее 1,0 м от установок – источников магнитного поля, так как они могут стать дополнительными источниками электромагнитного поля.

Намагниченные материалы должны храниться в специальных приспособлениях («ярмах»), которые частично или полностью замыкают магнитные поля.

Для защиты от переменных магнитных полей могут использоваться экраны из ферромагнитных материалов различной конструкции.

### 3.3.6. Защита от лазерных излучений

**Источники и биоэффекты лазерных излучений.** Оптические квантовые генераторы (ОКГ), или лазеры, оцениваются как одно из самых перспективных достижений науки и техники двадцатого века.

В лазерной технике как части квантовой электроники для генерации, преобразования и усиления электромагнитных колебаний используются квантовые явления.

Слово *лазер* – аббревиатура английского выражения Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – усиление света вынужденным излучением.

Широкое применение ОКГ в промышленности для обработки материалов (резка, точечная сварка, сверление отверстий, закалка), медицине (диагностика, хирургия глаза, нейрохирургия), военном деле, науке и других областях ставит

вопрос о защите работающих от опасных и вредных факторов лазеров и лазерных технологических установок.

При работе с источниками лазерных излучений (ЛИ) персонал может подвергаться воздействию излучения высокой интенсивности в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, воздействию рентгеновского и радиочастотного излучения, воздействию высокого электрического напряжения, а также загазованности и запыленности воздуха — при обработке лазерным лучом синтетических материалов (стеклотекстолит и др.). Однако основным поражающим фактором является интенсивность лазерного излучения (прямого, отражающего и рассеянного).

Лазерное излучение может генерироваться в диапазоне длин волн от 0,2 до 1000 мкм, который в соответствии с биологическим действием, разбивается на следующие области спектра:

- ◆ ультрафиолетовая — от 0,2 до 0,4 мкм;
- ◆ видимая — от 0,4 до 0,75 мкм;
- ◆ ближняя инфракрасная — от 0,75 до 1,4 мкм;
- ◆ дальняя инфракрасная — более 1,4 мкм.

Биологическое воздействие лазерного излучения зависит от его интенсивности (энергетической экспозиции в импульсе  $H$  или энергетической освещенности  $E$ ); длины волны излучения  $\lambda$ ; длительности импульса  $t$ ; частоты следования импульсов  $f$ ; продолжительности воздействия  $t$ ; площади облучаемого участка  $S$ ; биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов.

Биологические эффекты ЛИ делятся на две группы: первичные, возникающие в результате термического воздействия (органические изменения в облучаемых тканях), и вторичные, возникающие в результате нетеплового воздействия на весь организм (функциональные нарушения в центральной нервной системе, сердечно-сосудистой системе и др.). Первичные эффекты обусловливаются главным образом энергетическими характеристиками излучения, а вторичные — его качественными параметрами ( $\lambda, t, f$  и др.).

Основными критическими органами при облучении лазерным излучением являются глаза и открытые участки тела (кожа). Наибольшую опасность ЛИ представляет для глаз. Роговица и хрусталик легко повреждаются и теряют прозрачность под действием излучений различных диапазонов. В диапазоне 0,4–1,4 мкм опасность для зрения резко возрастает, так как

для этих длин волн оптическая среда глаза является прозрачной и фокусирует попадающие во входной зрачок глаза излучения на плоскость сетчатки. Это может привести к тому, что освещенность сетчатки превысит освещенность роговицы во много раз. В результате возможно разрушение и термокоагуляция тканей и потеря зрения. Вероятность поражения зрения увеличивается при большем диаметре зрачка, что имеет место в темных или слабо освещенных помещениях.

Интенсивное облучение кожи может вызывать в ней различные изменения — от легких функциональных, сопровождающихся покраснением, до тяжелых патологических, включая омертвление. При этом возможно повреждение не только кожи, но и внутренних тканей и органов, особенно, когда луч ОКГ фокусируется внутри облучаемой ткани.

**Нормирование и гигиеническая оценка лазерных излучений.** Нормируемыми параметрами лазерного излучения являются энергетическая экспозиция ( $H$ , Дж/м<sup>2</sup>) и освещенность ( $E$ , Вт/м<sup>2</sup>), а также энергия  $W$  (Дж) и мощность  $P$  (Вт) излучения, которые связаны соотношениями

$$H = \frac{W}{S_a} \quad \text{и} \quad E = \frac{P}{S_a},$$

где  $S_a$  — площадь ограничивающей апертуры, через которую проходит лазерный луч, м<sup>2</sup>.

Предельно допустимые уровни лазерного излучения ( $H_{\text{ПДУ}}$ ,  $E_{\text{ПДУ}}$ ,  $W_{\text{ПДУ}}$ ,  $P_{\text{ПДУ}}$ ) устанавливаются при воздействии на глаза и кожу при однократном и хроническом облучении для трех диапазонов длин волн (0,2–0,4 мкм; 0,4–1,4 и свыше 1,4 мкм).

По степени опасности генерируемого излучения лазеры подразделяются на четыре класса. Определение класса лазера основано на сравнении его выходной энергии (мощности) и предельно допустимых уровней при однократном воздействии генерируемого излучения.

К лазерам I класса относятся полностью безопасные лазеры, т.е. такие лазеры, выходное прямое (поллимированное) излучение которых не представляет опасности при облучении глаз и кожи.

Лазеры II класса — это лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении кожи или глаз человека только прямым излучением (поллимированным пучком).

К лазерам III класса относятся лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз прямым и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности и при облучении кожи только прямым излучением. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучение с длиной волны от 0,4 до 1,4 мкм.

Лазеры IV класса – это такие лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для глаз и кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

Класс опасности лазерного изделия (технологической установки) определяется классом используемого в нем лазера.

Класс опасности лазера устанавливается предприятием-изготовителем по выходным характеристикам излучения расчетным методом.

Гигиеническая оценка лазерного излучения, или дозиметрический его контроль, заключается в сопоставлении нормируемых характеристик лазерного излучения на рабочем месте или в рабочей зоне с предельно допустимыми их значениями.

Различают две формы дозиметрического контроля – предупредительный (оперативный) дозиметрический контроль и индивидуальный дозиметрический контроль.

Предупредительный дозиметрический контроль заключается в определении максимальных уровней нормируемых энергетических характеристик лазерного излучения в точках на границе рабочей зоны, а индивидуальный – в изучении этих параметров излучения, воздействующего на глаза (кожу) конкретного работающего в течение рабочего дня.

Предупредительный дозиметрический контроль лазерного излучения должен проводиться не реже одного раза в год.

**Способы и средства защиты от лазерных излучений.** Для защиты от лазерных излучений применяются коллективные и индивидуальные способы защиты, которые принципиально можно разделить на организационно-планировочные и инженерно-технические.

*Организационно-планировочные способы и средства защиты:*

◆ рациональное с точки зрения безопасности размещение рабочих мест и лазерного оборудования;

◆ допуск к работе лиц, прошедших специальное обучение, медицинское освидетельствование, инструктаж и т.д.;

- ◆ обязательное выделение или ограждение лазероопасной зоны дисциплинарными барьерами;
- ◆ установка в помещении не более одного лазера (если два, то их следует помещать в светонепроницаемые боксы);
- ◆ направление луча лазера на огнестойкую и неотражающую стенку;
- ◆ окраска поверхностей помещения в цвета с малым коэффициентом отражения (темные матовые цвета, мишень – в светлый цвет);
- ◆ обеспечение в помещении достаточно интенсивного естественного (коэффициент естественной освещенности не менее 1,5%) и искусственного (освещенность рабочих поверхностей не менее 150 лк) освещения;
- ◆ предупредительный дозиметрический контроль лазерного излучения.

*Инженерно-технические способы и средства защиты:*

- ◆ уменьшение мощности источника (если позволяет технология);
- ◆ укрытие генератора и лампы накачки светонепроницаемым экраном;
- ◆ устройство блокировки, исключающей работу генератора при открытом или снятом кожухе, а также блокировки входных дверей в помещение участка или боксов;
- ◆ передача лазерного луча к мишени по световодам или по ограниченному непрозрачным экраном пространству;
- ◆ применение дистанционного управления, а также сигнальных устройств.

К индивидуальным средствам защиты, применяемым при проведении пуско-наладочных и ремонтных работ с открытыми лазерными установками, относятся средства защиты глаз и лица (защитные очки, щитки, насадки), средства защиты рук, специальная одежда.

При выдаче средств индивидуальной защиты учитывается длина волны излучения и оптическая плотность светофильтров.

Оптическая плотность светофильтров, применяемых в защитных очках ( $D_\lambda$ ), должна удовлетворять условию

$$D_\lambda \geq 10 \lg \frac{H_{\max}(E_{\max})}{H_{\text{ПДУ}}(E_{\text{ПДУ}})}, \text{ дБ},$$

а для излучения с длиной волны ( $\lambda$ ) от 0,4 до 1,4 мкм и выше:

$$\Delta_{\lambda} \geq 10 \lg \frac{W_{\max}(P_{\max})}{W_{\text{ПДУ}}(P_{\text{ПДУ}})}, \text{дБ},$$

где  $H_{\max}$ ,  $E_{\max}$ ,  $W_{\max}$ ,  $P_{\max}$  — максимальные значения нормируемых параметров лазерного излучения в рабочей зоне;  $H_{\text{ПДУ}}$ ,  $E_{\text{ПДУ}}$ ,  $W_{\text{ПДУ}}$ ,  $P_{\text{ПДУ}}$  — предельно-допустимые значения этих параметров при хроническом облучении.

Зашитные лицевые щитки применяются в тех случаях, когда лазерное излучение представляет опасность не только для глаз, но и для кожи лица. Перечень некоторых защитных очков, щитков и насадок приведен в табл. 3.11.

При наладке резонаторов газовых лазеров, работающих в видимой области спектра (0,4—0,75 мкм), для защиты глаз применяются защитные насадки (ЗН).

Таблица 3.11

Некоторые марки защитных очков, щитков и насадок, рекомендуемых для защиты глаз и кожи лица

1	Марки очков	Марка светофильтров	Диапазон защиты, мкм	Оптическая плотность
	ЗН22-72-С3С22 ЗНД4-72-С3С22- СС23-1 ЗН62-Л17 ЗН62-ОЖ	С3С22 С3С22 ОС23-1 Л17 ОЖ	0,63—0,68; 0,68—1,2—1,4 0,63—0,68; 0,68—1,2—1,4 0,4—0,53 0,6—1,1 0,2—0,51	3; 6; 3 3; 6; 3 6 4 3
2	Марка щитка	Марка светофильтра	Диапазон защиты, мкм	Оптическая плотность
	НФП2	Л17	10,6	2
3	Марка насадки	Длина волны, мкм (тип лазера)	Максимальная мощность, Вт	
	ЗН-0,441	441 (гелий-кадмийевый)	3—4	
	ЗН-0,488	488 (argonовый)	3—4	
	ЗН-0,51(0,58)	0,51 и 0,58 (на парах меди)	3—4	

Уменьшение действующего на оператора излучения ( $H_{оп}$ ) при использовании халатов, перчаток и других средств защиты из ткани может быть рассчитано по следующей формуле:

$$H_{оп} = HK^m,$$

где  $K$  – коэффициент пропускания ткани (для тканей белого цвета  $K = 0,06–0,08$ );  $m$  – число слоев ткани.

### 3.3.7. Защита от ультрафиолетового излучения

**Источники и биоэффекты ультрафиолетового излучения.** Ультрафиолетовые излучения занимают спектральную область, лежащую между самыми длинными волнами рентгеновского излучения и самыми короткими волнами видимого спектра, т.е. от 0,2 до 0,4 мкм.

В зависимости от биоэффектов, вызываемых ультрафиолетовым излучением, указанный диапазон разделяется на три основные части:

- ◆ длинноволновой (ближнее излучение) с длиной волны от 0,4 до 0,32 мкм;
- ◆ средневолновой (эритемное излучение) с длиной волны от 0,32 до 0,28 мкм;
- ◆ коротковолновой (бактерицидное излучение) с длиной волны менее 0,28 мкм.

Мощнейшим естественным источником ультрафиолетового излучения (УФИ) является солнечная радиация, которая благодаря стрatosферному озоновому слою на пути к Земле значительно ослабляется в диапазоне от 0,25 до 0,35 мкм. Определенное влияние на ослабление УФ-излучения оказывают также облака и загрязненность атмосферы пылегазовоздушными отходами производства.

Искусственными источниками УФ-излучения являются лампы накаливания, газоразрядные лампы, сварочные аппараты, плазменные горелки и лазеры.

Ультрафиолетовое излучение характеризуется двойственным действием на организм: с одной стороны, опасностью переоблучения, а с другой – его необходимостью для нормального функционирования организма человека, поскольку УФ-лучи являются важными стимуляторами некоторых био-

логических процессов, в том числе синтеза ряда биологически активных веществ (например, витамина D).

Облучение людей УФ-лучами может вызвать эритемное и канцерогенное действие. Эритемное проявляется в покраснении и пигментации («загар») кожи (при  $\lambda \leq 0,32$  мкм), а канцерогенное – в накожных раковых заболеваниях (при  $\lambda = 0,23-0,32$  мкм). Пигментация кожи является нормальной фотохимической реакцией и не влечет никаких осложнений. Она становится заметной у европейцев при величине УФ-излучения, равной примерно  $0,03$  Дж/см<sup>2</sup>.

Под воздействием УФ-излучения с длиной волны около 0,288 мкм могут наблюдаться фотоаллергические реакции, а облучение глаз значительными уровнями приводит к воспалению конъюнктивы (конъюнктивит) и роговой оболочки (кератит).

**Нормирование и оценка ультрафиолетового излучения.** Так как ультрафиолетовое излучение оказывает двойственное действие на людей, то при нормировании допустимых значений учитывается необходимость ограничения его при больших интенсивностях и обеспечение необходимых уровней для предотвращения ультрафиолетовой недостаточности.

Нормируемым параметром ультрафиолетового излучения является эритемная доза (ЭТД) в эдрах. По мощности один эр ( $\lambda=0,29$  мкм) равен одному ватту.

Предельно допустимое значение эритемной дозы ЭТД<sub>п.д.</sub> равно 600–900 мкэр·мин/см<sup>2</sup>. Для профилактики ультрафиолетовой недостаточности необходима примерно десятая часть ЭТД<sub>п.д.</sub>, т.е. порядка 60–90 мкэр·мин/см<sup>2</sup>.

Оценка бактерицидного действия УФ-излучения производится в бактах (б). Для обеспечения бактерицидного эффекта УФ-излучения его уровень должен быть не менее 50 мкб·мин/см<sup>2</sup>.

Фактические мощности УФ-излучения на расстоянии 5–30 см от экрана дисплея не должны превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>.

**Способы и средства защиты.** Защита от УФ-излучения заключается в применении спецодежды и защитных очков (например, при сварке) с различной степенью прозрачности в области УФ-излучения. Полную защиту от ультрафиолетового излучения по всему спектру обеспечивает плексиглас и тяжелое стекло, содержащее окись свинца толщиной 2 мм и более.

### 3.3.8. Защита от инфракрасного излучения

**Источники и биоэффекты инфракрасного излучения.** Инфракрасное (тепловое) излучение (ИК) излучается любым нагретым телом, температура которого превышает значение абсолютного нуля. Его диапазон простирается от 0,75 мкм до 1000 мкм. Нагретые тела, имеющие температуру выше 100 °С, являются источниками коротковолнового излучения ( $\lambda \approx 0,7-0,9$  мкм). С уменьшением температуры нагретого тела от 100 до 50 °С ИК-излучение характеризуется в основном длинноволновым спектром.

На производстве источниками ИК-излучения являются нагретые поверхности оборудования, обрабатываемых деталей и заготовок, различные виды сварки, плазменной обработки и др.

Основным биоэффектом ИК-излучения является тепловой, так как излучения с длиной волны более 1,5 мкм почти полностью поглощаются биологическими тканями. Поэтому при длительном пребывании человека в зоне излучения возможно нарушение механизма терморегуляции, водно-солевого режима и т.п.

Воздействие интенсивного коротковолнового ИК-излучения ( $\lambda < 1,5$  мкм) на открытые участки тела человека проявляются в виде ожога кожи, расширении просвета капилляров и увеличении пигментации кожи. Результатом воздействия его на глаза может явиться ожог кожи век (эрите́ма и образование пузырей). Повторное воздействие ИК-излучения на глаза может привести к хроническому воспалению век, помутнению хрусталика, спазму зрачка, ожогу сетчатки и др.

**Нормирование и оценка инфракрасного излучения.** Опасность облучения ИК-лучами оценивается по величине плотности потока энергии (ППЭ), которая не должна превышать значений, приведенных в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Значения плотности потока энергии

Облучаемая поверхность тела, %	ППЭ <sub>п.д.</sub> , Вт/м <sup>2</sup>
50 и более	35
50–25	70
не более 25	100

Кроме допустимых значений плотности потока энергии ограничивается также и температура нагретых поверхностей. Если температура источника ( $t_{\text{ист}}$ ) тепла не превышает 100 °C, то поверхность оборудования должна иметь температуру ( $t_{\text{п.д.}}$ ), не превышающую 35 °C, а при  $t_{\text{ист}} > 100$  °C  $t_{\text{п.д.}} \leq 45$  °C.

**Способы и средства защиты.** Основными способами и средствами защиты от ИК-излучений являются: снижение интенсивности излучения источника; экранирование источника или рабочего места; использование средств индивидуальной защиты; лечебно-профилактические мероприятия.

Наиболее распространенными средствами защиты от ИК-излучения являются ограждающие устройства, т.е. конструкции, отражающие или поглощающие ИК-излучения. Конструктивно экраны могут выполняться из одной или нескольких параллельно размещенных с зазором пластин. Охлаждение пластин может осуществляться естественным или принудительным способом.

Отражающие устройства изготавливаются из листового алюминия, белой жести, алюминиевой фольги, укрепленной на несущем материале (картоне, сетке). С этой целью может использоваться силикатное закаленное стекло с пленочным окисло-оловянным покрытием и легированными добавками, превосходящим по своим отражательным способностям экраны из сталинита.

Для теплопоглощения могут использоваться металлические сетки, армированное стекло, водяные завесы.

Для предотвращения ожогов при прикосновении к нагретым поверхностям применяется их теплоизоляция с помощью различных материалов и конструкций (минеральная вата, стекловата, асбест, войлок и т.п.).

В качестве средств индивидуальной защиты применяются фибровые и дюоралевые каски, защитные очки, наголовные маски с откидными экранами и др.

Лечебно-профилактические мероприятия включают предварительные и периодические медицинские осмотры в целях предупреждения и ранней диагностики заболеваний у работающих.

### 3.3.9. Защита от ионизирующих излучений

**Естественные и искусственные источники ионизирующих излучений.** Ионизирующими излучениями называются излучения, которые способны прямо или косвенно ионизировать

среду (вещество), т.е. создавать в ней заряженные атомы и молекулы — ионы разного знака.

Различают корпускулярное и фотонное ионизирующее излучение.

*Корпускулярное ионизирующее излучение* представляет собой поток элементарных частиц с массой покоя, отличной от нуля. Такие частицы образуются при радиоактивном распаде, делении ядер в атомном реакторе, ядерных превращениях, а также при работе ускорителей электронов и других элементарных частиц. К корпускулярному излучению относятся  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы, нейтроны ( $n$ ), протоны ( $p$ ) и др.

*Фотонное излучение* — это поток электромагнитных колебаний, которые распространяются в вакууме с постоянной скоростью 300 000 км/с. К нему относятся  $\gamma$ -излучение, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение. Они отличаются условиями образования, длиной волны и энергией.

Естественными природными источниками ионизирующих излучений являются высокоэнергетические космические частицы, солнечная радиация, которые при взаимодействии с атмосферой Земли, теряя свою энергию, порождают радиоактивные изотопы и большое количество вторичных излучений.

Кроме того, в земной коре рассеяны такие долгоживущие радиоизотопы, как калий-40, уран-238, торий-232 и другие, являющиеся источниками  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц,  $\gamma$ -квантов и др.

Распад урана и тория сопровождается образованием радиоактивного газа радона, который из горных пород постоянно поступает в атмосферу и гидросферу, распространяясь повсеместно. При распаде радон образует дочерние изотопы свинца, висмута и полония. Цепочка распада радона завершается стабильным изотопом свинца-206. Дочерние продукты распада радона, попадая в дыхательные пути и легкие, расходятся, выделяя  $\alpha$ -частицы.

Естественные радиоизотопы встречаются в любой почве, однако их концентрация больше всего в гранитах, монокитах и глиноzemах.

Итак, космические излучения и изотопы земной коры создают естественный радиационный фон Земли, обладающий ионизирующим свойством и являющийся специфическим для каждой местности (к примеру, в Бразилии в штате Рио-де-Жанейро в монокитных почвах содержится торий, радиационный фон достигает 10 мЗв/г, а в штате Керано в Индии — до 28 мЗв/г).

К искусственным (техническим) источникам относятся устройства как специально созданные для использования излучения, так и в виде побочного продукта деятельности. Наибольший вклад в формирование радиационного фона Земли вносят радиоактивные выпадения от взрывов атомных и термоядерных устройств, выбросы атомных электростанций и предприятий по переработке ядерного топлива, выбросы золы тепловых электростанций, содержащие естественный радиоактивный торий и радий. К техническим источникам относятся также ускорители элементарных частиц, мощные облучательные установки, аппараты для лучевой терапии, радиоизотопные термоэлектрические генераторы, различные измерительные приборы (толщиномеры, плотномеры, влагомеры, высотомеры, сигнализаторы уровня жидкости и др.), нейтрализаторы статического электричества, электрокардиостимуляторы, пожарные извещатели и др.

Таким образом, человек и биосфера Земли постоянно подвергаются воздействию сравнительно небольшого естественного радиационного фона. Однако бурное развитие ядерной энергетики и широкое использование источников излучения практически во всех сферах человеческой деятельности создали потенциальную угрозу загрязнения биосферы радиоактивными веществами и радиационной опасности для населения Земли. Поэтому проблема защиты от ионизирующих излучений (радиационной безопасности) приобрела в настоящее время международное значение.

**Возникновение ядерных ионизирующих излучений.** Общеизвестно, что любое вещество или химический элемент состоит из молекул и атомов. Согласно планетарной модели атома английского физика Э. Резерфорда (1911), ядро атома состоит из положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Протоны и нейтроны имеют общее название *нуклон*. Вокруг ядра врачаются по своим орбитам отрицательно заряженные электроны. Электрический заряд ядра равен суммарному заряду электронов, поэтому атом в целом электрически нейтрален.

Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одинаковое число протонов, но количество нейтронов в них может быть разным.

Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, относятся к разновидностям

одного и того же химического элемента и называются *изотопами*. Чтобы отличить их друг от друга, к символу элемента приписывается число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа.

Полное число протонов и нейтронов (нуклонов) называется *массовым числом* и является мерой стабильности ядра. Чем ближе к концу таблицы Менделеева расположен элемент, тем больше массовое число, тем больше нейтронов в ядре и тем менее устойчивы эти ядра.

Ядра всех протонов образуют группу нуклидов, некоторые из которых являются стабильными, т.е. при отсутствии внешнего воздействия не претерпевают никаких превращений, а большинство нестабильны, т.е. постоянно превращаются в другие нуклиды за счет превращения нейтронов в протоны. Этот процесс называется *радиоактивным распадом*, а такой нуклид – *радионуклидом*.

Электроны ядра располагаются на орбитах в строгой последовательности: на ближайшей к ядру орбите может находиться не более 2 электронов, на следующей – не более 8, на третьей – 18, далее – 32.

Переход атома из одного состояния в другое сопровождается скачкообразным изменением и его энергии. При этом происходит либо излучение, либо поглощение строго фиксированной порции энергии, называемой *квантом*.

Распад радиоактивных атомов сопровождается выходом (испусканием)  $\alpha^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ -частиц, конверсионных электронов,  $\gamma$ -квантов, иногда рентгеновского излучения. Число ядерных превращений не всегда совпадает с числом испущенных частиц и еще реже – с числом испускаемых  $\gamma$ -квантов. Чтобы определить число частиц или  $\gamma$ -квантов, испускаемых на распад ядра, необходимо знать схему распада данного радионуклида.

Скорость распада различных радионуклидов неодинакова: одни распадаются очень быстро, другие – очень медленно. Время, в течение которого распадается половина всех атомов радиоактивного препарата, называется *периодом полураспада*  $T_{1/2}$  (к примеру, период полураспада урана-238 равен 4,47 млрд лет, а йода-131 – всего 8 сут).

Каждый радионуклид испускает строго определенное излучение с характерной энергией. По этим излучениям устанавливают радионуклид. Например, цезий-137 при распаде излучает бета-частицы и гамма-квант, превращаясь в стабильный протон барий (рис. 3.12). Стронций-90 испускает бета-частицу

и образует иттрий-90, который в свою очередь распадается с испусканием также бета-частицы. Плутоний-239 излучает тяжелые альфа-частицы с очень большой энергией. Число распадов не всегда соответствует количеству испущенных частиц, так как при каждом превращении их может выделяться несколько.

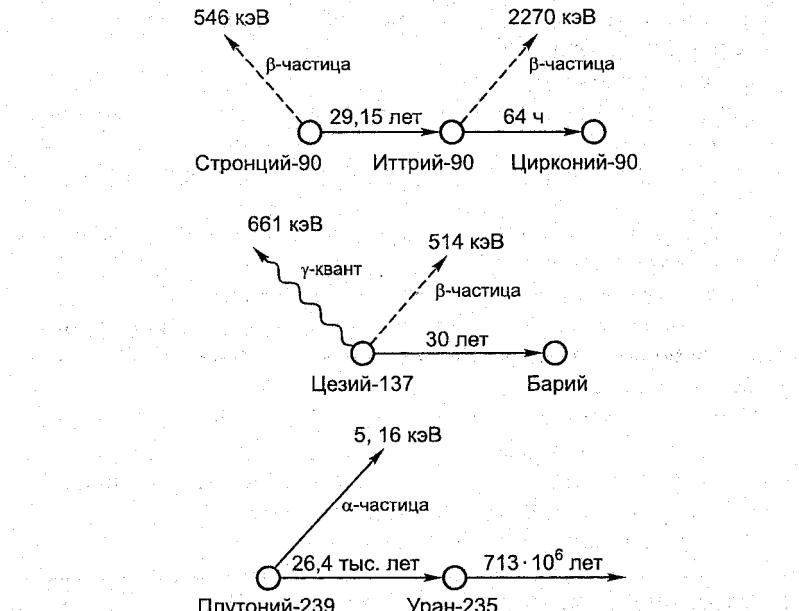


Рис. 3.12. Распад некоторых радионуклидов чернобыльского выброса

Число распадающихся ядер (ядерных превращений)  $dN$  в определенном количестве вещества в течение определенного интервала времени  $dt$  называется *radioактивностью* ( $A$ ), т.е.

$$A = dN / dt .$$

Единицей активности нуклида в источнике является одно ядерное превращение или один распад в секунду (расп/с). В системе СИ эта единица получила название беккерель (Бк);  $1\text{Бк} = 1 \text{ расп/с}$ .

Внесистемная единица активности кюри (Ки) определяется как активность такого числа радионуклида, в котором происходит  $3,7 \cdot 10^{10}$  актов распада в секунду.

Различают радиоактивность источника (в источнике) как меру количества радиоактивного вещества, выраженную числом радиоактивных превращений в секунду (Бк), удельную активность как концентрацию активности в массе радиоактивного вещества (Бк/кг), объемную активность как концентрацию активности в объеме радиоактивного вещества (Бк/м<sup>3</sup>), а также плотность загрязнения как концентрацию активности на поверхности территории (Бк/м<sup>2</sup>).

Экспериментально установлено, что число радиоактивных атомов данного радионуклида уменьшается со временем по экспоненциальному закону:

$$N(t) = N(0) \exp(-\lambda t),$$

где  $N(0)$  – количество радиоактивных атомов в начальный момент времени ( $t = 0$ );  $\lambda$  – постоянная распада, характеризующая скорость уменьшения числа радиоактивных ядер, с<sup>-1</sup>.

Активность ( $A$ ) радионуклида связана с числом радиоактивных атомов ( $N$ ) в источнике в данный момент времени соотношением

$$A = \lambda N = 0,693 \cdot N / T_{1/2}.$$

Масса одного атома равна  $m_a/N_a$ , где  $m_a$  – атомная масса;  $N_a = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> – число Авогадро), поэтому полная масса радионуклида  $m$ , соответствующая активности  $A = 1$  Бк, равна (г/Бк)

$$m = N \frac{m_A}{N_A} = \frac{T_{1/2}}{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 0,693},$$

где  $T_{1/2}$  – период полураспада, с.

**Некоторые характеристики ионизирующих излучений. Альфа-излучение** ( $\alpha$ -частица) – это поток частиц, являющихся ядрами атома гелия и обладающих двумя единицами заряда. Энергия  $\alpha$ -частиц, испускаемых различными радионуклидами, лежит в пределах 2–8 МэВ. При этом все ядра данного радионуклида испускают  $\alpha$ -частицы, обладающие одной и той же энергией. Чем больше энергия частицы, тем больше ионизация среды в единице объема массы среды или на единице длины пути. Альфа-частицы обладают наибольшей ионизирующей способностью и наименьшей проникающей способ-

ностью по сравнению с другими ионизирующими излучениями. Их удельная ионизация изменяется от 25 до 60 тыс. пар ионов на 1 см пути в воздухе, а длина пробега, т.е. путь, пройденный частицей в веществе до ее полной остановки (поглощения), в воздухе составляет 8–9 см, а в биологической ткани несколько десятков микрон (порядка 30–100 мкм).

Альфа-частицы используются для ионизации газов, создания атомных батарей и источников высокого напряжения.

Опасными участками облучения  $\alpha$ -частицами являются долго незаживающие ожоги на коже после контакта с их мощными источниками. Особенно опасно попадание  $\alpha$ -частиц внутрь организма.

*Бета-излучение* представляет собой поток электронов ( $\beta^-$ ) или протонов ( $\beta^+$ ). При распаде ядер  $\beta$ -активного радионуклида, в отличие от  $\alpha$ -распада, различные ядра данного радионуклида испускают  $\beta$ -частицы различной энергии, поэтому энергетический спектр  $\beta$ -частиц непрерывен. Максимальная энергия  $\beta$ -частиц у известных в настоящее время радионуклидов может достигать 3,0–3,5 МэВ. По сравнению с  $\alpha$ -частицами,  $\beta$ -излучение имеет существенно меньшую ионизирующую способность (около 100 пар ионов на 1 см пути в воздухе) и значительно большую проникающую способность. Пробег  $\beta$ -частиц в воздухе составляет 1500–1800 см, а в биологических тканях – до 2,5 см.

Бета-частицы используются для определения плотности некоторых веществ, толщины листовых материалов и покрытий и в других измерительных приборах. Они представляют повышенную опасность для глаз, вызывая катаракту.

*Нейтральное излучение* (нейтроны) представляют собой поток электрически нейтральных элементарных частиц. Нейтроны возникают при ядерных реакциях и работе ускоряющих и энергетических ядерных установок. Так как нейтроны не имеют электрического заряда, то при прохождении через вещество они взаимодействуют только с ядрами атомов. В результате образуются либо заряженные частицы (ядра отдачи, протоны, нейтроны), либо  $\gamma$ -излучение, т.е. вторичное излучение, вызывающее ионизацию среды.

По характеру взаимодействия со средой, зависящему от уровня энергии нейtronов, они условно разделяются на четыре группы: тепловые нейтроны (до 0,5 кэВ); промежуточные (0,5–200 кэВ); быстрые (200 кэВ – 20 МэВ); релятивистские нейтроны (свыше 20 МэВ).

Нейтроны обладают большой проникающей способностью, зависящей от их энергии и состава атомов вещества, с которыми они взаимодействуют.

*Фотонные виды излучения*, имеющие электромагнитную природу ( $\gamma$ -излучение, рентгеновское излучение), обладают наименьшей ионизирующей и наибольшей проникающей способностью, чем особенно опасны, так как приводят к глубинному поражению внутренних органов.

Гамма-излучение ( $10^{20} - 10^{22}$  Гц) возникает при ядерных превращениях или при аннигиляции частиц, т.е. в результате радиоактивного распада некоторых нуклидов ряда возбужденных состояний ядер атома (перехода атомов из одного энергетического состояния в другое) в процессе ядерных реакций. Максимальная энергия  $\gamma$ -лучей достигает 3 МэВ.

Рентгеновское излучение ( $10^{17} - 10^{19}$  Гц) возникает кроме ядерных превращений в рентгеновских трубках в результате электронной бомбардировки анода (характеристическое излучение) и резкого торможения электронов в веществе (тормозное излучение). Бомбардировка анода электронами приводит к выравниванию электронов из внутренних оболочек некоторых атомов анода, в результате чего на их места переходят электроны из внешних оболочек тех же атомов, что сопровождается характеристическим излучением. Взаимодействуя с энергетическим полем ядра атома, электроны тормозятся, и их энергия преобразуется в энергию тормозного излучения.

Рентгеновские излучения могут возникать в любых электровакуумных приборах, в которых анодное напряжение составляет порядка десятков и сотен киловольт. Энергия рентгеновских лучей достигает 1 МэВ и определяется по формуле

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где  $h$  — постоянная Планка, равная  $6,623 \cdot 10^{-27}$  эрг/с;  $\nu$  — частота излучения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $c$  — скорость распространения излучения в вакууме, равная  $3 \cdot 10^{10}$  см/с;  $\lambda$  — длина волны, см.

Рентгеновские лучи обладают незначительным ионизирующими действием (несколько пар ионов на 1 см пробега в воздухе) и большой глубиной проникновения, чем, как и гамма-лучи, опасны для внутренних органов человека.

Прохождение фотонного излучения ( $\gamma$ -излучение, рентгеновское излучение) через вещество в общем не может быть

охарактеризовано понятием пробега. Это обуславливается тем, что ослабление потока электромагнитного излучения в веществе происходит по экспоненциальному закону, особенностью которого является отсутствие возможности для экспоненциальных кривых пересекаться с осью абсцисс. Это означает, что какой бы ни была толщина слоя вещества, полностью ослабить интенсивность фотонного излучения невозможно. Для заряженных же частиц ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) существует минимальная толщина слоя вещества-поглотителя (пробег), где происходит полное поглощение их потока.

**Воздействие ионизирующих излучений на организм человека.** Степень воздействия ионизирующих излучений на организм человека зависит от дозы излучения, мощности, плотности ионизации излучения, вида облучения, продолжительности воздействия, индивидуальной чувствительности, психофизиологического состояния организма и др. Под влиянием ионизирующих излучений в живой ткани в результате поглощения энергии могут происходить сложные физические и биологические процессы. Ионизация и возбуждение тканей приводят к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры различных соединений, механизма митоза (деления) клеток, хромосомного аппарата, блокированию процессов обновления и дифференцирования клеток.

Наиболее чувствительными к действию радиации являются клетки постоянно обновляющихся тканей и органов (костный мозг, половые железы, селезенка и др.).

Указанные изменения на клеточном уровне могут приводить к нарушениям функций отдельных органов и межорганных связей, нарушению нормальной жизнедеятельности всего организма и к его гибели.

Облучение организма может быть внешним, когда источник излучения находится вне организма, и внутренним — при попадании радионуклидов внутрь организма через пищеварительный тракт, органы дыхания и кожу.

При внешнем облучении наиболее опасными являются нейтронное, гамма- и рентгеновское излучения. Альфа- и бета-частицы из-за их незначительной проникающей способности приводят в основном к кожным поражениям.

Внутреннее облучение опасно тем, что вызывает на различных органах долго незаживающие язвы.

Нарушения биологических процессов могут быть либо обратимыми, когда нормальная работа клеток облученной ткани полностью восстанавливается, либо необратимыми, ведущими к поражению отдельных органов или всего организма и возникновению лучевой болезни – острой или хронической.

Острая форма лучевой болезни возникает в результате облучения большими дозами в короткий промежуток времени. Хронические поражения развиваются в результате систематического облучения и малыми дозами. Негативные биологические эффекты хронического облучения накапливаются в организме в течение длительного времени и мало зависят от мощности дозы.

Облучение людей ионизирующими излучениями может привести к соматическим, сомато-стохастическим и генетическим последствиям.

Соматические эффекты проявляются в виде острой или хронической лучевой болезни всего организма, а также в виде локальных лучевых повреждений.

Соматостохастические реакции относятся к отдаленным повреждениям в виде сокращения продолжительности жизни, злокачественных изменений кровообразующих клеток (лейкозы), опухоли различных органов и клеток.

Генетические эффекты проявляются в последующих поколениях в виде генных мутаций как результат действия облучения на половые клетки при уровнях дозы, не опасных для данного индивида.

Острая лучевая болезнь характеризуется цикличностью протекания со следующими периодами: период первичной реакции; скрытый период; период формирования болезни; восстановительный период; период отдаленных последствий и исход заболевания.

Хроническая лучевая болезнь формируется постепенно при длительном и систематическом облучении дозами, превышающими допустимые (и близкими к ним), при внешнем и внутреннем облучении.

Лучевая болезнь может быть легкой (I степень), средней (II степень) и тяжелой (III степень).

Первая степень лучевой болезни проявляется в виде незначительной головной боли, вялости, слабости, нарушений сна, аппетита и др.

Вторая степень характеризуется усилением указанных симптомов и нервно-регуляторных нарушений с появлением

функциональной недостаточности пищеварительных желез, нервной и сердечно-сосудистой систем, нарушением некоторых обменных процессов, стойкой лейко- и тромбоцитопенией.

При третьей степени кроме того развивается анемия, появляется резкая лейко- и тромбоцитопения, происходят атрофические процессы в слизистой желудочно-кишечного тракта и изменения в центральной нервной системе.

Отдаленные последствия лучевой болезни проявляются в повышенной предрасположенности организма к злокачественным опухолям и болезням кровеносной системы.

Опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловливается рядом причин; основными из них являются способность некоторых радионуклидов избирательно накапливаться в отдельных органах, увеличение времени облучения до выведения нуклида из организма и его радиоактивного распада, рост опасности высокоионизирующих  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, которые малоопасны при внешнем облучении.

**Нормирование и гигиеническая оценка ионизирующих излучений.** Оценка биологических эффектов при воздействии ионизирующих излучений проводится по количеству энергии, которая поглощается веществом, и степени ионизации вещества.

С этой целью как количественные характеристики (параметры) излучения применяются поглощенная доза ( $D_{\text{погл}}$ ) и экспозиционная доза ( $D_{\text{эксп}}$ ).

**Поглощенная доза** определяется как количество энергии ( $\Delta E$ ), поглощенной единицей массы вещества ( $\Delta m$ ), т.е.

$$D_{\text{погл}} = \frac{\Delta E}{\Delta m}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \left( \frac{\text{эрз}}{\text{г}} \right), \text{Гр.}$$

Единицей измерений поглощенной дозы в системе СИ является грей (Гр). Внесистемной единицей является рад (1 Гр = 1 Дж/кг = 100 эрг/г = 100 рад).

Поглощенная доза излучения зависит от свойств излучения и поглащающей среды. Она служит однозначной характеристикой ионизирующего излучения по его воздействию на среду. Это обусловлено тем, что между параметрами, характеризующими такие виды излучения, как  $\alpha$ -частицы,  $\beta$ -частицы, протоны, и параметром, характеризующим ионизационную способность излучения в среде, имеется прямая зависимость. Для  $\gamma$ - и рентгеновского излучений такой зави-

симости нет, так как эти виды излучений являются косвенно ионизирующими. Поэтому поглощенная доза не может служить характеристикой этих излучений по их воздействию на среду.

В связи с тем что повреждение тканей и другие биоэффекты зависят не только от количества поглощенной энергии, но и от ее пространственного распределения, т.е. от линейной плотности ионизации (чем выше линейная плотность ионизации, тем больше степень биологического повреждения), на практике используется эквивалентная доза ( $D_{\text{экв}}$ ), которая определяется равенством

$$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} K_k, \text{ Зв},$$

где  $D_{\text{погл}}$  – поглощенная доза, Гр;  $K_k$  – коэффициент качества, характеризующий зависимость биоэффектов при малых дозах облучения человека от линейной плотности ионизации, т.е. от вида излучения.

Значение коэффициентов качества для отдельных видов излучения следующие:

- ◆ фотоны любых энергий – 1;
- ◆ электроны с энергией менее 10 кэВ – 1;
- ◆ нейтроны с энергией менее 10 кэВ – 5; от 10 до 100 кэВ – 10; от 100 кэВ до 2 МэВ – 20; от 2 до 20 МэВ – 10; более 20 МэВ – 5;
- ◆ альфа-частицы, тяжелые ядра – 20.

В качестве единицы измерения эквивалентной дозы используется зиверт (Зв) ( $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр}/K_k = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ ), т.е. зиверт равен эквивалентной дозе излучения, при которой поглощенная доза равна 1 Гр – при коэффициенте качества, равном единице. Внесистемной единице измерения эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада):  $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$ . Бэр представляет собой такое количество энергии, поглощенное 1 г биологической ткани, при котором наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе излучения 1 рад рентгеновского или  $\gamma$ -излучения с коэффициентом качества, равным единице.

Коэффициент качества, определенным образом связанный с линейной плотностью ионизации (линейной передачей энергии частиц в среде на единицу длины пути), используется для сравнения биологического действия различных ви-

дов излучений только при расчетах радиационной защиты при эквивалентных дозах  $D_{\text{экв}} < 0,25 \text{ Зв}$  (25 бэр).

**Экспозиционная доза** ( $D_{\text{эксп}}$ ) используется преимущественно для измерения и оценки гамма и рентгеновского излучений. Экспозиционная доза выражает энергию фотонного излучения, преобразованную в кинетическую энергию вторичных электронов, производящих ионизацию в единице массы атмосферного воздуха. Она определяется как отношение величины, заряда, возникшего в результате ионизации в элементе объема ( $\Delta m$ ), т.е.

$$D_{\text{эксп}} = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \left( \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \right), \text{Р.}$$

Единицей измерения экспозиционной дозы является кулон на килограмм (Кл/кг). Это такая доза рентгеновского или  $\gamma$ -излучения, при воздействии которой на 1 кг сухого атмосферного воздуха при нормальных условиях образуются ионы, несущие один нуклон электричества каждого знака.

На практике широко используется внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р); 1 Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг.

Поглощенная доза (эрг/г или эрг/см<sup>3</sup>) и экспозиционная доза (Р) находятся в следующем соотношении: 1 Р = 88 эрг/г или 0,114 эрг/см<sup>3</sup> воздуха. Эти значения поглощенной дозы называются *энергетическими эквивалентными рентгенами*.

Поглощенная в каком-либо веществе доза рентгеновского и  $\gamma$ -излучения может быть определена в виде экспозиционной дозы с помощью следующего соотношения:

$$D_{\text{погл Гр}} = 8,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\mu}{\mu_b} D_{\text{эксп}}, \text{Р},$$

где  $\mu$  и  $\mu_b$  – массовые коэффициенты ослабления (см<sup>2</sup>/г) для исследуемого вещества и воздуха.

Так как биологический эффект облучения ионизирующими излучениями зависит не только от величины дозы, но и скорости ее получения, в дозиметрии ионизирующих излучений используется понятие мощности дозы, т.е. дозы, получаемой объектом за единицу времени ( $\Delta t$ ). В соответствии с этим мощность поглощенной дозы ( $P_{\text{погл}}$ ), мощность эквивалентной дозы ( $P_{\text{экв}}$ ) и мощность экспозиционной дозы ( $P_{\text{эксп}}$ ) определяются следующими выражениями:

$$P_{\text{погл}} = \frac{\Delta_{\text{погл}}}{t}, \text{ ГР/с; } P_{\text{экв}} = \frac{\Delta_{\text{экв}}}{t}, \text{ ЗВ/с;}$$

$$P_{\text{эксп}} = \frac{\Delta_{\text{эксп}}}{t}, \text{ КЛ/КГ·с (Р/с),}$$

где  $t$  — продолжительность облучения, ч.

Учет чувствительности разных органов тела человека к ионизирующему излучению проводится с помощью коэффициентов радиационного риска ( $w$ ), рекомендованных Международной комиссией по радиационной защите. Умножив эквивалентные дозы на коэффициент радиационного риска и просуммировав их по всем органам, определяют эффективную эквивалентную дозу ( $\Delta_{\text{экв. эф}}$ ), т.е.

$$\Delta_{\text{экв. эф}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \Delta_{\text{экв.} i}, \text{ ЗВ.}$$

Эффективная эквивалентная доза отражает суммарный эффект облучения всего организма.

Согласно нормативной документации устанавливаются две категории облучаемых лиц — персонал и все население. К персоналу относятся лица, работающие с техническими источниками (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Предел индивидуального радиационного риска, т.е. вероятности того, что облучение повлечет какие-либо конкретные вредные последствия для лиц из персонала принимается равным  $10^{-3}$  за год, для населения —  $5,0 \cdot 10^{-5}$  в год. Уровень риска, которым можно пренебречь, принимается равным  $10^{-6}$  в год.

Для указанных категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- ◆ основные дозовые пределы (табл. 3.13);
- ◆ допустимые уровни для одного радионуклида или одного вида внешнего облучения, пути поступления, являющиеся производными от основных дозовых пределов: пределы годового поступления; допустимые среднегодовые объемные активности (ДОА); допустимые удельные активности (ДУА) и др.;
- ◆ контрольные уровни (дозы), устанавливаемые администрацией учреждений по согласованию с органами Госсанэпиднадзора, представлены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

## Контрольные уровни (дозы)

Нормируемые величины	Дозовые пределы, мЗв	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике	150	15
коже	500	50
кистях и стопах	500	50

Основные дозовые пределы облучения персонала и населения не включают дозы от естественных (природных), медицинских источников и дозу, полученную вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Годовая эффективная доза облучения принимается равной сумме эффективной дозы внешнего облучения, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же период. Интервал времени для определения величины ожидаемой эффективной дозы устанавливается равным 50 годам для персонала и 70 – для населения.

Для каждой категории облучаемых лиц допустимое годовое поступление радионуклида рассчитывается путем деления годового предела дозы на соответствующий дозовый коэффициент.

**Принципы, методы и средства измерения ионизирующих излучений.** Для количественной и качественной оценки ионизирующих излучений, необходимой для обеспечения радиационной безопасности, применяются радиометры, дозиметры и спектрометры.

Радиометры предназначены для определения количества радиоактивных веществ (радионуклидов) или потока излучения (например, газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера). Дозиметры позволяют измерять мощность поглощенной или экспозиционной дозы. Спектрометры служат для регистрации

и анализа энергетического спектра и идентификации на этой основе излучающих радионуклидов.

Во всех приборах измерения и регистрации проникающих излучений используется один и тот же принцип, позволяющий измерять эффекты, возникающие в процессе взаимодействия излучения с веществом.

Наиболее распространенным методом регистрации ионизирующих излучений является *ионизационный метод*, основанный на измерении степени ионизации среды, через которую проходит излучение. Реализация этого метода осуществляется с помощью ионизационных камер или счетчиков, служащих датчиками. Ионизационная камера представляет собой конденсатор, состоящий из двух электродов, между которыми находится газ. Электрическое поле между электродами создается от внешнего источника. При отсутствии радиоактивного источника ионизации в камере не происходит и измерительный прибор тока показывает его отсутствие. Под действием ионизирующего излучения в газе камеры возникают положительные и отрицательные ионы. Под действием электрического поля отрицательные ионы движутся к положительно заряженному электроду, а положительные – к отрицательному электроду. В результате возникает ток, который регистрируется измерительным прибором.

*Сцинтилляционный метод* регистрации излучений основан на измерении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующем веществе при прохождении через него ионизирующего излучения. Для регистрации световых вспышек используются фотоэлектронные умножители.

Сцинтилляционные счетчики применяются для измерения числа заряженных частиц, гамма-квантов, быстрых и медленных нейтронов, а также измерения мощности дозы от бета-, гамма- и нейтронного излучений. Кроме того, такие счетчики применяются для исследования спектров гамма- и нейтронного излучений.

*Фотографический метод* основан на фотохимических процессах, возникающих при воздействии излучений на фотографическую пленку или пластину. Способность фотоэмulsionии регистрировать излучение позволяет установить зависимость между степенью потемнения пленки и поглощенной дозой. Чаще всего этот метод используется для индивидуального контроля дозы рентгеновского, гамма-, бета- и нейтронного излучений.

Для измерения больших мощностей дозы применяют менее чувствительные методы, такие как химические системы, в которых под воздействием излучения происходят изменения в окрашивании растворов и твердых тел, осаждении коллоидов, выделении газов из соединений. С этой же целью применяются различные стекла, изменяющие свою окраску под воздействием излучения, а также калориметрические методы, основанные на измерении тепла, выделяемого в поглощающем веществе.

В последнее время все большее распространение получают полупроводниковые, фото- и термолюминесцентные детекторы ионизирующих излучений.

**Способы и средства защиты от ионизирующих излучений.** Защита от ионизирующих излучений включает:

◆ организационные мероприятия (выполнение требований безопасности при размещении предприятий; устройстве рабочих помещений и организации рабочих мест; при работе с закрытыми и открытыми источниками; при транспортировке, хранении и захоронении радиоактивных веществ, проведении общего и индивидуального дозиметрического контроля);

◆ медико-профилактические мероприятия (сокращенный рабочий день до 4–6 ч, дополнительный отпуск до 24 рабочих дней, медицинские осмотры через 6–12 мес., лечебно-профилактическое питание и др.);

◆ инженерно-технические методы и средства (защита расстоянием и временем, применение средств индивидуальной защиты, защитное экранирование и др.).

К требованиям безопасности, которые необходимо выполнять при размещении предприятий относятся:

◆ создание внутри предприятия двух зон – контролируемой, в которой для персонала возможно облучение свыше 0,3 ПДД, и неконтролируемой, в которой условия труда таковы, что дозы облучения не могут превышать 0,3 предельно допустимой годовой дозы;

◆ образование (устройство) вокруг предприятия или учреждения санитарно-защитной зоны, в которой запрещается размещение жилых зданий, детских учреждений и других сооружений, не относящихся к предприятию. Территория вокруг предприятия, на которой проживает население, относится к зоне наблюдения.

Ширина санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения (в случае необходимости ее организации) определяется расчетным путем по выбросам радионуклидов в воздух с учетом перспективного роста мощности предприятия и метеорологических условий, влияющих на коэффициент рассеяния выбросов в атмосферу. Критериями для установления ширины санитарно-защитной зоны служат предел годового поступления (ПГП) радиоактивных веществ через органы дыхания и предел дозы (ПД) внешнего облучения ограниченной части населения.

**Требования безопасности при работе с закрытыми и открытыми источниками излучения.** При использовании закрытых источников излучения, приборов, аппаратов и установок с источниками (в том числе неизотопными) ионизирующее излучение следует направлять к земле или в сторону, где отсутствуют люди.

Необходимо максимально удалять источники от персонала и ограничивать время пребывания людей вблизи источников, создавать передвижные ограждения и защитные экраны, вывешивать предупредительные знаки радиационной опасности, отчетливо видимые с расстояния не менее 3 м, использовать специальные устройства дистанционного управления.

Все радиоактивные источники излучения в рабочем помещении должны находиться в защитных контейнерах, а нерадиоактивные – в обесточенном состоянии.

Помещения, где размещаются стационарные установки с мощными источниками, должны оборудоваться блокировками и сигнализацией при превышении мощности дозы.

Загрязненный воздух, удаляемый из помещений, где ведутся работы с радиоактивными веществами, необходимо подвергать очистке на фильтрах (при превышении активности на выбросе допустимой концентрации для воздуха рабочих помещений).

Жидкие отходы считаются радиоактивными, если содержание в них радиоактивных веществ в три раза превышает допустимую концентрацию для питьевой воды.

**Требования радиационной безопасности при хранении и транспортировке радиоактивных веществ.** Для кратковременного хранения альфа-, бета- и гамма-источников используются *стационарные* (конструктивно связанные со зданием) и *нестационарные* (для гамма-источников) сейфы, стеки которых изготавливаются из свинца, чугуна, стали и др.

Хранилища устраиваются на уровне нижних отметок здания и оборудуются устройствами (сейфами, колодцами, нишами), ослабляющими излучения до допустимых уровней.

Хранение радиоактивных веществ в лаборатории разрешается в количествах, не превышающих суточной потребности, в сейфе под вытяжной вентиляцией.

При транспортировке (перевозке, переноске) радиоактивных веществ должны быть исключены их разлив и просыпание. Для этого используются контейнеры, упакованные в тару.

**Средства индивидуальной защиты.** Средства индивидуальной защиты предназначены для защиты от попадания радиоактивных загрязнений на кожу работающих и внутрь организма, а также от альфа- и бета-излучений.

Для защиты всего тела применяется спецодежда: халаты, шапочки, резиновые перчатки и др. При работах с изотопами большой активности ( $>10$  мКи) применяются комбинезоны, спецбелье, пленочные хлорвиниловые фартуки и нарукавники, kleenochные халаты, тапочки или ботинки, для защиты рук — перчатки из просвинцованный резины, для защиты ног — специальная пластиковая обувь.

Для защиты глаз применяются очки, стекло которых может быть обычным (при альфа- и мягких бета-излучениях); органическим (при бета-излучениях высоких энергий); свинцовым или с фосфатомвольфрама (при гамма-излучениях); с боросиликатом кадмия или фтористыми соединениями (при нейтронном облучении) и др.

Для защиты от радиоактивных веществ в паро-, газо- или пылевидном состоянии применяют очки закрытого типа с резиновой полумаской.

Для защиты органов дыхания используются респираторы или шланговые приборы (противогазы), пневмоистюмы и пневмошлемы.

Для предотвращения или частичного ослабления воздействия радионуклидов, попавших в организм, а также для предупреждения отложения их в организме и ускорения выведения рекомендуются такие меры, как промывание желудка и кишечника, использование адсорбентов, веществ для замещения радионуклидов или комплексообразования с последующим ускоренным их выведением из организма (сернокислый барий, глюконат кальция, хлористый кальций, хлористый аммоний, пентацин, йодная настойка или йодистый калий и др.).

**Защитное экранирование.** При проектировании и расчете защитных экранов определяют их материал и толщину, которые зависят от вида излучения, энергии частиц квантов и необходимой кратности ослабления.

Расчет защитных экранов основывается на особенностях и закономерностях взаимодействия различных видов излучения с веществом.

Для защиты от альфа-частиц необходимо, чтобы толщина экрана ( $d_\alpha$ ) превышала длину пробега альфа-частиц ( $R_\alpha$ ) в данном материале экрана ( $d_\alpha \geq R_\alpha$ ).

Пробег альфа-частиц с энергией 4–7 МэВ в воздухе при 15 °С и 760 мм рт.ст. определяется по формуле

$$R_{\text{в}\alpha} = 0,318 E_\alpha^{3/2}, \text{ см},$$

где  $E_\alpha$  – энергия альфа-частиц, МэВ.

При  $E_\alpha < 4$  МэВ  $R_{\text{в}\alpha} = 0,56 \cdot E_\alpha$ .

Пробег альфа-частиц с энергией 4–7 МэВ в веществе, отличающемся от воздуха ( $x$ ), определяется по формуле

$$R_{x\alpha} = R_\alpha \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_x} \sqrt{\frac{A_x}{A_{\text{возд}}}} = 1,178 \cdot 10^{-4} \frac{\sqrt{A_x \cdot E_\alpha^3}}{\rho_x}, \text{ см},$$

где  $A_x$  – относительная атомная масса вещества;  $\rho_x$  – плотность данного вещества, г/см<sup>3</sup>.

Для защиты от внешнего облучения альфа-частицами обычно применяют тонкую металлическую фольгу (20–100 мкм), стекло, плексиглас или несколько сантиметров воздушного зазора.

Для защиты от бета-излучений применяют экран из материалов с малым атомным весом (алюминий, оргстекло, полистирол и др.), так как при прохождении бета-излучений через вещество возникает вторичное излучение, энергия которого увеличивается с ростом атомного номера материала.

При высоких энергиях бета-частиц ( $\geq 3$  МэВ) применяют двухслойный экран, наружный слой которого выполняется из алюминия, а внутренняя облицовка изготавливается из материалов с малым атомным номером (с целью уменьшения первоначальной энергии электронов).

Толщина слоя различных материалов для поглощения бета-излучения определяется также максимальным пробегом бета-частиц.

Максимальные пробеги бета-частиц в воздухе и алюминии можно определить из следующих соотношений:

$$R_{\beta\text{возд}} \approx 400 E_{\text{макс}}, \text{ см};$$

$$R_{\text{вал}} \approx 2E_{\text{макс}}, \text{ см},$$

где  $E_{\text{макс}}$  – максимальная энергия бета-частиц, МэВ.

Ослабление бета-излучения источников с различной максимальной энергией электронов непрерывного бета-спектра происходит по экспоненциальному закону:

$$\Pi_x = \Pi_0 \exp(-\mu x) = \Pi_0 \exp[-(0,693/\Delta)x],$$

где  $\Pi_x$  – плотность потока частиц за слоем поглотителя толщиной  $x$ ;  $\Pi_0$  – плотность потока без поглотителя;  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления;  $\Delta$  – слой вещества, который вдвое ослабляет интенсивность пучка бета-частиц (слой половинного ослабления).

Для алюминия установлена эмпирическая связь между слоем половинного ослабления ( $\Delta$ ) и максимальной энергией электронов бета-спектра ( $E_{\text{макс}}$ ):

$$\Delta = 0,0115 E_{\text{макс}}^{1,33}.$$

Для других материалов слой половинного ослабления  $\Delta$  ( $\text{г}/\text{см}^2$ ) можно определить в зависимости от  $E_{\text{макс}}$  по формуле

$$\Delta = 0,095 (Z/A) E_{\text{макс}}^{3/2}.$$

При проектировании защитного экранирования от нейтронов выбирают вещества с малым атомным номером (вода, полиэтилен, парафин, органические пластмассы и др.), так как при каждом столкновении с ядром нейtron теряет тем большую часть своей энергии, чем ближе масса ядра к массе нейтрона.

Ослабление узкого пучка нейтронов тонким слоем вещества происходит по экспоненциальному закону:

$$\Phi_x = \Phi_0 \exp(-N\sigma_t x),$$

где  $\Phi_0$  и  $\Phi_x$  – плотность потока нейтронов до и после прохождения ими вещества толщиной  $x$ ;  $N$  – число ядер в  $1 \text{ см}^3$  вещества;  $\sigma_t$  – суммарное атомное эффективное сечение взаимодействия нейтронов с ядрами, представляющее собой сумму сечений всех возможных видов взаимодействия:  $\sigma_s$  – упругого рассеяния;  $\sigma_n$  – неупругого рассеяния;  $\sigma_r$  – радиационного захвата;  $\sigma_p$ ,  $\sigma_\alpha$  – ядерных реакций, в том числе  $\sigma_f$  – реакции деления ядер.

При защите от нейтронного излучения необходимо учитывать, что процесс поглощения эффективен для тепловых, медленных и резонансных нейтронов, поэтому быстрые нейтроны должны быть предварительно замедлены. Средняя потеря энергии при упругом рассеянии максимальна на легких ядрах (например, водороде) и минимальна на тяжелых. Вероятность потери энергии при неупругом рассеянии возрастает на тяжелых ядрах и с увеличением энергии нейтрона. Тепловые нейтроны диффундируют через защиту до тех пор, пока не будут захвачены или не выйдут за ее пределы, поэтому важно обеспечить быстрое поглощение тепловых нейтронов, выбрав наиболее эффективные поглотители. После захвата тепловых нейтронов почти всегда возникает гамма-излучение, которое необходимо ослабить. Таким образом, защита от нейтронов должна иметь в своем составе водород или другое легкое вещество для замедления быстрых и промежуточных нейтронов при упругом рассеянии, тяжелые элементы с большой атомной массой для замедления быстрых нейтронов в процессе неупругого рассеяния и ослабления от захватного гамма-излучения, элементы с высоким эффективным сечением поглощения тепловых нейтронов.

Закон ослабления дозы нейтронов слоем вещества (отличного от водорода), помещенного в однородную водородсодержащую среду (например, воду), может быть представлен следующим выражением:

$$\Delta(R, x) = \Delta_h(R, x) \exp\left(-\sum_{\text{выв}} x\right),$$

где  $\Delta(R, x)$  – доза на расстоянии  $R$  от источника;  $\Delta_h(R, x)$  – доза в отсутствие ослабляющего слоя;  $\sum_{\text{выв}}$  – макроскопическое сечение выведения;  $x$  – толщина слоя вещества (пластины).

Для защиты от гамма-лучей применяются экраны из металлов высокой плотности (свинец, висмут, вольфрам), средней плотности (нержавеющая сталь, чугун, медные сплавы) и некоторые строительные материалы (бетон, баритобетон и др.).

Ослабление гамма-излучения в веществе происходит по экспоненциальному закону. Для параллельного узкого пучка, состоящего из гамма-квантов одинаковой энергии  $E_\gamma$ , интенсивность излучения  $I_x$  на глубине  $x$  поглощающего слоя будет равна:

$$I_x = I_0 \exp(-\mu x),$$

где  $I_0 = N_\gamma \cdot E_\gamma$  – начальная интенсивность гамма-излучения (здесь  $N_\gamma$  – число гамма-квантов с энергией  $E_\gamma$ , проходящих за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной к потоку излучения при  $x = 0$ ;  $\mu$  – коэффициент ослабления).

Для расчета защиты от широкого пучка гамма-излучения от точечного моноэнергетического источника можно использовать соотношение

$$I_x = \left( \frac{R}{R+x} \right)^2 I_0 \exp(-\mu x) B = \left( \frac{R}{R+x} \right)^2 I_0 \exp(-0,693 \frac{x}{\Delta}) B,$$

где  $R$  – расстояние от источника до поверхности ослабляющей среды;  $B$  – фактор накопления, зависящий от энергии гамма-излучения, материала и толщины вещества;  $\Delta$  – слой половинного ослабления.

В практике расчета защиты от гамма-излучения широко применяются универсальные таблицы, позволяющие определить толщину защиты по заданному уменьшению мощности дозы, а при известной толщине легко найти кратность ослабления излучения и определить допустимое время работы за защитой или допустимое значение активности источника. По этим таблицам определяют также дополнительную защиту к уже существующей, требуемый набор толщины слоев различных материалов, линейные или массовые эквиваленты отдельных защитных материалов, слои полуослабления в различных интервалах толщины материала и т.п. Однако указанные таблицы пригодны только для моноэнергетических источников гамма-излучения. В тех случаях, когда источник имеет сложный спектр излучения, расчет толщины защиты ведут методом «конкурирующих» линий.

*При защите от рентгеновского излучения толщина защитного экрана  $d$  определяется необходимой степенью ослабления мощности дозы облучения:*

$$P_d = P_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где  $P_d$  – доза за защитным экраном, Р/мин;  $P_0$  – мощность дозы без экрана;  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления, Р/мин.

Для экранирования от рентгеновского излучения используются такие материалы, как свинец, бетон, свинцовое стекло и др.

*Защита от мягкого рентгеновского излучения от установок I и II групп* (соответственно используемого и неиспользуемого рентгеновского излучения) должна конструктивно входить в состав установок и обеспечивать необходимое ослабление.

В отдельных случаях, когда по характеру выполняемых работ использование стационарной защиты затруднено, допускается обеспечение защиты путем использования переносных защитных ширм, экранов, а также средств индивидуальной защиты (защитные фартуки, рукавицы, щитки и др.).

Расчет защиты установок необходимо проводить исходя из наиболее жестких условий их эксплуатации, т.е. из максимальных значений анодного напряжения и силы тока.

Защита высоковольтных электронных приборов или всей установки, генерирующих мягкое рентгеновское излучение, достигается помещением этих приборов в металлические кухи, шкафы или блоки.

При напряжении на электродах электровакуумных приборов до 60 кВ экраны должны изготавливаться из стальных, свинцовых или алюминиевых щитов толщиной 5 мм, просвинцованных стекла толщиной 3 мм или специальной резины.

Смотровые окна в металлических экранах должны закрываться просвинцованым стеклом толщиной 8 мм или плексигласом толщиной 30 мм.

При расчете толщины защитных устройств рекомендуется вводить двукратный запас добротности защиты, т.е. увеличивать расчетное значение на один слой половинного ослабления.

Для повышения защищенности организма от ионизирующих излучений и снижения тяжести клинического течения лучевой болезни большое распространение на практике получили различные лекарственные препараты или радиопротекторы, которые вводятся в организм перед облучением и присутствуют в нем во время облучения (например, РС-1, Б-190, РДД-77 и др.).

### **3.3.10. Защита от опасных и вредных факторов при работе с компьютерами**

Развитие и совершенствование информационных технологий позволило компьютерной технике за несколько последних десятилетий прочно занять свое место как в трудовой, так и в других сферах жизнедеятельности людей.

Количество пользователей компьютеров растет изо дня в день. В связи с этим важно иметь представление об опасностях

и вредностях, с которыми сопряжена деятельность пользователей современных электронно-вычислительных машин, особенно персональных (ПЭВМ).

Негативное влияние на здоровье пользователей выражается в повышенном зрительном напряжении, психологической перегрузке, длительном неизменном положении тела в процессе работы, а также воздействием некоторых физических факторов (электромагнитные излучения, статическое электричество, ультрафиолетовое и рентгеновское излучения (рис. 3.13).

Указанные факторы могут явиться причиной заболевания органов зрения, сердечно-сосудистой системы, желудочно-ки-

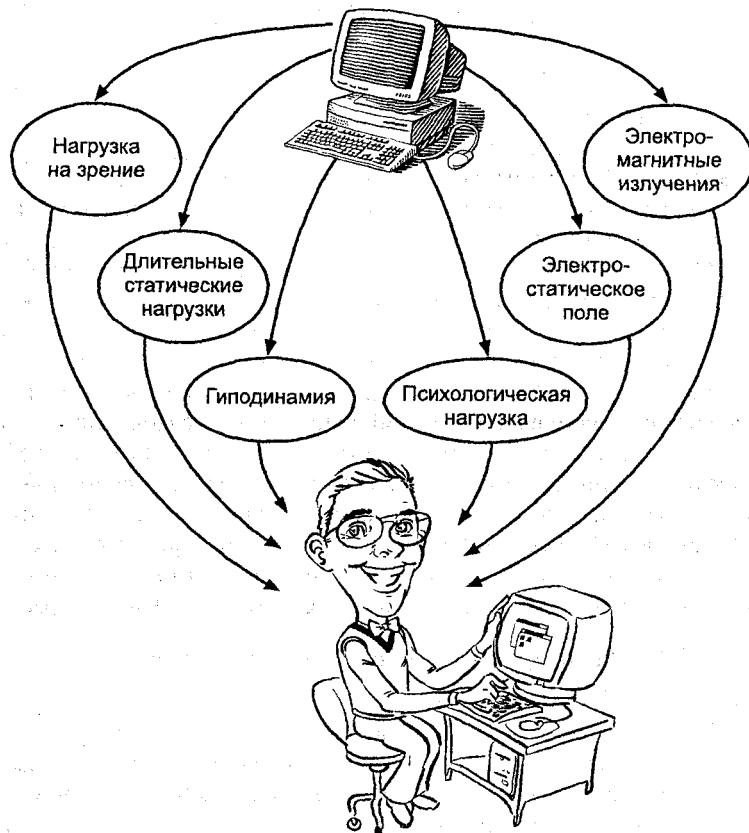


Рис. 3.13. Опасные и вредные факторы, действующие на пользователей ПЭВМ

**шечного** тракта, кожных заболеваний, а также опухолей мозга и др. В наибольшей степени подвержены этим опасностям дети и беременные женщины. Симптомокомплекс психофизиологических реакций организма пользователей при длительной работе с ПЭВМ принято называть *компьютерной болезнью* или *синдромом стресса оператора дисплея*. Согласно данным американских исследователей, примерно половина пользователей ПЭВМ жалуются на проявления этой болезни.

Важнейшее значение в возникновении зрительного перенапряжения имеет качество более двадцати визуальных параметров изображения на дисплее. Поэтому выполнение требований, установленных действующими стандартами, имеет первостепенное значение в профилактике ухудшения зрения пользователей ПЭВМ.

Визуальные эргономические параметры видеодисплеев и пределы их изменений, в которых должны быть установлены оптимальные и допустимые диапазоны значений, приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

**Визуальные эргономические параметры видеодисплеев и пределы их изменений**

Наименование параметров	Пределы значений параметров	
	не менее	не более
Яркость знака (яркость фона), кг/м <sup>2</sup> (измеренная в темноте)	35	120
Внешняя освещенность экрана, лк	100	250
Угловой размер экрана, угл.мин ( $\alpha$ ): $\alpha = \arctg (h/2l)$ , где $h$ – высота знака; $l$ – расстояние от знака до глаза наблюдателя	16	60

При работе видеодисплеев уровни напряженности, плотности потока энергии электромагнитных полей (ЭМП), напряженности электростатического поля не должны превышать допустимых значений, приведенных в табл. 3.15.

Допустимые уровни напряженности ( $E$ ) и плотности потока энергии ЭМП, излучаемых клавиатурой, системным блоком, манипулятором «мышь», беспроводными системами передачи информации на расстояния в зависимости от рабочей частоты изделия, не должны превышать значений, приведенных в табл. 3.16.

Таблица 3.15

## Допустимые значения параметров электромагнитных излучений

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность ЭМП (электрическая составляющая $E$ ): диапазон частот 5Гц–2кГц диапазон частот 2–400 кГц	25,0 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока: диапазон частот 5Гц–2кГц диапазон частот 2–400 кГц	250 нТл 25,0 нТл
Напряженность электростатического поля	15,0 кВ/м

Таблица 3.16

Допустимые уровни  $E$  и ППЭ электромагнитных полей дополнительных систем и изделий

Диапазон частот	0,3–300 кГц	0,3–3,0 МГц	3,0–30,0 МГц	30,0–300 МГц	0,3–300 ГГц
Допустимые уровни	25 В/м	15 В/м	10 В/м	3 В/м	10 мкВт/см <sup>2</sup>

Допустимые уровни напряженности электрического поля тока промышленной частоты (50 Гц), создаваемые монитором, системным блоком, клавиатурой, изделием в целом, не должны превышать 0,5 кВ/м.

Допустимые уровни напряженности электростатического поля, создаваемые монитором, клавиатурой, системным блоком, манипулятором «мышь», изделием в целом, не должны превышать 15,0 кВ/м.

Интенсивность ультрафиолетового излучения от экрана видеомонитора не должна превышать в диапазоне 0,28–0,315 мкм  $0,1 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>; в диапазоне 0,15–0,4 мкм – 0,1 Вт/м<sup>2</sup>. Излучение в диапазоне 0,2–0,28 мкм не допускается.

Уровень мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 0,5 м от экрана и частей корпуса видеодисплеев не должен превышать  $7,74 \cdot 10^{-12}$  А/кг, что соответствует мощности эквивалентной дозы, равной 100 мкР/ч (0,03 мкР/с).

Компьютеры с жидкокристаллическим экраном не имеют источников мощного электромагнитного излучения и не наводят статического электричества. Однако при использовании блока

питания возникает некоторое превышение уровня на частоте 50 Гц, поэтому рекомендуется работать больше с использованием аккумулятора.

Эффективным средством защиты от излучений ПЭВМ с электронно-лучевой трубкой является применение дополнительного металлического внутреннего корпуса, замыкающегося на встроенный закрытый экран. Такая конструкция позволяет уменьшить электрическое и электростатическое поле на расстоянии 7–8 см от корпуса до фоновых значений.

Во всех случаях для снижения уровня облучения монитор рекомендуется располагать на расстоянии не ближе 50 см от пользователя.

Установлено оптимальное время наблюдения за экраном видеотерминала, не превышающее 2 ч за смену, и допустимое – до 3 ч. Наблюдение свыше 3 ч принято считать напряженностью первой степени, а свыше 4 ч – напряженностью второй степени. Зрительная нагрузка сверх этого времени не допускается.

Уровень глаз при вертикальном расположении экране видеодисплея должен находиться на центр или 2/3 высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна к центру экрана. При работе на клавиатуре необходимо соблюдать правильное положение рук оператора (рис. 3.14).

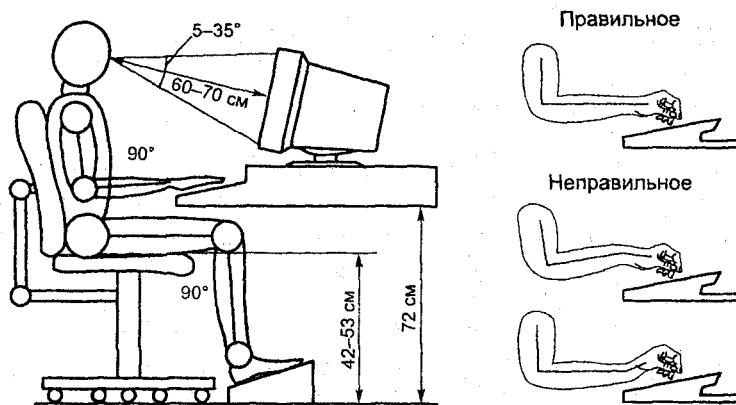


Рис. 3.14. Правильная позиция оператора и положение его рук при работе на клавиатуре

Согласно требованиям нормативных документов помещения с видеодисплеями и ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение.

Естественное освещение должно осуществляться через световые проемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток, и обеспечивать коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,5%. Рекомендуемое расположение рабочих мест с компьютерами показано на рис. 3.15.

Искусственное освещение должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами в помещениях эксплуатации видеодисплеев и ПЭВМ допускается применение системы комбинированного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения документов должна быть 300–500 лк. Местное освещение при этом не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. В компьютерных классах всех типов учебных заведений освещенность на поверхности стола в зоне размещения документов должна быть 400 лк (при люминесцентном освещении), а на экране видеодисплея – 200 лк. Для освещения помещений с видеодисплеями и ПЭВМ следует применять светильники серии

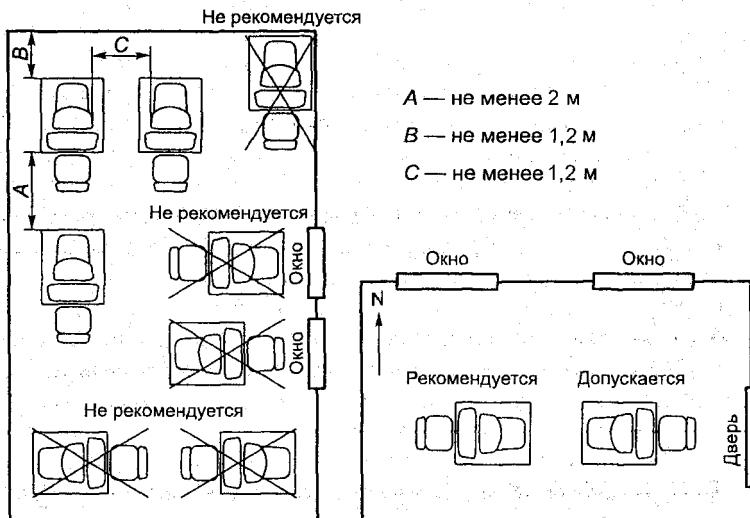


Рис. 3.15. Рекомендуемое расположение рабочих мест с компьютерами, видеодисплеями

ЛП036 с зеркализованными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Расположение рабочих мест для пользователей видеодисплеев и ПЭВМ в подвальных помещениях не допускается.

Площадь на одно рабочее место с видеодисплеем и ПЭВМ должна составлять не менее  $6,0\text{ м}^2$ , а объем – не менее  $20,0\text{ м}^3$  (в учебных заведениях не менее  $18\text{ м}^3$ ).

Помещения с ПЭВМ должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Поверхность пола должна быть ровной, нескользкой, удобной для влажной уборки и обладать антistатическими свойствами.

В производственных помещениях, в которых работа на видеодисплеях и ПЭВМ является основной, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата (температура воздуха  $22\text{--}24\text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $40\text{--}60\%$ , скорость движения воздуха  $0,1\text{ м/с}$ ).

На возникновение и развитие компьютерной болезни большое влияние оказывает режим труда и отдыха. Поэтому длительность работы преподавателей вузов в дисплейных классах не должна превышать 4 ч в день, а максимальное время занятий для первокурсников – 2 ч в день, студентов старших курсов – 3 академических часа при соблюдении регламентированных перерывов и профилактических мероприятий (упражнений для глаз, физкультпауз).

### **3.3.11 Эргономические требования**

#### **к организации и конструкции рабочих мест**

В зависимости от уровня автоматизации и механизации технологического процесса рабочие места могут быть автоматизированными, механизированными, а также для выполнения ручных операций. В системах «человек–машина» рабочие места оснащаются средствами отображения информации (СОИ), сенсомоторными устройствами (СМУ – органами управления) и вспомогательным оборудованием.

Как отмечалось, успешное функционирование системы «человек–машина», снижение преждевременного утомления персонала может быть обеспечено при реализации информационной, биофизической, энергетической, пространственно-

антропометрической, технико-эстетической и других видов совместимостей человека и машины (технологического процесса). Это значит, что при организации рабочего места следует исходить из конкретного анализа трудового процесса, учитывать его психофизиологические характеристики и санитарно-гигиенические условия труда, а при его конструировании – соблюдать следующие основные требования:

- ◆ наличие достаточного по размеру рабочего пространства, позволяющего человеку осуществлять необходимые движения при эксплуатации оборудования и его техническом обслуживании;
- ◆ обеспечение достаточных физических, зрительных и слуховых связей между человеком и оборудованием, а также связей между людьми, совместно выполняющими работу;
- ◆ оптимальное размещение рабочих мест в производственных помещениях, наличие безопасных и достаточных проходов для работающих людей.

Организация рабочих мест должна предусматривать меры, предупреждающие или снижающие преждевременное утомление человека, предотвращающие возникновение у него психофизиологического стресса, а также появления ошибочных действий.

Конструкция рабочего места должна обеспечивать быстроту, безопасность, простоту и экономичность технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях, полностью отвечать функциональным и предполагаемым условиям эксплуатации.

При организации и конструировании рабочего места осуществляется выбор целесообразной рабочей позы (сидя, стоя, сидя-стоя); выбор типов индикаторов и органов управления, их компоновка на панелях и рациональное размещение панелей; обеспечивается оптимальный обзор рабочего места; предусматривается пространство для ног при работе сидя и сидя-стоя, а также пространство для кратковременного отдыха при работе стоя; обеспечивается пространство для установки устройств коммуникации, средств оргоснастки и складирования рабочих материалов.

Выбор рабочей позы определяется физической тяжестью работы, а также технологически обусловленной величиной рабочей зоны. В случаях, когда рабочая зона превышает зоны до-

**сягаемости** в положении сидя, необходимо проектировать рабочее место для выполнения работ стоя. Положение сидя предпочтительнее для операторских видов труда, на автоматизированных рабочих местах, однако наиболее предпочтительным вариантом организации рабочего места является такая компоновка его элементов, которая позволяет совершать работу в положении сидя-стоя, т.е. дает возможность произвольно менять рабочую позу в положениях сидя и стоя без уменьшения эффективности труда.

Пространство рабочего места с размещенными органами управления и другими техническими средствами, в котором осуществляются двигательные действия человека, при выполнении работы называется **моторным полем**. В моторном поле рабочего места оператора выделяют три зоны: зону досягаемости, легкой досягаемости, оптимальную зону.

Зона досягаемости ограничивается дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе; зона легкой досягаемости — расслабленными руками при движении их в плечевом суставе; оптимальная зона моторного поля — предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой. Размеры зон моторного поля показаны на рис. 3.16.

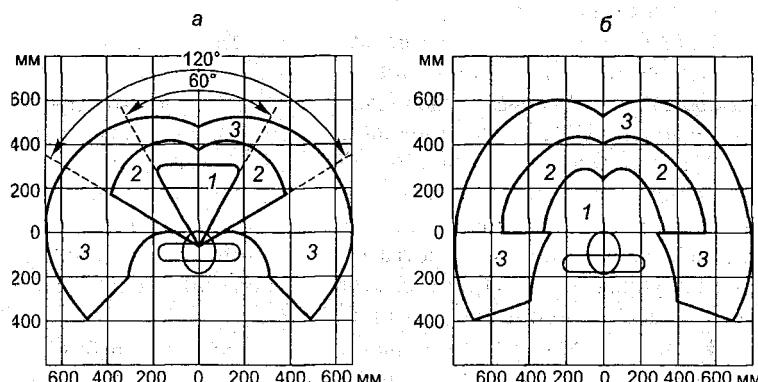


Рис. 3.16. Зоны моторного поля рабочего места оператора (в горизонтальной плоскости):

а — при работе оператора в положении сидя; б — при работе оператора в положении стоя; 1 — оптимальная зона моторного поля (для размещения очень часто используемых и наиболее важных органов управления (ОУ)); 2 — зона легкой досягаемости (для размещения часто используемых ОУ); 3 — зона досягаемости (для размещения редко используемых ОУ).

При организации рабочего места необходимо стремиться к выполнению всех трудовых операций в зоне досягаемости моторного поля; в том случае, если эти операции совершаются часто (две и более в минуту), они должны концентрироваться в зоне легкой досягаемости и оптимальной зоне моторного поля.

Необходимо предусматривать также возможность регулировки конструктивных элементов рабочего места в зависимости от антропометрических параметров групп населения. Регулируемыми элементами могут быть высота сиденья, угол наклона спинки, высота и угол наклона подставки для ног, подвижность сиденья вперед-назад.

Организация и конструкция автоматизированного рабочего места оператора должны обеспечивать возможность быстрого и безошибочного восприятия информации, создание удобства пользования органами управления, комфортных условий для эксплуатации оборудования, его технического обслуживания и ремонта.

При конструировании рабочего места рекомендуется применять модульный принцип, при котором для типовых рабочих мест используется единая базовая конструкция, предусматривающая возможность дополнительных технических средств и размещение их на рабочем месте с учетом выполняемых оператором функций.

Размещение технических средств (дисплеев, пультов ввода данных и документирования, аппаратуры связи и т.д.) должно создавать необходимые условия для выполнения простых функций левой рукой с целью снижения нагрузок на правую руку (при работе на пультах, ведении записей, работе с картой и т.д.).

Основным функциональным элементом автоматизированного рабочего места оператора является пульт управления, на котором размещаются средства отображения информации и органы управления. При его конструировании необходимо учитывать следующие требования:

- ◆ поверхность пультов управления должна иметь покрытие, обладающее свойством диффузного или направленно-рассеянного отражения светового потока в целях предотвращения бликов в поле зрения оператора;

- ◆ пульты управления для работы в положении сидя должны иметь пространство для ног оператора с размерами (не менее), мм: высота – 600, глубина на уровне колен – 400 и на уровне пола – 600, ширина – 500;

- ◆ высота пультов при работе в положении сидя не должна превышать 1100 мм от пола для обеспечения возможности обзора поверх пультов управления.

Расположение средств отображения информации и сенсомоторных устройств на панелях пульта должно осуществляться с учетом следующих основных факторов: приоритета, группировки в логические блоки, взаимосвязей органов управления и средств отображения информации и сенсомоторных устройств.

Приоритет сенсомоторных устройств (или средств отображения информации) определяется их назначением и ролью в функционировании системы. При этом выделяются следующие показатели функционирования располагаемого устройства или средства:

- ◆ частота использования;
- ◆ точность и скорость считывания показателей (для СОИ) или установки позиций (для СМУ);
- ◆ влияние ошибки считывания или запаздывания при выполнении операций на надежность и безопасность работы системы.

Размещение индикаторов и сенсомоторных устройств или органов управления на панелях пультов управления осуществляется двумя способами: *функциональным*, когда индикаторы и органы управления группируются с учетом совместного их использования при выполнении общей задачи или относятся к одному компоненту оборудования, и *последовательным*, когда расположение определяется последовательностью использования. Допускается использовать сочетание двух этих способов.

При размещении средств отображения информации и сенсомоторных устройств (органов управления) учитываются следующие требования:

1) важные и наиболее часто используемые средства отображения информации и органы управления должны располагаться в пределах оптимальной зоны, аварийные – в легко доступных местах, но не в оптимальной зоне, второстепенные и периодически используемые – не в оптимальных зонах;

2) компоновка средств отображения должна обеспечивать обзор и видимость с рабочего места всех индикаторов, возможность легкого опознания любого из них, объединение индика-

торов в последовательно используемые или функциональные группы, учет взаимосвязей индикаторов и органов управления;

3) при наличии в группе шести (и более) индикаторов они должны располагаться двумя параллельными вертикальными или горизонтальными рядами; при этом расположение их пятью-шестью горизонтальными и вертикальными рядами не допускается;

4) при наличии на панелях более 25–30 индикаторов они должны компоноваться в 2–3 зрительно отличимые группы;

5) при размещении органов управления должна быть исключена возможность их случайного переключения, что может быть обеспечено рациональной компоновкой или устройством специальных фиксаторов;

6) для обеспечения различимости однотипных органов управления они должны компоноваться в группы, которые выделяются увеличением интервала между ними или установкой в данном интервале органов управления, отличных по виду;

7) функционально связанные органы управления и средства отображения информации должны располагаться вблизи друг друга и компоноваться функциональными группами; при этом функциональные группы, используемые для выполнения наиболее важных действий (сигнализации или устранения аварийных ситуаций), целесообразно очерчивать специальными линиями шириной 2–3 мм, хорошо контрастирующими с фоном панели;

8) сенсомоторные устройства и функционально связанные с ними рядом расположенные индикаторы должны располагаться так, чтобы сами органы управления или рука при манипуляциях с ними не закрывали индикатора;

9) движение органов управления вперед (т.е. от оператора), вверх, вправо или по ходу часовой стрелки (для поворотных органов управления) должно соответствовать увеличению параметра на функционально связанных с ними индикаторах или положению «Включено»;

10) сенсомоторные устройства, которые требуют определенной последовательности действий или которыми манипулируют совместно, должны быть соответствующим образом сгруппированы, чтобы последовательные действия произвелись в порядке слева направо или сверху вниз;

11) при размещении сенсомоторных устройств прецессивным способом кодирования является пространствен-

ное группирование полей клавиатур (клавиш и кнопок) по функциональному признаку, кодирование органов управления цветом может приводить к излишнему разнобою и пестроте на пульте;

12) для обеспечения возможности быстрого обнаружения неправильно набранной информации следует применять кнопки с фиксацией нажатия или с подсветом, использовать контрольную (сигнальную) строку (или поле) на экране, отображающем набранную информацию; применять результирующую кнопку (например, «Ввод»), формирующую команду на исполнение операции (по всей цепочке нажатий), что позволяет проверять правильность нажатий и осуществлять переход от одной операции к другой под зрительным контролем; использовать хорошо читаемые, не требующие расшифровки надписи на кнопках и панелях;

13) при программном контроле ошибочных действий оператор должен получать указание на наличие ошибок с помощью звукового или зрительного сигнала (загорание, мигание сигнальной лампочки или транспаранта); указание на наличие ошибки и ее характер должно также отображаться в контрольной строке или на специальном участке информационного поля.

Рабочее место оператора должно быть сконструировано с учетом обеспечения необходимых условий для технического обслуживания и ремонта оборудования (осмотра, регулировки, замены блоков и отдельных элементов). Использование испытательных средств, измерительных приборов и инструмента должно осуществляться без затруднений и нарушения техники безопасности. При этом необходимо обеспечить:

- ◆ свободный доступ к основным узлам проверки;
- ◆ максимальную заменяемость отдельных блоков, исключающую или сводящую к минимуму их взаимную отладку после замены;
- ◆ возможность наблюдать за работой функционирующих элементов оборудования, не подвергая опасности обслуживающий персонал;
- ◆ создание условий, при которых незакрепленные конструктивные элементы (крышки, смотровые люки, панели) легко обнаруживаются;
- ◆ выбор размеров и ориентации вентиляционных отверстий, исключающих возможность попадания в них инстру-

мента при проведении работ по регулировке или при ремонте оборудования;

◆ подведение электрического напряжения только к розеткам и гнездам разъемов, а не к штекерам и вилкам;

◆ для определения неисправностей отдельных блоков необходимо предусматривать контрольные точки, которые целесообразно группировать в линию (или матрицу) с учетом последовательности проводимых измерений;

◆ возможность открывать дверцы и крышки одной рукой и фиксировать их в открытом положении;

◆ возможность правильной установки блоков путем использования направляющих штифтов и пазов, а также маркировки всех сменных элементов, указывающих на их принадлежность к определенному блоку;

◆ возможность четкого различия разъемов и розеток путем их кодирования формой или цветом.

Организация рабочего места должна обеспечивать условия для предупреждения неправильных действий (ошибок) оператора. С этой целью все основные и аварийные органы управления должны легко опознаваться (зрительно или на ощупь); между органами управления должно иметься свободное пространство, позволяющее легко манипулировать ими без задевания соседних органов управления; переключение органов управления дискретного типа должно сопровождаться хорошо слышным щелчком; органы управления, случайное воздействие на которые недопустимо, должны иметь специальную защиту, снятие которой требует не менее двух движений.

### **3.3.12. Требования безопасности к сосудам, работающим под давлением**

На промышленных предприятиях используется большое количество сосудов, работающих под давлением: воздухосборники, подогреватели, деаэраторы, барботеры, испарители, баллоны для сжатых и сжиженных газов и др.

Сосуды, работающие под давлением, относятся к оборудованию с повышенной опасностью. Поэтому их изготовление разрешено на специализированных машиностроительных заводах. Разрешение выдают органы Государственного надзора.

Конструкция сосудов должна быть надежной, обеспечивающей безопасность при эксплуатации, и доступной для осмотра, очистки, промывки, продувки и ремонта.

Сосуды с внутренним диаметром более 800 мм имеют лазы, необходимые для осмотра и ремонта. Лазы выполняют овальной или округлой формы. Лазы овальной формы имеют размеры по наибольшей оси не менее 400 мм, по наименьшей – не менее 325 мм. Диаметр круглых в свету – не менее 400 мм. Сосуды с внутренним диаметром 800 мм и менее имеют круглые или овальные люки размером по наименьшей оси 80 мм. Крышки лазов и люков делают съемными или откидывающимися на шарнирах. Для изготовления сосудов применяют только те материалы, которые предусмотрены рабочими чертежами и расчетом на прочность. Каждый сосуд после изготовления подвергают гидравлическому испытанию. Для обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды снабжают приборами измерения давления и температуры среды, предохранительными клапанами, запорной арматурой, а в некоторых случаях – указателями уровня жидкости. На сосуды, работающие под давлением, разрешается установка манометров класса точности не ниже 2,5, с красной чертой по делению, соответствующему разрешенному рабочему давлению в сосуде. Количества предохранительных клапанов, их размеры и пропускная способность выбираются так, чтобы в сосуде не могло образоваться давление, превышающее рабочее более чем на 0,05 МПа для сосудов с давлением до 0,3 МПа, на 15% – для сосудов с давлением до 6 МПа и на 10% – для сосудов с давлением выше 6 МПа. Содержимое сосуда, выходящее из предохранительного клапана, отводится в безопасное место. Отводящие трубы снабжают устройством для слива скопившегося в них конденсата.

Сосуды подлежат регистрации в органах надзора, за исключением тех, у которых произведение вместимости на давление не превышает 1000 МПа. Если же сосуды работают под давлением едких, ядовитых и взрывоопасных сред при температуре 200 °C и выше, а произведение вместимости на давление равно 50 МПа и более, то такие сосуды также подлежат регистрации в органах Государственного надзора.

Не регистрируются в этих органах баллоны для транспортирования и хранения сжиженных, сжатых и растворенных газов вместимостью до 100 л.

Все сосуды, как регистрируемые, так и не регистрируемые в органах, учитываются владельцами в специальной книге учета и освидетельствования сосудов. Книга эта хранится у

лица, на которое возложен надзор за сосудами на предприятии. На каждый сосуд составляют паспорт.

Разрешение на пуск в работу сосудов, регистрируемых в органах Государственного надзора, выдается инспектором местного органа. Сосуды, не регистрируемые в органах надзора, вводятся в эксплуатацию по разрешению лица, назначенного приказом по предприятию. Разрешение записывают в паспорт сосуда.

Лицо, осуществляющее на предприятии надзор за сосудами, а также лицо, ответственное за их исправное состояние и безопасное действие, назначаются приказом по предприятию из числа инженерно-технических работников, прошедших проверку знаний правил техники безопасности.

На каждый сосуд или группу одинаковых сосудов составляют инструкцию по эксплуатации, которую вывешивают на рабочих местах и выдают обслуживающему персоналу.

Ремонт сосуда и его элементов во время работы не допускается. Во время работы в установленные инструкцией сроки и в должном объеме проверяют исправность действия арматуры, контрольно-измерительных приборов и предохранительных устройств. Сосуд выводят из работы при превышении давления выше разрешенного, неисправности предохранительных клапанов, повреждении основных элементов, неисправностях манометра, указателя уровня жидкости, снижении уровня жидкости ниже допустимого (для сосудов с огневым обогревом) и в других случаях, указанных в инструкции.

Работу внутри сосудов выполняют по наряду. Меры безопасности принимаются такие же, как и при работах внутри барабанов и в резервуарах.

**Дополнительные требования к баллонам.** Баллоны для сжатых, сжиженных и растворенных газов емкостью более 100 л должны быть снабжены паспортом по форме, установленной для сосудов, работающих под давлением.

На баллоны более 100 л должны устанавливаться предохранительные клапаны. При групповой установке баллонов допускается установка предохранительного клапана на всю группу баллонов.

Баллоны емкостью более 100 л, устанавливаемые в качестве расходных емкостей для сжиженных газов, которые используются как топливо на автомобилях и других транспортных средствах, кроме вентиля и предохранительного клапана

должны иметь указатель максимального уровня наполнения. На таких баллонах также допускается установка специального наполнительного клапана, вентиля для отбора газа в парообразном состоянии, указателя уровня сжиженного газа в баллоне и пробки.

Боковые штуцера вентилями для баллонов, наполняемых водородом и другими горючими газами, должны иметь левую резьбу, а для баллонов, наполняемых кислородом и другими негорючими газами, — правую.

Каждый вентиль баллона для ядовитого и горючего газа должен быть снабжен заглушкой, навертывающейся на боковой штуцер.

Вентили баллонов с кислородом должны ввертываться на материале, не содержащем жировых веществ, на фольге или с применением жидкого натриевого стекла; они не должны иметь просаленных или промасленных деталей и прокладок.

На верхней сферической части каждого баллона должны быть отчетливо нанесены клеймением следующие данные:

- ◆ товарный знак завода-изготовителя;
- ◆ номер баллона;
- ◆ фактический вес порожнего баллона;
- ◆ дата (месяц и год) изготовления и год следующего освидетельствования;
- ◆ рабочее давление ( $P$ ), Па;
- ◆ емкость баллона;
- ◆ клеймо ОТК завода-изготовителя круглой формы диаметром 10 мм (за исключением стандартных баллонов емкостью свыше 55 л).

Высота знаков на баллонах должна быть не менее 6 мм, а на баллонах емкостью свыше 55 л — не менее 8 мм.

Масса баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, указывается с учетом веса нанесенной краски, кольца для колпака и башмака, если таковые предусмотрены конструкцией, но без веса вентиля и колпака.

Место на баллонах, где выбиты паспортные данные, должно быть покрыто бесцветным лаком и обведено отличительной краской в виде рамки.

На баллонах емкостью до 5 л или с толщиной стенки менее 5 мм паспортные данные могут быть выбиты на пластине, припаянной к баллону, либо нанесены эмалевой или масляной краской.

Наружная поверхность баллона должна быть окрашена согласно данным, приведенным в табл. 3.17.

Таблица 3.17  
Окраска баллонов

Наименование газа	Окраска баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
1	2	3	4	5
Азот	черная	азот	желтый	коричневый
Аммиак	желтая	аммиак	черный	—
Аргон сырой	черная	аргон сырой	белый	белый
Аргон техн.	черная	аргон техн.	синий	синий
Аргон чистый	серая	аргон чистый	зеленый	зеленый
Ацетилен	белая	ацетилен	красный	—
Бутан	красная	бутан	белый	—
Бутилен	красная	бутилен	желтый	черный
Водород	темно-зел.	водород	красный	—
Воздух	черная	сжатый воздух	белый	—
Гелий	коричневая	гелий	белый	—
Закись азота	серая	закись азота	черный	—
Кислород	голубая	кислород	черный	—
Кислород медицинский	голубая	кислород медицинский	черный	—
Нефтегаз	серая	нефтегаз	красный	—
Сернистый ангидрид	черная	сернистый ангидрид	белый	желтый
Сероводород	белая	сероводород	красный	красный
Углекислота	черная	углекислота	желтый	—
Фосген	защитная	—	—	красный
Фреон 11	алюминиевая	фреон 11	черный	синий

Окончание табл. 3.17

1	2	3	4	5
Фреон 12	алюминиевая	фреон 12	черный	—
Фреон 13	алюминиевая	фреон 13	черный	2 красные
Фреон 23	алюминиевая	фреон 23	черный	2 желтые
Хлор	защитная	—	—	зеленый
Циклопропан	оранжевая	циклопропан	черный	—
Этилен	фиолетовая	этилен	красный	—
Все другие	красная	наименование	белый	—
Все другие негорючие газы	черная	наименование	желтый	—

Надписи на баллонах наносят по окружности на длину не менее 1/3 окружности, а полосы — по всей окружности, причем высота букв на баллонах емкостью более 12 л должна быть 60 мм, а ширина полосы — 25 мм. Размеры надписей и полос на баллонах емкостью до 12 л должны определяться в зависимости от величины боковой поверхности баллона.

Цвет окраски и текст надписей на баллонах, используемых в специальных установках или предназначенных для наполнения газами специального назначения, устанавливаются заинтересованными ведомствами по согласию с компетентными органами.

Окраска баллонов и надписи на них могут производиться масляными, эмалевыми или нитрокрасками (табл. 3.17). Баллоны, находящиеся в эксплуатации, должны подвергаться периодическому освидетельствованию не реже чем раз в 5 лет. Баллоны, которые предназначены для наполнения газами, вызывающими коррозию (хлор, хлористый метил, фосген, сероводород, сернистый ангидрид, хлористый водород и др.), а также баллоны для сжатых и сжиженных газов, применяемых в качестве топлива для автомобилей и других транспортных средств, подлежат периодическому освидетельствованию не реже чем раз в 2 года.

Установленные стационарно, а также установленные постоянно на передвижных средствах баллоны и баллоны-сосуды, в которых хранятся сжатый воздух, кислород, аргон, азот и гелий с температурой точки росы  $-35^{\circ}\text{C}$  и ниже, замеренной при давлении  $15 \cdot 10^6$  Па и выше, а также баллоны с обезвоженной углекислотой подлежат техническому освидетельствованию не реже чем раз в 10 лет.

Баллоны и баллоны-сосуды с некоррозийной средой, постоянно находящиеся не под давлением, но периодически опорожняемые под давлением выше  $7 \cdot 10^6$  Па, подлежат техническому освидетельствованию не реже одного раза в 10 лет.

Периодическое освидетельствование баллонов должно производиться на заводах-изготовителях или на наполнительных станциях (испытательных пунктах) работниками этих заводов (наполнительных станций).

Освидетельствование баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, предполагает: осмотр внутренней и наружной поверхностей баллонов; проверку веса и емкости; гидравлическое испытание.

Проверка веса и емкости бесшовных баллонов емкостью 12 л включительно и выше 55 л, а также сварных баллонов не производится.

Осмотр баллонов производится с целью выявления на их стенках коррозии, трещин, вмятин и других повреждений (для установления пригодности баллонов к дальнейшей эксплуатации). Перед осмотром баллоны должны быть тщательно очищены и промыты водой, а в необходимых случаях – промыты соответствующими растворителями или дегазированы.

Баллоны, в которых при осмотре наружной и внутренней поверхности выявлены трещины, вмятины, отдушины, раковины и риски глубиной более 10% номинальной толщины стенки, надрывы и выщербины, износ резьбы горловины, а также баллоны, на которых отсутствуют некоторые паспортные данные, должны быть выбракованы.

После удовлетворительных результатов освидетельствования на каждый баллон наносятся следующие клейма:

- ◆ клеймо завода-изготовителя, на котором произведено освидетельствование баллона (круглой формы диаметром 12 мм);
- ◆ дата произведенного и следующего освидетельствования (в одной строке с клеймом завода-наполнителя).

Результаты освидетельствования баллонов для ацетилена записываются в журнал испытания.

Освидетельствование баллонов для ацетилена должно производиться на заводе-наполнителе не реже чем раз в 5 лет. Забракованные баллоны независимо от их назначения должны быть приведены в негодность (путем нанесения насечек на резьбе горловины или просверливания отверстий на корпусе), исключающую возможность их дальнейшего использования.

Освидетельствование баллонов должно производиться в отдельных специально оборудованных помещениях. Температура воздуха в этих помещениях должна быть не ниже 12 °С.

Наполненные газом баллоны, находящиеся на длительном складском хранении, при наступлении очередных сроков периодического освидетельствования подвергаются представителем администрации освидетельствованию в выборочном порядке.

При удовлетворительных результатах освидетельствования срок хранения баллонов устанавливается лицом, произведшим освидетельствование. Хранятся эти баллоны не более двух лет.

Запрещается наполнять газом баллоны, у которых истек срок периодического освидетельствования; отсутствуют установленные клейма; неисправны вентили; поврежден корпус (трещины, сильная коррозия, заметное изменение формы); окраска и надписи не соответствуют Правилам.

Ремонт баллонов (пересадка башмаков и колец для колпаков) и вентилей должен производиться на заводах-наполнителях. По разрешению местных органов Госпроматомнадзора ремонт баллонов и вентилей может производиться в специальных мастерских.

Баллоны для сжатых газов, принимаемые заводами-наполнителями от потребителей, должны иметь остаточное давление не менее  $5 \cdot 10^6$  Па, а баллоны для растворенного ацетилена — не менее  $5 \cdot 10^6$  и не более  $10 \cdot 10^6$  Па.

Выпуск газов из баллонов в емкости с меньшим давлением должен производиться через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет.

Камера низкого давления редуктора должна иметь манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулиро-

ванный на соответствующее разрешенное давление в емкости, в которую перепускают газ.

Баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов и печей на расстоянии не менее 1 м, а от источников тепла с открытым огнем — не менее 5 м.

В сварочной мастерской при наличии не более 10 сварочных постов допускается для каждого поста иметь по одному запасному баллону с кислородом и ацетиленом. Запасные баллоны должны быть либо ограждены стальными щитами, либо храниться в специальных пристройках к мастерской. При наличии в мастерской более 10 сварочных постов должно быть устроено централизованное снабжение газами.

Баллоны со сжатым или сжиженным газом, установленные в качестве расходных емкостей на автомобилях и других транспортных средствах, должны быть прочно укреплены и герметично присоединены к отводящим трубопроводам. Перестановка и замена баллонов, не снимаемых для наполнения, без разрешения лица, ответственного за эксплуатацию вышеуказанных транспортных средств, запрещается.

Баллоны с ядовитыми газами должны храниться в специальных закрытых помещениях, устройство которых регламентируется соответствующими нормами и положениями. Баллоны со всеми другими газами могут храниться как в специальных помещениях, так и на открытом воздухе; в последнем случае они должны быть защищены от атмосферных осадков и солнечных лучей.

Складирование в одном помещении баллонов с кислородом и горючими газами запрещается.

Наполненные баллоны с насаженными на них башмаками должны храниться в вертикальном положении. Для предохранения от падения баллоны должны устанавливаться в специально оборудованные гнезда, клетки или ограждаться барьером.

Баллоны, которые не имеют башмаков, могут храниться в горизонтальном положении на деревянных рамках или стеллажах. При хранении на открытых площадках разрешается укладывать баллоны с башмаками в штабеля с прокладками из веревки, деревянных брусьев или резины между горизонтальными рядами.

При укладке баллонов в штабеля высота последних не должна превышать 1,5 м, вентили баллонов должны быть обращены в одну сторону.

Склады для хранения баллонов, наполненных газами, должны быть одноэтажными, с покрытиями легкого типа и не иметь чердачных помещений. Стены, перегородки, покрытия складов для хранения газов должны быть из негорючих материалов не ниже II степени огнестойкости; окна и двери должны открываться наружу. Оконные и дверные стекла должны быть матовыми или окрашены белой краской. Высота складских помещений для баллонов должна быть не менее 3,25 м от пола до нижних выступающих частей кровельного покрытия.

Полы складов должны быть ровными, нескользкими, из материалов, исключающих искрообразование. В складах должны быть вывешены инструкции, правила и плакаты по обращению с баллонами, находящимися на складе. Склады для баллонов, наполненных газом, должны иметь естественную или искусственную вентиляцию в соответствии с требованиями санитарных норм проектирования промышленных предприятий. Склады для баллонов со взрыво- и пожароопасными газами должны находиться в зоне молниезащиты.

Складские помещения для хранения баллонов должны быть разделены негорючими стенами на отсеки, в каждом из которых допускается хранение не более 500 баллонов (по 40 л) с горючими или ядовитыми газами, не более 1000 баллонов (по 40 л) с негорючими и неядовитыми газами.

Отсеки для хранения баллонов с негорючими и неядовитыми газами могут быть отделены негорючими перегородками высотой не менее 2,5 м с открытыми проемами для прохода людей и для средств механизации. Каждый отсек должен иметь самостоятельный выход наружу.

Перемещение баллонов в пунктах наполнения и потребления газов должно производиться на специально приспособленных для этого тележках или с помощью других устройств.

Перевозка наполненных газом баллонов должна производиться в горизонтальном положении обязательно с прокладками между баллонами на рессорном транспорте или автокарах. В качестве прокладок могут применяться деревянные бруски с вырезанными гнездами для баллонов, а также веревочные или резиновые кольца толщиной не менее 25 мм (по 2 кольца на баллон) или другие прокладки, предохраняющие баллоны от ударов друг о друга. Все баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону. Разрешается перевозка бал-

лонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением, предотвращающим возможное падение.

При погрузке, разгрузке, транспортировке и хранении баллонов должны применяться меры, предохраняющие от падения, повреждения и загрязнения баллонов.

Транспортирование и хранение стандартных баллонов емкостью более 12 л должно производиться с навернутыми колпаками. Хранение наполненных баллонов на заводе-изготовителе до выдачи их потребителям допускается без предохранительных клапанов.

При транспортировке и хранении баллонов с ядовитыми и горючими газами на боковых штуцерах вентиляй баллонов должны быть поставлены заглушки. Баллоны, наполненные газами, при перевозке должны быть предохранены от действия солнечных лучей. Перевозка баллонов железнодорожным, водным и воздушным транспортом должна производиться согласно правилам соответствующих министерств.

### **3.3.13. Требования безопасности при эксплуатации подъемно-транспортных средств**

В настоящее время в различных отраслях народного хозяйства широко используется различная подъемно-транспортная техника: мостовые и козловые краны, автопогрузчики, средства малой механизации (конвейеры, лебедки, мототележки, блоки и др.).

Рабочая группа грузоподъемных устройств и транспортного оборудования зачастую является опасной зоной не только для обслуживающего персонала, но и для посторонних лиц. Опасности, которым в этих условиях могут подвергаться люди, связаны в основном с непреднамеренным контактом с движущимися частями оборудования и возможным ударом падающими предметами при обрыве поднимаемого груза, при высыпании его части, а также с падением самого оборудования, наездами и столкновениями.

Поскольку указанные опасности связаны с внешней зоной действия оборудования и машин, то и опасная зона становится подвижной, зависящей от выполнения данной технологической операции. Поэтому для обеспечения безопасности работ необходимо определить опасную зону и установить причины ее возникновения для характерных случаев манипулирования.

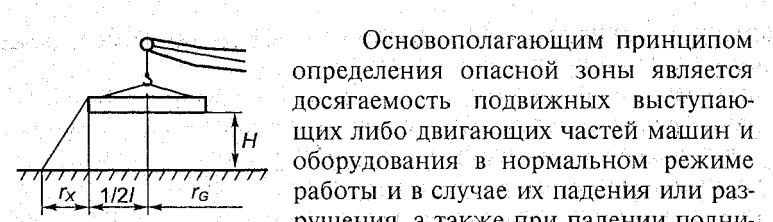


Рис. 3.17. Схема к определению опасной зоны у грузоподъемного механизма

Основополагающим принципом определения опасной зоны является досягаемость подвижных выступающих либодвигающих частей машин и оборудования в нормальном режиме работы и в случае их падения или разрушения, а также при падении поднимаемых или переносимых (перевозимых) грузов. На рис. 3.17 показан пример определения опасной зоны грузоподъемного механизма.

Администрация предприятий обязана устанавливать постоянный надзор за состоянием грузоподъемных устройств, канатов, цепей, сменных грузозахватных органов (крюков, грузоподъемных электромагнитов и т.п.), съемных грузозахватных приспособлений (стропов, клещей, траверс и т.п.) и уходом за ними и безопасностью эксплуатации. Правилами безопасности предусматривается проведение регламентированных испытаний грузоподъемных машин, представляющих с точки зрения охраны труда наибольшую опасность среди всех подъемных транспортных машин.

Вновь установленные грузоподъемные машины должны быть подвергнуты до пуска в работу полному техническому освидетельствованию. Грузоподъемные машины, находящиеся в работе, должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию: частичному – не реже одного раза в год; полному – не реже одного раза в 3 года, за исключением редко используемых. Возможно внеочередное полное техническое освидетельствование грузоподъемной машины (после монтажа на новом месте, реконструкции, смены крюка, ремонта металлических конструкций грузоподъемной машины с заменой расчетных элементов и т.д.). При полном техническом освидетельствовании грузоподъемная машина должна подвергаться осмотру, статическому и динамическому испытанию. При частичном техническом освидетельствовании статические и динамические испытания не проводятся.

Осмотр сопровождается проверкой работы механизмов и электрооборудования, тормозов и аппаратуры управления, освещения и сигнализации, приборов безопасности и регламентируемых габаритов.

Цель статических испытаний – проверка прочности металлических конструкций грузоподъемных машин и устойчивости

ти против опрокидывания (для стреловых кранов). Статические испытания кранов производят нагрузкой, на 25% превышающей его грузоподъемность. Кран устанавливают над опорами крановых путей, а его тележку (тележки) — в положение, отвечающее наибольшему прогибу. На стреловом кране стрела устанавливается относительно ходовой платформы в положение, соответствующее наименьшей устойчивости крана. Крюком или заменяющим его устройством захватывается груз и поднимается на высоту 200–300 мм (при стреловом кране — 100–200 мм) с последующей выдержкой в таком положении в течение 10 мин. По прошествии 10 мин груз опускают и проверяют наличие или отсутствие остаточной деформации моста крана (при стреловых кранах груз не должен опуститься на землю, не должны появиться трещины, деформации и т.п.).

Динамическое испытание грузоподъемных машин производится грузом, на 10% превышающим грузоподъемность машины, и имеет целью проверку действия механизмов грузоподъемной машины и их тормозов. Допускается динамическое испытание осуществлять рабочим грузом. При динамическом испытании производят повторный подъем и опускание груза.

При техническом освидетельствовании стальные канаты (тросы) бракуют по числу обрывов проволок на длине одного шага свивки каната, при этом учитывается их конструкция, степень износа и коррозии, назначение, отношение диаметра блока, огибаемого канатом, к диаметру последнего. При обнаружении оборванной пряди канат к эксплуатации не допускают.

Все канаты и цепи, применяемые на подъемно-транспортных машинах, проверяют по формуле

$$P/N \geq K,$$

где  $K$  — коэффициент запаса прочности;  $P$  — разрывное усилие;  $N$  — натяжение каната или цепи.

При расчете стропов, предназначенных для подъема грузов с обвязкой или зацепкой крюками, кольцами или серьгами, коэффициент запаса прочности канатов должен приниматься не менее 6.

Если натяжение стропов из стальных канатов или цепей не должно превышать известной величины, то максимально допустимую массу груза можно рассчитать по формуле

$$G_{\max} \leq KN/C.$$

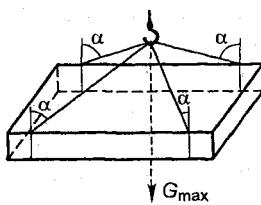


Рис. 3.18. Схема натяжения строповочных канатов

Значение коэффициента  $K$  определяют по углу  $\alpha$  между канатом и грузом (рис. 3.22):  $\alpha = 0^\circ \dots 30^\circ \dots 45^\circ$ ,  $K = 1 \dots 1,15 \dots 1,42$ .

Грузозахватные приспособления и тару до пуска в работу подвергают осмотру, причем первые испытываются нагрузкой, на 25% превышающей их номинальную грузоподъемность. Испытанные вспомогательные грузозахватные приспособления снабжают бирками и клеймами, без которых их не допускают к использованию.

Большое значение для безопасности работы подъемно-транспортных машин имеет выполнение основных требований при проведении такелажных работ: при кантовании груза необходимо использовать специальные устройства — рым-болты, проушины; центр тяжести поднимаемого груза должен находиться в середине между захватами стропа; строповые канаты необходимо располагать на поднимаемом грузе равномерно, без узлов и перекруток; строповочный трос следует отделять от острых кромок и ребер груза прокладками (доски, резина и т.п.); сплетение грузовых канатов не допускается; при проведении такелажных работ должна применяться оперативная сигнализация.

Для обеспечения безопасности эксплуатации подъемно-транспортных машин применяют: концевые выключатели, автоматически отключающиеся механизмы подъема крюка или механизмы передвижения крана при подходе к крайним положениям; концевые упоры для предотвращения перехода перемещаемых подъемных механизмов за рельсовые пути; ограничители грузоподъемности, предохраняющие кран от перегрузки путем выключения механизма подъема; устройства, предотвращающие соскальзывание канатов с крюка; буферные устройства, амортизирующие толчки при столкновении с соседними кранами и другими объектами; звуковую и световую сигнализацию, предупреждающую о наступлении опасного момента при работе крана; блокировочные приспособления для автоматического отключения неогражденных троллейных проводов при выходе человека с площадки, лестницы, галереи, с которых возможно случайное прикосновение к троллейным проводам; тормозные идерживающие устройства (ловители).

Достигаемость падающей детали будет зависеть от высоты подъема  $H$ , причем отклонение от проекции груза на горизонтальную плоскость  $r$  будет равным и одинаковым (кроме случаев резкого ускорения при переносе груза). В плане зона досягаемости чаще всего окружность, но при необходимости ограничения размеров опасной зоны она может отличаться от окружности, так как зона досягаемости будет либо увеличиваться, либо уменьшаться в зависимости от принятой на данном участке переноса груза высоты его подъема. Расстояние возможного отлета груза для определения границы опасной зоны можно подсчитать, используя зависимость от высоты его подъема. Наиболее простое решение состоит в том, что обычно  $r$  принимают равным одной трети  $H$ , т.е.

$$r = 0,3H.$$

Тогда радиус опасной зоны  $R$  может быть подсчитан по формуле

$$R = r + 0,5l + 0,3H,$$

где  $r$  — вылет стрелы или крюка на стреле крана (отсчитывается от оси поворота башни), причем  $r$  может быть равно нулю при работе с кран-балкой или талью;  $l$  — наибольший размер груза по горизонтальной составляющей (при подъеме длинномерных предметов по вертикали их отлет связан с падением во всю длину);  $H$  — высота подъема груза (при предварительных расчетах — максимальная высота подъема груза).

Безопасность труда при подъеме и перемещении грузов в значительной степени зависит от конструктивных особенностей подъемно-транспортных машин и соответствия их правилам и нормам. При их эксплуатации следует оградить все доступные движущиеся или вращающиеся части механизмов, исключить непредусмотренный контакт работающих с перемещаемыми грузами и самими механизмами при их передвижении, а также обеспечить надежную прочность механизмов, вспомогательных, грузозахватных и строповочных приспособлений.

Для обеспечения безопасной эксплуатации подъемно-транспортных машин их снабжают средствами защиты включая системы дистанционного управления. Для дистанционного управления подъемно-транспортными машинами применяют

электрические следящие системы (при стационарном пульте управления) и радиопередающие устройства.

Концевые выключатели механизма передвижения устанавливают таким образом, чтобы отключение привода приходилось на расстояние до упора, равное не менее половины пути торможения механизма. При установке ограничителей хода на механизме передвижения для предупреждения столкновения двух кранов, работающих на однорельсовом пути, это расстояние может быть уменьшено вдвое. Концевые ограничители используются в конструкциях мостовых электрических кранов, а также на талях и электролебедках. Во избежание соскачивания груза с крюка (при его ослаблении) рекомендуется применять крюки, имеющие предохранительные скобы.

Для учета воздействия ветровых нагрузок подъемно-транспортные машины снабжают автоматическими приборами ветровой сигнализации и защиты от ветровых нагрузок.

Из других предохранительных средств следует отметить остановы и ловители. Они предназначены для удержания поднятого груза.

### **3.4. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ**

Производственная санитария определяется как система организационных, санитарно-гигиенических и технических мероприятий, способов и средств, предотвращающих воздействие на работающих (персонал) вредных производственных факторов (загрязнение воздушной среды, неблагоприятные метеорологические показатели воздуха, освещение, повышенные уровни вибраций, шума, ультра- и инфразвука и др.).

#### **3.4.1. Оздоровление воздушной среды**

Воздушная среда, в которой осуществляется производственная деятельность человека, характеризуется химическим составом, физическими параметрами и другими показателями, оказывающими существенное влияние на здоровье работающих, их психофизиологическое состояние и работоспособность.

Атмосферный воздух, наиболее благоприятный для дыхания, содержит 78,08% азота, 20,95 кислорода, 0,03 углекислого газа, 0,93 инертных и 0,01% прочих газов.

В процессе производства в воздух рабочей зоны могут попадать вредные вещества различного происхождения (газы,

пары, аэрозоли), которые способны вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья работающих.

Загрязнение воздушной среды и изменение его газового состава и физических параметров может происходить: при механической обработке материалов (сверление, шлифование, пескоструйная обработка поверхностей, дробление, размол, транспортировка измельченного материала и др.); газовой и плазменной резке металлов, электросварке, лужении и пайке; обезжиривании поверхностей в органических растворителях; нанесении защитных покрытий с использованием лаков, красок, эпоксидных смол; металлизации и травлении различных элементов в растворах кислот, щелочей и солей и при многих других техпроцессах и операциях.

Основной состав загрязнителей воздуха на многих производственных участках включает в себя оксиды углерода, серы, азота ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), различные углеводороды ( $\text{C}_N$ ,  $\text{H}_M$ ), альдегиды (фенол, формальдегид), пары минеральных кислот, аэрозоли красок и др.

По характеру воздействия на организм вредные вещества классифицируются на общетоксичные, раздражающие, сенсибилизирующие, канцерогенные и мутагенные.

Так, оксид углерода ( $\text{CO}$ ) действует главным образом на нервную и сердечно-сосудистую системы, соединяясь с гемоглобином крови, лишает его способности переносить кислород к тканям и вызывает удушье.

Оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ) оказывают раздражающее действие на органы дыхания, вызывая кашель, рвоту, иногда головную боль.

Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) вызывает раздражение слизистой оболочки глаз и дыхательных путей, создает неприятный вкус во рту.

Углеводороды (пары бензина, пентан, гексан и др.) обладают наркотическим действием, снижают активность, вызывают головную боль, головокружение, кашель, а бензопирен ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ) – канцерогенным свойством. Он содержится в саже, дымовых газах и отработавших газах автомобилей.

Альдегиды оказывают раздражающее действие на глаза и дыхательные пути, а при значительных концентрациях вызывают головную боль, слабость, потерю аппетита, бессонницу и др.

На производствах с применением свинца, ртути, цианистых соединений, мышьяка, амиака, оксидов цинка (например,

сварка оцинкованных изделий, плавка бронзы и латуни) возможно острое отравление, признаками которого являются головные боли, ощущение пульса в виске, головокружение и др.

Более двадцати различных веществ, применяемых на производстве, являются канцерогенными (хром, никель, кадмий, мышьяк, угольная сажа и др.).

Основными факторами поражения организма являются объемная концентрация вредного вещества в зоне дыхания или рабочей зоне ( $C$ , мг/м<sup>3</sup>), время действия вредного вещества ( $t$ , ч), химический состав и физические свойства вещества (растворимость в биологических и других средах).

**Нормирование и гигиеническая оценка загрязнения воздушной среды.** Гигиеническая оценка степени загрязнения воздушной среды вредными веществами производится сопоставлением фактической их концентрации ( $C_{\text{факт}}$ ) в рабочей воздушной зоне (или в зоне дыхания) с предельно допустимой концентрацией ( $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$ ), установленной нормативной документацией.

Для санитарно-гигиенической оценки воздушной среды используется несколько видов предельно допустимых концентраций вредных веществ, которые установлены на основе рефлекторных реакций организма человека на присутствие в воздухе вредных веществ.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны ( $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$ , мг/м<sup>3</sup>) не должна вызывать у работающих при ежедневном вдыхании в течение 8 ч каких-либо заболеваний или отклонений от нормы в состоянии здоровья, которые могли бы быть обнаружены современными методами исследования непосредственно во время работы или в отдаленные сроки. При этом рабочей зоной считается пространство высотой 2 м над уровнем пола, на котором расположены места постоянного или временного пребывания работающих.

Другой вид –  $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$  – это максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>, которая не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека.

Третий вид –  $\text{ПДК}_{\text{сс}}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе населенных пунктов, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного вредного воздействия на организм человека в условиях неопределенного долгого круглогодичного вдыхания.

Для обеспечения охраны воздушной среды установлена еще одна нормативная величина, характеризующая объем вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу отдельными источниками загрязнения, — предельно допустимый выброс (ПДВ). Эта величина определяется как количество загрязняющего вещества, выбрасываемого отдельным источником за единицу времени, превышение которой ведет к превышению ПДК в среде, окружающей источник загрязнения, и в результате — к неблагоприятным последствиям для окружающей среды и здоровья людей.

По степени воздействия на организм все вредные вещества подразделяются на четыре класса:

к I классу относятся вещества чрезвычайно опасные, для которых  $\text{ПДК}_{\text{р.з}} < 0,1 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;

ко II классу — высокоопасные вещества, для которых  $\text{ПДК}_{\text{р.з}} = 0,1\text{--}1,0 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;

к III классу — умеренно опасные вещества, для которых  $\text{ПДК}_{\text{р.з}} = 1,0\text{--}10 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;

к IV классу — малоопасные вещества, для которых  $\text{ПДК}_{\text{р.з}} > 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

При многокомпонентном загрязнении воздушной среды ее санитарно-гигиеническая оценка проводится с учетом особенностей (типов) комбинированного (сочетанного) действия веществ на организм человека. Установлены три наиболее выраженных типа такого действия: *синергизм*, когда одно вещество усиливает действие другого (например, марганец усиливает токсичность кобальта); *антагонизм*, когда одно вещество ослабляет действие другого (например, тот же марганец ослабляет токсичность свинца); *суммация*, когда действия веществ суммируются (например, совместное присутствие минеральных кислот — серной, соляной, азотной; оксид азота, формальдегид и др.).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ одностороннего действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них ( $C_1, C_2, C_3$  и т.д.) в воздухе помещений к их ПДК<sub>р.з</sub> ( $\text{ПДК}_{\text{р.з } 1}, \text{ПДК}_{\text{р.з } 2}, \text{ПДК}_{\text{р.з } 3}$  и т.д.) не должно превышать единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_{\text{р.з } 1}} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_{\text{р.з } 2}} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_{\text{р.з } 3}} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_{\text{р.з } n}} \leq 1.$$

Если же вредные вещества, содержащиеся в воздухе, не обладают однонаправленным действием, то их ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

Контроль за содержанием вредных веществ, относящихся к I классу опасности, должен осуществляться непрерывно с помощью самопищущих автоматических приборов, выдающих сигнал превышения ПДК. Концентрацию вредных веществ II, III и IV классов опасности допускается определять периодически.

**Основные способы и средства оздоровления воздушной среды на производстве.** Наибольший эффект в защите воздушной среды от загрязнения может быть достигнут при сочетании следующих мероприятий:

- ◆ совершенствование технологических процессов, обеспечение их непрерывности, герметичности аппаратуры и коммуникаций, применение гидро- и пневмотранспорта для пылящих веществ и материалов;
- ◆ внедрение комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, применение дистанционного управления и автоматизации контроля за ходом технологического процесса, что способствует устраниению ручного труда и контакта с вредными веществами;
- ◆ замена вредных веществ в производстве на безвредные или менее вредные;
- ◆ гигиеническая стандартизация химического сырья и продукции (например, ограничение содержания мышьяка в серной кислоте; бензола, ксилола, углеводородов и серы в бензине и других видах топлива);
- ◆ эффективная вентиляция производственных помещений и др.

### **3.4.2. Ионизация воздуха рабочей зоны**

Обеспечение определенной степени ионизации воздушной среды в рабочей зоне является одним из важнейших факторов поддержания хорошего самочувствия и высокой работоспособности персонала. Установлено, что значительное снижение содержания заряженных частиц (ионов) в воздухе совпадает с появлением у работающих необычной болезненности, жалоб на усталость, депрессию, тошноту, бессонницу, раздражительность, респираторные нарушения и др. В то же время пребывание людей в условиях с умеренно-повышенной ионизацией ат-

мосферы при преимущественном преобладании отрицательных ионов, наоборот, благоприятно воздействует на организм.

Все это позволило считать ионы в воздухе (аэроионы) биологически активными факторами среды.

Процесс ионизации воздуха заключается в превращении нейтральных атомов и молекул воздушной среды в электрически заряженные частицы (ионы). Ионы в воздухе могут образовываться вследствие естественной и искусственной ионизации.

*Естественная ионизация* происходит в результате воздействия на воздушную среду космической и солнечной радиации и ионизирующих излучений (частиц), возникающих при распаде долгоживущих радионуклидов земной коры (калий-40, уран-238, торий-232 и др.). Естественная ионизация воздушной среды происходит повсеместно и постоянна во времени.

*Искусственная аэроионизация* возникает под действием ионизирующих факторов, сопровождающих некоторые техногенные процессы (рентгеновские и ультрафиолетовые излучения, термоэмиссия, фотоэффект и др.), а также в специальных устройствах — ионизаторах, использующих такие явления, как коронной разряд и радиоактивный распад некоторых элементов.

Степень ионизированности воздуха зависит от соотношения процессов ионизации и деионизации. Последняя обусловливается рекомбинацией двух ионов разных полярностей, адсорбией легких ионов на незаряженных ядрах, конденсацией, нейтрализацией легких и тяжелых ионов зарядами противоположного знака и др.

Основными характеристиками ионов являются их подвижность и заряд. Подвижность ионов выражается коэффициентом подвижности ( $k$ ,  $\text{см}^2/\text{с} \cdot \text{В}$ ) между скоростью ионов и напряженностью электрического поля, действующего на ион. Подвижность ионов зависит и от их массы: чем больше масса, тем меньше скорость перемещения ионов в электрическом поле. По подвижности весь спектр ионов условно разделяется на пять диапазонов: легкие ( $k > 1,0$ ); средние ( $1,0 > k > 0,01$ ); тяжелые ( $0,01 > k > 0,001$ ); ионы Ланжевена ( $0,001 > k > 0,0002$ ); сверхтяжелые ионы ( $0,0002 > k$ ).

Степень ионизированности воздушной среды определяется количеством ионов каждой полярности в одном кубическом сантиметре воздуха ( $n^+$  и  $n^-$ ) и показателем полярности ( $\Pi$ ),

который определяется как отношение разности числа ионов положительной и отрицательной полярности к их сумме:

$$\Pi = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-}.$$

При равенстве количества ионов положительного и отрицательного знака показатель полярности  $\Pi = 0$ .

Минимально необходимые, оптимальные и максимально допустимые уровни легких ионов обеих полярностей и значения показателя полярности приведены в табл. 3.18.

Гигиеническая оценка степени аэроионизации среды осуществляется сравнением измеренных значений с нормативными величинами (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Гигиеническая оценка степени аэроионизации среды

Уровни ионизации воздушной среды	Число ионов в 1 см <sup>3</sup> воздуха		Показатель полярности П
	$n^+$	$n^-$	
Минимально необходимый	400	600	-0,2
Оптимальный	1500 – 3000	3000 – 5000	От -0,5 до 0
Максимально допустимый	50 000	50 000	От -0,05 до +0,05

Для нормализации ионного режима воздушной среды широко применяются искусственные ионизаторы (высоковольтные, индукционные, радиационные и др.) и эффективная, правильно организованная приточно-вытяжная вентиляция помещений, так как наружный чистый воздух содержит в 2–5 раз больше ионов, чем воздух закрытых помещений (50–100 ионов/см<sup>3</sup>).

### 3.4.3. Метеорологические условия труда

Метеорологические условия и микроклимат характеризуются физическими параметрами воздуха в рабочей зоне – его температурой ( $t$ , °C), относительной влажностью ( $\varphi$ , %), скоростью движения ( $v$ , м/с), а также интенсивностью теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, изделий и открытых источников ( $I$ , Вт/м<sup>2</sup>).

Данные параметры как отдельно, так и в комплексе оказывают значительное влияние на протекание жизненных про-

цессов в организме человека, во многом определяют его самочувствие и поэтому являются важной характеристикой комфорtnости условий труда.

Первостепенное значение в терморегуляции организма, т.е. поддержания температуры тела в пределах 36–37 °С имеют температура воздуха, его относительная влажность и скорость движения. Терморегуляция организма как физиологический процесс обеспечивается физической и химической терморегуляцией. Физическая терморегуляция осуществляется отдачей тепла организмом в окружающую среду путем его излучения в направлении окружающих предметов с более низкой температурой (при этом теряется до 45% всей тепловой энергии), путем конвекции, т.е. нагревом воздуха вокруг поверхности тела (до 30%), а также в результате испарения пота. При этом теряется примерно 13% тепла через органы дыхания и около 5% уходит на нагревание принимаемой пищи, воды и выдыхаемого воздуха. При физической терморегуляции изменяется деятельность сердечно-сосудистой системы (расширение кровеносных сосудов и увеличение кровотока к коже) и работы мышечных тканей.

Химическая терморегуляция осуществляется за счет изменения интенсивности процессов обмена веществ и окислительных процессов.

В состоянии покоя человек отдает в сутки в среднем 2400–2700 ккал тепла. При выполнении работы обмен веществ в организме усиливается, увеличивается и его теплопродукция, следовательно, требуется более интенсивная отдача тепла в окружающую среду, в противном случае возможно нарушение теплового баланса, что ведет к гипертермии. Перегрев организма возможен при затруднении теплоотдачи испарением пота, в результате повышенной температуры и относительной влажности воздуха (более 75–80%), что может в дальнейшем привести к судорожной болезни и тепловому удару, протекающему с потерей сознания, повышенной температурой тела (40–41 °С), нарушением белкового и витаминного баланса, а также выделению и накоплению в крови азота. Интенсивное потоотделение чревато угрозой обезвоживания организма и нарушением водно-солевого баланса.

Неблагоприятное воздействие на организм человека оказывает также и пониженная температура воздуха. Систематическое переохлаждение организма может явиться причиной заболевания периферической нервной системы. Сочетание низкой

температуры, высокой влажности и большой подвижности воздуха приводит к переохлаждению организма с возможностью смертельного исхода.

Микроклимат в производственных помещениях формируется под влиянием следующих факторов:

- ◆ наличие источников теплообразования (в том числе работающего персонала);
- ◆ количество теплопоступлений от солнечной радиации;
- ◆ количество теплообразования при работе электрического оборудования;
- ◆ кратность воздухообмена в помещении;
- ◆ теплопередача через ограждающие конструкции;
- ◆ температура поверхностей оборудования и ограждающих конструкций.

Теплообразование работающего персонала ( $Q_{\text{л}}$ ) можно рассчитать исходя из количества явного тепла, выделяемого одним человеком ( $q_{\text{л}}$ ):

$$Q_{\text{л}} = n q_{\text{л}}, \text{ ккал/ч},$$

где  $n$  – количество людей в помещении;  $q_{\text{л}} = 50–110$  ккал/ч·чел.

Теплопоступление от солнечной радиации ( $Q_p$ ) через световые проемы определяются по формуле

$$Q_p = S_{\text{ост}} q_{\text{ост}} k_3 A_{\text{ост}}, \text{ ккал/ч},$$

где  $S_{\text{ост}}$  – площадь остекления,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{ост}}$  – количество тепла, поступающее за счет солнечной радиации через  $1 \text{ м}^2$  остекленной поверхности ( $60–80$  ккал/ $\text{м}^2\cdot\text{ч}$ );  $k_3$  – коэффициент, зависящий от прозрачности стекол ( $0,4–0,8$ );  $A_{\text{ост}}$  – коэффициент, зависящий от вида остекления ( $1,15–1,45$ ).

Теплообразование от работающего электрооборудования ( $Q_{\text{эл}}$ ) можно рассчитать по формуле

$$Q_{\text{эл}} = 860 \cdot P_{\text{уст}} \eta, \text{ ккал/ч},$$

где  $P_{\text{уст}}$  – мощность электрооборудования, кВт;  $\eta$  – коэффициент использования электрической мощности оборудования ( $0,5–0,9$ ).

Кратность воздухообмена в помещении ( $K$ ) определяется как отношение количества воздуха, поступающего и удаляемого из помещения за единицу времени ( $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ), к объему помещения ( $V$ ,  $\text{м}^3$ ):

$$K = \frac{L}{V}, \text{ ч}^{-1}$$

**Гигиеническое нормирование метеоусловий.** Метеорологические условия – оптимальные и допустимые – регламентируются в зависимости от времени года, категории работ по энергозатратам, избыткам явного тепла. Оптимальные показатели распределяются на всю рабочую зону, а допустимые – дифференцированно для пространств и непостоянных рабочих мест. Допустимые показатели устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономическим причинам не обеспечиваются оптимальные нормы.

Нормами устанавливаются теплый, холодный и переходные периоды года. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$  и выше; холодный и переходный периоды – ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от общих энергозатрат работы подразделяются на легкие (I категория), средней тяжести (II категория) и тяжелые (III категория).

К *легким* физическим работам относятся виды деятельности с энергозатратами до 150 ккал/ч (174 Вт). К физическим работам *средней тяжести* – виды деятельности с расходом энергии 151–250 ккал/ч (175–290 Вт). К *тяжелым* физическим работам относятся работы, связанные с постоянным передвижением, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий с энергозатратами более 250 ккал/ч (более 290 Вт).

На микроклимат производственных помещений, в частности температуру воздуха, существенное воздействие оказывает тепло, поступающее в рабочую зону от оборудования, отопительных приборов, нагретых материалов, рабочих и других источников.

Избыточное явное тепло характеризуется остаточным количеством тепла, поступающим в помещение, когда тепловыделения превышают теплопотери. Избытки явного тепла принято считать *незначительными*, если они не превышают 20 ккал/ $\text{м}^3\cdot\text{ч}$ , и *значительными*, если они превышают эту величину. Производственные помещения со значительными избытками явного типа относятся к категории «горячих цехов».

Избытки явного тепла ( $Q_{и}$ ) определяются из уравнений теплового баланса помещения соответственно для теплого и холодного периодов года:

$$Q_{и} = Q_{тв} + Q_{с.р} - Q_{т.п},$$

$$Q_{и} = Q_{тв} - Q_{т.п},$$

где  $Q_{тв}$  – суммарные тепловыделения в помещении без учета поступления тепла от солнечной радиации;  $Q_{с.р}$  – теплопоступление за счет солнечной радиации;  $Q_{т.п}$  – тепловые потери помещения.

При обеспечении оптимальных показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкций, ограждающих рабочую зону (стен, пола, потолка и др.), или устройств (экранов и т.п.), а также температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должны выходить более чем на 2 °С за пределы оптимальных величин температуры воздуха, установленных нормами для отдельных категорий работ.

**Способы и средства нормализации микроклимата в производственных помещениях.** Важнейшими способами нормализации микроклимата в производственных помещениях и в зонах рабочих мест являются отопление, кондиционирование воздуха и вентиляция помещений.

Для защиты работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое» пламя и т.п.) используются средства индивидуальной защиты, в том числе средства защиты глаз. Предусматривается защита работающих и от ограждения остекленных поверхностей оконных проемов, а в теплый период года – от попадания прямых солнечных лучей.

**Отопление** помещений может быть местным и центральным. В качестве теплоносителей используется вода, пар или воздух. Тёплый воздух, подаваемый в помещение, обычно нагревается в калориферах с помощью горячей воды, пара или электрической энергии. Соответственно отопление может быть водяным, паровым, воздушным или комбинированным.

Центральные системы воздушного отопления обычно совмещаются с приточными вентиляционными системами. Калориферы таких систем устанавливаются вне отапливаемых помещений.

Отоплению подлежат здания, сооружения и помещения любого назначения с постоянным или длительным (более 2 ч) пребыванием людей в них во время проведения основных и ремонтно-восстановительных работ.

При температуре поверхностей ограждающих конструкций ниже или выше оптимальных величин температуры воздуха рабочие места должны удаляться от них на расстояние не менее 1 м. Температура воздуха в рабочей зоне, измеренная на разной высоте и в различных участках помещений, не должна выходить за пределы оптимальных величин, устанавливаемых нормами для отдельных категорий работ.

В качестве местного отопления иногда используется печное отопление. При этом одной печью допускается отапливать не более трех помещений.

*Кондиционирование воздуха* предназначено для автоматического регулирования всех или части физических параметров воздуха в пределах, обеспечивающих комфортные условия труда в зонах пребывания людей или необходимые для оптимизации техпроцессов. При полном кондиционировании воздуха контролируются такие его параметры, как температура, относительная влажность, подвижность, газовый состав, степень озонирования и ионизированности.

Системы кондиционирования бывают *центральные*, обслуживающие несколько помещений, и *местные*, обеспечивающие необходимый микроклимат в одном помещении.

Наиболее эффективным и широко используемым на практике методом оздоровления воздушной среды в помещениях различного назначения является вентиляция.

### **3.4.4. Вентиляция производственных помещений**

*Вентиляция* представляет собой систему технических средств, обеспечивающую регулярный воздухообмен в помещении. Она предназначена для удаления из помещения избыточного тепла, влаги, вредных газов и паров и создания наиболее благоприятного (отвечающего санитарно-гигиеническим требованиям) микроклимата и ионного состава.

Воздухообмен в помещении можно осуществлять естественным путем, через форточку или вентиляционные каналы за счет разности температур и давлений воздуха внутри помещения и вне его. Такая вентиляция называется *естественной* или *аэрацией*.

Более эффективна *искусственная механическая вентиляция*, осуществляемая с помощью вентиляторов и эжекторов.

Сочетание естественной и искусственной вентиляции образует *смешанную систему вентиляции*.

Естественная вентиляция может быть *неорганизованной*, когда воздух подается в помещение и удаляется из него за счет инфильтрации через неплотности и поры наружных ограждений. Естественная вентиляция считается *организованной*, если она имеет устройства, позволяющие регулировать направление воздушных потоков и величину воздухообмена (вытяжные каналы, шахты, форточки и фрамуги зданий, аэрационные фонари и др.).

Естественная вентиляция позволяет подавать и удалять из помещений большие объемы воздуха без применения вентиляторов. Недостатком является зависимость ее эффективности от температуры наружного воздуха, силы и направления ветра.

Подачу приточного воздуха с помощью естественной вентиляции в теплый период года следует предусматривать на высоте не менее 0,3 м и не выше 1,8 м, а в холодный период года – не менее 4 м от уровня пола (рис. 3.19). Общая площадь каналов для подачи воздуха через боковые световые проемы должна быть не менее 20% площади световых проемов, а фрамуги и жалюзи должны иметь устройства, обеспечивающие направление приточного воздуха вверх в холодный период года и вниз – в теплый.

Перепад давления ( $H_m$ ), создаваемый за счет разности плотности наружного (более тяжелого) и внутреннего (более

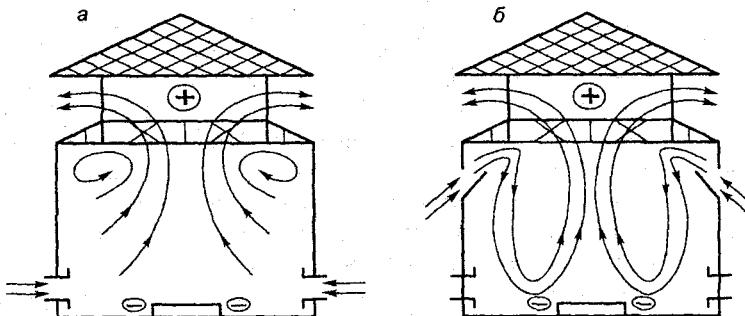


Рис. 3.19. Схема аэрации зданий за счет разности плотности воздуха:  
а – в теплый период года; б – в холодный

легкого) воздуха и обеспечивающий движение воздуха, определяется из уравнения

$$H_m \approx 0,98 h_{\Pi} (\rho_{\text{нар}} - \rho_{\text{вн}}),$$

где  $h_{\Pi}$  – высота между серединами приточных и вытяжных проемов, м;  $\rho_{\text{нар}}, \rho_{\text{вн}}$  – плотности наружного воздуха и воздуха внутри помещения, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность воздуха, находящегося внутри помещения ( $\rho_{\text{вн}}$ ) и снаружи ( $\rho_{\text{нар}}$ ), рассчитывается по формулам:

$$\rho_{\text{вн}} = \frac{353}{273 + t_{\text{вн}}}, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{нар}} = \frac{353}{273 + t_{\text{нар}}}, \text{ кг/м}^3,$$

где  $t_{\text{вн}}, t_{\text{нар}}$  – температура воздуха внутри и снаружи помещения, °C.

Величина теплового напора ( $H_T$ ) растет с увеличением высоты между осями приточных и вытяжных проемов ( $h_{\Pi}$ ) и разности температур наружного и внутреннего воздуха.

Искусственная механическая вентиляция, осуществляемая за счет вентиляторов и эжекторов, позволяет в отличие от естественной вентиляции подавать воздух в любую зону помещения или удалять его из мест образования различных вредностей: пыли, влаги, тепла, газов. В системах механической вентиляции можно предусматривать устройства для подогрева, увлажнения и очистки воздуха от пыли, а также его ионизации.

Механическая вентиляция может применяться как для подачи воздуха в помещение, тогда она называется *приточной*, так и для удаления воздуха из помещения, тогда она называется *вытяжной*.

*Приточно-вытяжная вентиляция* обеспечивает приток воздуха в помещение и одновременно его удаление из помещения.

По месту действия вентиляция может быть общебменной, местной и комбинированной. Общебменная вентиляция осуществляет воздухообмен во всем помещении, а местная – лишь в определенных местах.

Системы механической вентиляции состоят из вентиляторов, устройств для забора и подачи воздуха, воздуховодов, фильтров и т.д. (рис. 3.20).

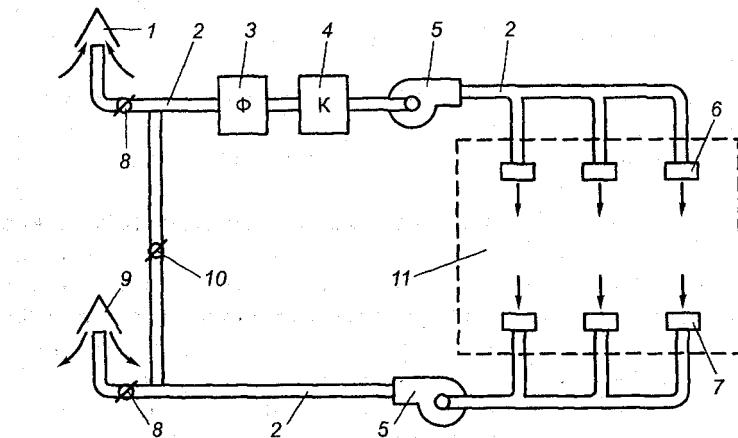


Рис. 3.20. Механическая приточно-вытяжная механизация:

1 – воздухоприемник; 2 – воздуховоды; 3 – фильтр; 4 – калорифер; 5 – центробежный вентилятор; 6 – приточные отверстия; 7 – вытяжные отверстия; 8 – регулировочный клапан; 9 – устройства для выброса воздуха; 10 – воздуховод для циркуляции; 11 – помещение

Выброс загрязненного воздуха не следует допускать в непроветриваемые участки прилегающей территории.

Общеобменная механическая вентиляция применяется при равномерном расположении источников вредностей в помещении, а также при одно- или двустороннем их расположении.

Местная приточная вентиляция служит для создания требуемых условий воздушной среды в ограниченной зоне производственного помещения.

К установкам местной приточной вентиляции относятся воздушные души, оазисы и завесы.

Воздушное душевание применяется в горячих цехах на рабочих местах, характеризуемых воздействием лучистого тепла интенсивностью 300 ккал/м<sup>2</sup>·ч и более. Скорость обдува должна составлять от 1,0 до 3,5 м/с. Установки воздушного душевания бывают стационарные и передвижные.

Воздушные оазисы позволяют улучшить метеорологические условия на ограниченной площади помещения, которая для этого отделяется со всех сторон легкими передвижными перегородками и затапливается воздухом более холодным и чистым, чем воздух помещения.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы устраиваются для защиты людей от охлаждения проникающим через ворота холодным воздухом.

Местная вытяжная вентиляция служит для улавливания и удаления вредных веществ непосредственно у источника их образования и для предотвращения их распространения по всему помещению.

Устройства местной вытяжной вентиляции делают в виде укрытий или местных отсосов (вытяжные шкафы, кабины, камеры, боковые отсосы и т.п.). Внутри укрытия создается разрежение, благодаря которому вредные вещества не попадают в воздух помещения. Такой способ предотвращения попадания вредных выделений в помещение называется *аспирацией*.

Местные отсосы способны удалить до 75% всех выделений вредных веществ, значительно снижая их поступление в зону дыхания работающих.

Наиболее распространенными системами промышленной вентиляции являются *комбинированные*, при которых совместно с общеобменной вентиляцией используется и местная вентиляция. В этом случае за счет снижения воздухообмена достигается значительное снижение затрат (рис. 3.21).

Вентиляционные системы должны отвечать следующим основным требованиям:

1. Объем приточного воздуха в помещении должен соответствовать объему воздуха, удаляемого из помещения (допускается разница 10–15%). Эта разница определяется характером загрязнения помещения. Например, в чистых помещениях

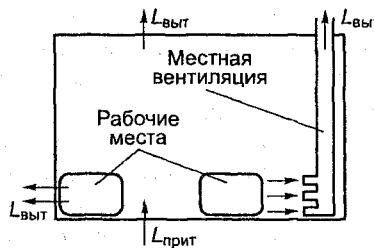


Рис. 3.21. Комбинированная вентиляция помещения:

$L_{\text{выт}}$  – объем воздуха, удаляемый общеобменной вытяжной вентиляцией,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $L_{\text{прит}}$  – объем приточного воздуха, нагнетаемый общеобменной вентиляцией,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $L_{\text{выт.м}}$  – удаляемый из помещения воздух за счет местной вытяжной вентиляции,  $\text{м}^3/\text{ч}$

важно устраниить неорганизованный приток воздуха через неплотности, что и достигается избыточным в них давлением ( $L_{\text{пр}} > L_{\text{выт}}$ ). В помещениях с наличием источников загрязнения воздуха и других вредностей важно обеспечить пониженное давление ( $L_{\text{пр}} < L_{\text{выт}}$ ).

2. Приток воздуха должен обеспечиваться в те части помещения или рабочие зоны, где объем выделения вредностей минимальный, а удаление — из зон с максимальным их выделением и из верхней зоны (рис. 3.22).

3. Вентиляционные системы не должны создавать дополнительные опасности (взрывы, пожары), быть надежными и экономичными в эксплуатации.

**Расчет воздухообмена в производственных помещениях.** При проектировании и расчете вентиляции учитываются климатическая зона, время года, наличие в воздушной среде вредностей (избыточного тепла и влаги, газов, пыли и т.д.).

Если в воздух помещения выделяется одновременно несколько вредных веществ одностороннего действия, то расчет общеобменной вентиляции производится путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности до ПДК.

При одновременном выделении нескольких вредных веществ разнодействующего действия расчет воздухообмена ведется для каждого из них и для дальнейших расчетов вентиляции применяют наибольшее значение воздухообмена.

Для помещения с нормальным микроклиматом и при отсутствии вредных веществ или содержании их в пределах норм (ПДК) воздухобмен ( $L_p$ ) определяется путем умножения количества работающих ( $n_p$ ) в помещении на нормируемую величину расхода воздуха на одного работающего ( $L'$ ):

$$L_p = n_p L' \text{, м}^3/\text{ч.}$$

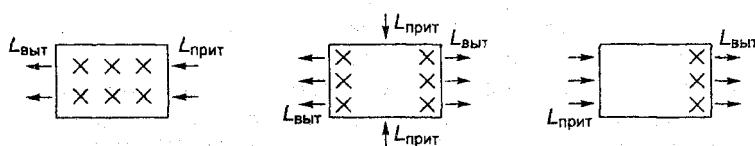


Рис. 3.22. Организация притока и удаления воздуха в рабочих помещениях при различных условиях размещения источников вредностей

Если на одного работающего приходится менее  $20 \text{ м}^3$  объема помещения, то  $L \geq 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; когда же на одного работающего приходится  $20 \text{ м}^3$  и более объема помещения, то  $L > 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Воздухообмен  $L_G$  для удаления из помещения вредностей в виде газов, паров, пыли и избыточной влаги рассчитывается по формуле

$$L_G = \frac{G}{C_{\text{ПДК}} - C_{\text{прит}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $G$  – количество вредного вещества, выделяющегося в помещении,  $\text{мг}/\text{ч}$ ;  $C_{\text{ПДК}}$  – допустимое содержание вредного вещества в воздухе помещения,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $C_{\text{прит}}$  – содержание вредного вещества в приточном воздухе,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

В некоторых производственных помещениях возможно выделение избыточного тепла. Воздухообмен в таких помещениях рассчитывается по формуле

$$L_Q = \frac{3,6 Q_{\text{изб}}}{C \rho_{\text{прит}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_{\text{изб}}$  – суммарное количество избыточного тепла, выделяемого в помещении источниками,  $\text{Вт}$ ;  $C$  – теплоемкость сухого воздуха (примерно равна  $1 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ );  $\rho_{\text{прит}}$  – плотность приточного воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t_{\text{вн}}$  – температура воздуха в помещении, соответствующая санитарным нормам,  $^{\circ}\text{С}$ ;  $t_{\text{нар}}$  – расчетная температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{С}$ .

Количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения с помощью местной вытяжной вентиляции (в виде укрытий, отсосов), определяется по формуле

$$L_{\text{мест}} = 3600 S v, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $S$  – площадь открытых проемов отверстий, через которые засасывается воздух,  $\text{м}^2$ ;  $v$  – необходимая скорость движения воздуха в этих проемах и отверстиях, величина которой зависит от типа вытяжного устройства и класса опасности вредных веществ,  $\text{м}/\text{с}$ . При ПДК вредных веществ  $\geq 100 \text{ мг}/\text{м}^3$  эта скорость принимается равной  $0,5\text{--}0,7 \text{ м}/\text{с}$ ; при  $\text{ПДК} < 100 \text{ мг}/\text{м}^3$   $v = 0,7\text{--}1,0 \text{ м}/\text{с}$ ; при чрезвычайно и высокоопасных веществах ( $\text{ПДК} < 1,0 \text{ м}/\text{с}$ )  $v = 1,0\text{--}1,7 \text{ м}/\text{с}$ .

**Расчет основных параметров вытяжных устройств для естественной вентиляции.** Суммарная площадь сечения вытяжных каналов ( $S_{\text{выт}}$ ) определяется исходя из необходимого воздухообмена ( $L$ ) для данного помещения и скорости воздушного потока ( $v$ ) в аэрационном канале или проеме по формуле

$$S_{\text{выт}} = \frac{L}{3600 v}, \text{ м}^2.$$

Скорость воздушного потока можно определить по формуле

$$V = 1,42 \psi_c \sqrt{\frac{H_t}{\rho_{\text{нап}}}}, \text{ м/с},$$

где  $\psi_c$  – коэффициент, учитывающий сопротивление воздуха в канале или проеме ( $\psi_c = 0,5$ );  $H_t$  – тепловой напор, возникающий за счет перепада давлений, Па;  $\rho_{\text{нап}}$  – плотность наружного воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Площадь сечения аэрационных отверстий ( $S_{\text{в.н}}$ ) при использовании ветрового напора для аэрации рассчитывается по формуле

$$S_{\text{в.н}} = \frac{L}{3600 t v_b}, \text{ м}^2,$$

где  $L$  – необходимый воздухообмен,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $t$  – коэффициент расхода, зависящий от условий истечения;  $v_b$  – скорость ветра, м/с.

Для усиления тяги через вентиляционные каналы на их верхней части устанавливают дефлекторы (рис. 3.23). Поток ветра, обтекая дефлектор, создает в канале некоторое разрежение, за счет которого скорость движения воздуха по каналу увеличивается.

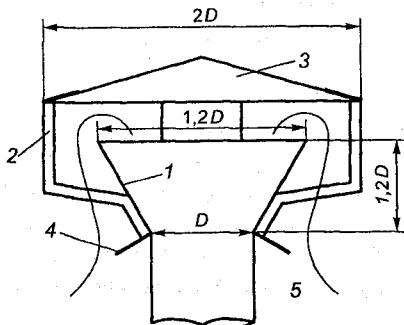


Рис. 3.23. Схема дефлектора:  
1 – диффузор; 2 – обечайка;  
3 – колпак; 4 – конус; 5 – патрубок вытяжного вентиляционного канала

При ориентированном наборе дефлекторов определяется диаметр патрубка ( $D_{\text{п}}$ ) и соответственно конструктивные размеры дефлектора можно определить по формуле

$$D_{\text{п}} = 0,0188 \sqrt{\frac{L_{\text{д}}}{v_{\text{д}}}}, \text{ м},$$

где  $L_{\text{д}}$  — производительность дефлектора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $v_{\text{д}}$  — скорость воздуха в патрубке дефлектора,  $\text{м}/\text{с}$ . В приближенных расчетах

$$v_{\text{д}} = (0,2 - 0,4)v_{\text{в}},$$

где  $v_{\text{в}}$  — скорость ветра.

### 3.4.5. Производственное освещение

Свет является естественным условием жизнедеятельности человека, играющим важную роль в сохранении здоровья и высокой работоспособности. Он оказывает положительное влияние на эмоциональное состояние человека, обмен веществ, центральную нервную и сердечно-сосудистую системы.

Зрительный анализатор человека является главным источником информации, получаемой им о внешнем мире. Являясь важнейшим показателем гигиены труда, производственное освещение предназначено для улучшения условий зрительной работы и снижения утомления; повышения безопасности труда и снижения профессиональных заболеваний; повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции.

Свет представляет собой часть электромагнитного спектра видимого излучения ( $\lambda = 0,38 - 0,77 \text{ мкм}$ ).

Чувствительность глаза на разных участках видимого спектра неодинакова. Она максимальна в зелено-голубой области спектра в сумерках и в ночное время ( $\lambda = 0,47 - 0,55 \text{ мкм}$ ), а в дневное время — к желтому цвету с  $\lambda = 0,55 - 0,59 \text{ мкм}$ .

**Виды и системы освещения.** В зависимости от источников света производственное освещение может быть естественным, искусственным и совмещенным.

**Естественное освещение** в помещении может формироваться прямыми солнечными лучами, рассеянным светом небосвода и отраженным светом от земли и других объектов.

*Искусственное освещение* создается лампами накаливания или газоразрядными лампами.

*Совмещенное освещение* представляет собой дополнение естественного освещения искусственным в темное и светлое время суток при недостаточном естественном освещении.

Естественный свет по своему спектральному составу значительно отличается от искусственного света. В спектре солнечного света гораздо больше необходимых для человека ультрафиолетовых лучей, для него характерна высокая диффузность (рассеянность) света, весьма благоприятная для зрительных условий работы. Естественное освещение обеспечивает зрительный контакт с внешней средой, устраняет монотонность световой обстановки в помещениях, вызывающую преждевременное утомление нервной системы при искусственном освещении.

Учитывая высокую биологическую и гигиеническую ценность и положительное психологическое воздействие естественного света, на практике стремятся к максимально возможному его использованию при проектировании производственного освещения. Поэтому помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение.

По конструктивным особенностям естественное освещение бывает: *боковым*, когда свет проникает в помещение через световые проемы в наружных стенах – окна; *верхним* – через верхние световые проемы – фонари; *комбинированным* – при сочетании бокового и верхнего освещения.

Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

*Рабочее освещение* устраивают во всех помещениях, а также на участках открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Искусственное рабочее освещение может быть общим и комбинированным, когда к общему добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах. Применение одного местного освещения внутри зданий не допускается.

Для местного освещения кроме газоразрядных ламп могут использоваться лампы накаливания, в том числе галогенные. Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

В зависимости от расположения оборудования и рабочих мест общее освещение может быть равномерным или локализованным.

*Аварийное освещение* предусматривается во всех случаях, где внезапное отключение основного освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, опасность травмирования, длительное нарушение технологического процесса или нарушение работы узлов связи, установок по водо- и газоснабжению, дежурных постов и пунктов управления различными системами.

*Эвакуационное освещение* предусматривается в проходах производственных зданий с числом работающих более 50 человек, где выход людей из помещения при внезапном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма.

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

Источниками искусственного освещения могут быть лампы накаливания и газоразрядные лампы.

Срок службы ламп накаливания составляет до 1000 ч, а световая отдача – от 7 до 20 лм/Вт. Наибольшими достоинствами обладают йодные лампы накаливания. У них срок службы достигает 3000 ч, а световая отдача до 30 лм/Вт.

Видимое излучение от ламп накаливания преобладает в желтой и красной частях спектра, что вызывает искажение цветопередачи, затрудняет различение оттенков цветов.

Газоразрядные лампы имеют световые характеристики, которые более полно отвечают гигиеническим требованиям. У них излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металлов и их солей и бомбардировки ионами люминесцентного покрытия внутренних поверхностей стеклянных трубок. Срок службы газоразрядных ламп достигает 14000 ч, а световая отдача – 100 лм/Вт.

Путем подбора инертных газов и паров металла, в атмосфере которых происходит разряд, можно получить световой поток газоразрядных ламп в любой части спектра.

К недостаткам газоразрядных ламп можно отнести неустойчивую работу некоторых из них при низких температурах, необходимость запускающих устройств (дросселей), пульсацию света, шум и др.

Наиболее распространенными газоразрядными лампами являются лампы низкого давления, люминесцентные, имеющие форму цилиндрической трубки. Они выпускаются различной цветности: лампы дневного света (ЛД); холодно-белого цвета (ЛХБ); белого цвета (ЛБ); тепло-белого (ЛТБ) и с улучшенной цветопередачей (ЛУЦ).

К газоразрядным лампам высокого давления относятся ртутные, ксеноновые, металлогалогенные, натриевые, дуговые и др.

*Ртутные лампы* в отличие от люминесцентных устойчиво загораются и хорошо работают как при высоких, так и при низких температурах окружающего воздуха. Они имеют большую мощность и применяются в основном для освещения высоких производственных помещений и улиц.

*Ксеноновые лампы*, состоящие из кварцевой трубки, наполненной газом ксеноном, используются для освещения спортивных сооружений, железнодорожных станций, строительных площадок. Они являются источниками ультрафиолетовых лучей, действие которых может быть опасным при освещении более 250 лк.

Наиболее перспективными являются галоидные лампы, разряд которых происходит в парах галоидных солей, а также натриевые лампы. Они характеризуются отличной цветопередачей и высокой экономичностью (светоотдача 110–130 лм/Вт).

При совмещенном освещении общее искусственное освещение помещений должно обеспечиваться газоразрядными лампами. Применение ламп накаливания допускается в случаях, когда по условиям технологии или требований оформления интерьера использование газоразрядных ламп невозможно или нецелесообразно.

**Нормирование и оценка производственного освещения.** Поскольку уровень естественного освещения может резко меняться в течение короткого времени, то нормируемой величиной (количественной характеристикой) естественного освещения принята не освещенность рабочего места, а коэффициент естественной освещенности (KEO).

Коэффициент естественной освещенности ( $e$ ) представляет собой отношение естественной освещенности в контрольной точке внутри помещения ( $E_{\text{вн}}$ ) к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности ( $E_{\text{нар}}$ ), создаваемой светом полного открытого небосвода.

КЕО показывает, какую часть наружной освещенности составляет освещенность в определенной точке внутри помещения:

$$\text{KEO}(e) = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100\%.$$

Искусственное освещение оценивается величиной освещенности ( $E$ , лк).

Совмещенное освещение оценивается коэффициентом естественной освещенности при отключении источников искусственного света.

Нормы производственного освещения устанавливаются в зависимости:

- ◆ от разряда зрительной работы, т.е. ее характеристики (наименьшего размера объекта различения, светлости фона, величины контраста объекта с фоном);

- ◆ от вида и системы освещения (для искусственного освещения).

Фон – это поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Светлость фона характеризуется коэффициентом отражения  $\rho$ , равным отношению светового потока  $F_{\text{отр}}$ , отраженного от поверхности, к световому потоку  $F_{\text{пад}}$ , падающему на поверхность:

$$\rho = F_{\text{отр}} / F_{\text{пад}}.$$

Фон считается светлым при  $\rho > 0,4$ , средним – при  $0,4 > \rho > 0,2$  и темным – при  $\rho < 0,2$ .

Контраст объекта различения с фоном оценивается коэффициентом контрастности ( $K$ ), который определяется различием между их яркостями или коэффициентами отражения:

$$K = \frac{(B_0 - B_\Phi)}{B_\Phi}; \quad K = \frac{(\rho_0 - \rho_\Phi)}{\rho_\Phi},$$

где  $B_0$  и  $B_\Phi$  – яркости соответственно объекта и фона;  $\rho_0$  и  $\rho_\Phi$  – коэффициенты отражения объекта и фона.

Контраст считается большим при  $K > 0,5$ , средним – при  $0,5 \geq K > 0,2$  и малым – при  $K < 0,2$ .

Зрительные работы делятся на 8 разрядов в зависимости от размера различаемой детали, которые в свою очередь разбиваются на четыре подразряда (а, б, в, г) в зависимости от контраста детали различения с фоном и от коэффициента отражения фона (табл. 3.19).

Для каждого подразряда нормами устанавливаются определенные значения освещенности и коэффициент естественной освещенности, которые уменьшаются по мере увеличения размера деталей, контраста с фоном и коэффициента отражения.

При гигиенической оценке естественного освещения оценивается (сравнивается с нормой —  $e_H$ ) минимальное значение  $e_{\min}$ , имеющее место:

- ◆ при одностороннем боковом освещении — на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов (рис. 3.24, а);
- ◆ при двустороннем боковом освещении — в точке посередине помещения (рис. 3.24, б);
- ◆ при верхнем или верхнем и боковом — среднее арифметическое значение КЕО в точках на расстоянии 1 м от поверхности стен или перегородок.

При определении нормативного значения КЕО ( $e'_H$ ) необходимо учитывать коэффициент светового климата  $m$  и коэффициент солнечного климата  $c$ , значения которых зависят от географического пояса:

$$e'_H = e'_H mc,$$

где  $e'_H$  — нормативное значение КЕО без учета  $m$  и  $c$ .

При искусственном освещении освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного освещения, должна составлять 10% от нормы для комбинированного освещения. Источники света, применяемые для общего освещения, должны применяться и для местного освещения. При этом наибольшее и наименьшее значения освещенности должны приниматься для газоразрядных ламп 500 и 150 лк, а для ламп накаливания — 100 и 50 лк.

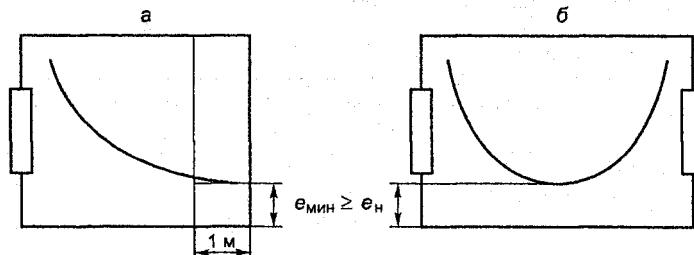


Рис. 3.24. Оценка одно- и двустороннего естественного освещения

Таблица 3.19

## Характеристика зрительной работы

Характеристика зрительной работы	Искусственное освещение						Совмещенное освещение	
	При системе комбинированного освещения			Сочетание нормируемых величин показателя освещенности и коэффициента пульсации			КЕО, $e_H$ , %	Линейное обесцвечивание
	всего	в том числе от общего	П	Р	$K_{\text{п}} \%$			
Характеристика фона								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Навыкней точности	Менее 0,15	1 а	Малый	Темный	5000	500	—	10
		б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10
		в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500 2000	300 200	750 600	10 10
		г	Средний Большой	Светлый Светлый Средний	1500 1250	200 200	400 300	10 10

Продолжение табл. 3.19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II а	Малый	Темный	4000	400	—	20	10	10	10	10	10	10
			б	Малый Средний	3500	400	—	10	10	10	10	10	10	10
			в	Малый Средний Большой	3000	300	750	20	10	10	10	10	10	10
		III а	Светлый Средний Темный	2500	300	600	10	10	10	10	10	10	10	10
			б	Светлый Средний Большой	2000	200	500	20	10	10	10	10	10	10
			в	Светлый Светлый Средний	1500	200	400	10	10	10	10	10	10	10
	Высокой точности	г	Средний Большой Большой	1000	200	300	20	10	10	10	10	10	10	10
			д	Светлый Светлый Светлый	750	200	200	10	10	10	10	10	10	10
		III б	Малый Средний	2000	200	500	40	15	15	15	15	15	15	15
			в	Средний Темный	1500	200	400	20	15	15	15	15	15	15
			г	Малый Средний Большой Большой	1000	200	300	40	15	15	15	15	15	15
			д	Средний Темный	750	200	200	20	15	15	15	15	15	15

Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	a	Малый	Темный	750	200	300	40	20		
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20		
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20		
Малой точности	От 1 до 5	V	г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	—	—	200	40	20		
			а	Малый	Темный	400	200	300	40	20		
			б	Малый Средний	Средний Темный	—	—	200	40	20		
Грубая (очень малой точности)	Бо- льше 5	VI	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	—	200	40	20		
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	—	—	200	40	20		
					Независимо от ха- рактеристик фона и контраста объекта с фоном	—	—	200	40	20	3	1

*Окончание табл. 3.19*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Работа со све- тышими ма- териалами изделиями в горячих цехах	VII													
Общее наблю- дение за ходом производствен- ного процесса: постоянное пе- риодическое при постоян- ном пребыва- нии людей в помещении	VIII а	Независимо от ха- рактеристики фона и контраста объекта с фоном				—	200	40	20	3	1	1,8	0,6	
Общее наблю- дение за инже- нерными ком- муникациями	б	То же				—	200	40	20	3	1	1,8	0,6	
	в	То же				—	75	—	—	—	1	0,3	0,7	0,2
	г	То же				—	—	50	—	—	—	0,7	0,2	0,5
														0,2

*Примечания.*

1. Для подразряда норм от Ia до IIV может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.

2. Наименьшие размеры объекта различия и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различия на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.

3. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:

- а) на одну ступень — при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;
- б) то же, общего освещения для разрядов I—VI;
- в) на две ступени — при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

4. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различия и относить к подразряду «в».

5. Показатель освещенности регламентируется в графе 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

6. Коэффициент пульсации  $K_p$  указан в графе 11 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения.  $K_p$  от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20%.

7. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I—III, IVa—IVb, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с органами Государственного санитарного надзора.

---

**Принципы расчета производственного освещения.** Расчет естественного освещения заключается в определении требуемой площади световых проемов.

При боковом естественном освещении требуемая площадь светового проема может быть определена из следующего выражения:

$$100 \frac{S_o}{S_p} = \frac{e_h K_3 \eta_o}{\tau_{ob} \rho_o} K_{zd},$$

при верхнем освещении

$$100 \frac{S_\Phi}{S_p} = \frac{e_h K_3 \eta_\Phi}{\tau_{ob} \rho_o K_\Phi},$$

где  $S_o$  — требуемая площадь световых проемов при боковом освещении, м<sup>2</sup>;  $S_\Phi$  — то же при верхнем освещении, м<sup>2</sup>;  $S_p$  — площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;  $e_h$  — нормированное значение КЕО, %;  $K_3$  — коэффициент запаса, учитывающий снижение КЕО и освещенность вследствие загрязнения и старения световых проемов (1,2—2,0);  $\eta_o$  — световая характеристика окна;  $\eta_\Phi$  — световая характеристика фонаря;  $K_{zd}$  — коэффициент, учитывающий затемнение окон стоящими напротив зданиями (1—1,7);  $K_\Phi$  — коэффициент, учитывающий тип фонаря;  $\tau_{ob}$  — общий коэффициент светопропускания;  $\rho_o$  — коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей.

Иногда для определения площади световых проемов используют световой коэффициент, равный:

$$K_{\text{св}} = \frac{S_{\text{св}}}{S_{\text{п}}} > \frac{1}{4} \dots \frac{1}{5},$$

где  $S_{\text{св}}$  – площадь световых проемов, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{п}}$  – площадь пола.

Расчет искусственного освещения осуществляется в такой последовательности: выбор системы освещения, выбор и размещение светильников в плане и по высоте помещения, определение нормируемого значения освещенности ( $E_{\text{н}}$ , лк), расчет светового потока ламп и выбор типовых ламп (газоразрядных ламп, ламп накаливания), которые обеспечат требуемую освещенность рабочих поверхностей ( $E_{\text{н}}$ ).

Выбор системы освещения и светильников обуславливается зрительными работами в помещении, а их размещение должно обеспечить направление световых потоков на рабочие места, ограничение ослепленности, удобство доступа к светильникам для их обслуживания и создание нормированной освещенности более экономичными средствами.

Для общего освещения ряды светильников следует располагать с учетом рабочих мест, по возможности согласуя направление естественного и искусственного света.

Светильники с лампами накаливания размещаются в вершинах квадратных, прямоугольных или треугольных полей, что дает наибольшую равномерность освещения.

Светильники с газоразрядными (люминесцентными) лампами рекомендуется располагать рядами сплошными или с небольшими разрывами, ориентируя ряды параллельно стенам с окнами или продольным осям помещения по длине вдоль рабочих столов или технологического оборудования.

В узких помещениях допустимо однорядное расположение светильников.

Положение светильников в разрезе и на плане помещения определяется расчетной высотой подвеса светильника  $h_p$  над рабочей поверхностью и расстоянием  $l$  между соседними точечными светильниками или рядами линейных светильников (с люминесцентными лампами).

Расчетная высота подвеса светильника  $h_p$  может быть определена исходя из геометрических размеров помещения (рис. 3.25):

$$h_p = H - (h_c + h_n), \text{ м},$$

где  $H$  – высота помещения, м;  $h_c$  – расстояние светильника от перекрытия («вес» светильника), м;  $h_n$  – высота рабочей поверхности над полом (обычно  $h_n = 0,8$  м).

Расстояние между светильниками ( $l$ ) можно определить из заданного для выбранного типа светильников оптимального соотношения  $h_p$  и  $l(\lambda)$ :

$$\lambda = l/h_p.$$

Для большинства светильников  $l = 1,3\text{--}1,4$ .

Таким образом,  $l = \lambda h_p$ .

Расчет светового потока, необходимого для обеспечения требуемой освещенности ( $E_H$ ), может осуществляться методом светового потока (по коэффициенту использования светового потока), точечным методом и методом Ватта.

*Метод коэффициента использования светового потока* предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Световой поток одной лампы ( $F_L$ ) по этому методу рассчитывается по формуле

$$F_L = \frac{E_H S_n K_3 Z}{\eta N}, \text{ лм},$$

где  $E_H$  – нормируемая освещенность, лк;  $S_n$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и износ источников света в процессе эксплуатации ( $K_3 = 1,4\text{--}1,8$ );  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения ( $Z = 1,1\text{--}1,2$ );  $N$  – количество светильников, определяемое из условия равномерного освещения;  $\eta$  – коэффициент использования излучаемыми светильниками светового потока на расчетной плоскости. Он зависит от типа светильника ( $T_c$ ), коэффициентов отражения пола  $\rho_n$ , стен  $\rho_{st}$ , потолка  $\rho_{pot}$ , индекса помещения:

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

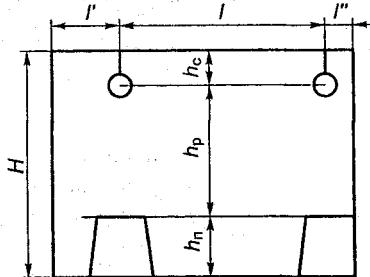


Рис. 3.25. К расчету высоты подвеса светильника над рабочей поверхностью:  
 $l' = (0,4 \dots 0,5)l$ ;  $l'' = (0,25 \dots 0,3)l$

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

По полученному результату расчета, т.е. требуемому световому потоку, выбирается ближайшая стандартная лампа.

При выбранном типе и мощности люминесцентных ламп определяется необходимое число светильников в ряду по формуле

$$N = (E_h S K_3 Z) / (n F_{cb} \eta),$$

где  $n$  – число рядов светильников, намечаемое до расчета в соответствии с оптимальным отношением:

$$\lambda = l/h_p.$$

*Точечный метод* позволяет рассчитать освещение не только горизонтальных поверхностей, но и негоризонтальных, а также общее локализованное освещение и местное.

Расчет светового потока лампы  $F_L$  при точечном расположении светильников и линейная плотность светового потока  $F_{Lp}$  при линейном расположении светильников производится по формулам:

а) для точечных светильников

$$F_L = \frac{1000 E_h K_3}{\mu \sum e}, \text{ лм};$$

б) для линейных светильников

$$F_{Lp} = \frac{1000 E_h K_3 h_p}{\mu \sum \epsilon}, \text{ лм/м},$$

где  $E_h$  – нормируемая освещенность на рабочей поверхности, создаваемая общим освещением, лк;  $K_3$  – коэффициент запаса ( $K_3 = 1,4-1,8$ );  $h_p$  – расчетная высота подвеса линейного светильника над рабочей поверхностью;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий влияние на освещенность в контрольной точке удаленных светильников и отражение света от стен и потолка ( $\mu = 1,05-1,2$ );  $\sum e$  и  $\sum \epsilon$  – условная и относительная суммарная освещенность в контрольной точке от близких светильников (условная – для точечных, относительная – для линейных).

Контрольная точка – это место на рабочей поверхности с минимальным уровнем освещенности, где должно быть обеспечено нормируемое значение освещенности  $E_h$  при системе

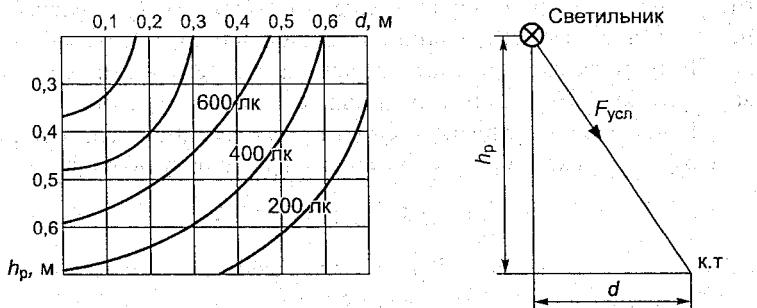


Рис. 3.26. Пространственные изолюксы

общего освещения или  $0,1 E_H$  – для системы комбинированного освещения.

Условная освещенность  $e$  в контрольной точке определяется по графикам пространственных изолюксов, построенных в координатах  $h_p$  и  $d$  (рис. 3.26) от каждого из близких светильников согласно их расположению относительно контрольной точки.

На рис. 3.27 показаны примеры расчета координаты  $d$  на плане при однорядном ( $a$ ) и многорядном ( $b$ ) расположении точечных светильников.

Относительная освещенность  $\varepsilon$  в контрольной точке определяется по графикам линейных изолюксов, построенных в относительных координатах  $L'$  и  $P'$ .

$$L' = L/h_p; P' = P/h_p,$$

где  $L$  – расстояние между светильниками;  $P = L/2$ .

Для точки  $A_1$  (рис. 3.28) относительные координаты можно определить по формулам:

$$P' = \frac{e}{2}/h_p; L'_1 = L_1/h_p; L'_2 = L_2/h_p.$$

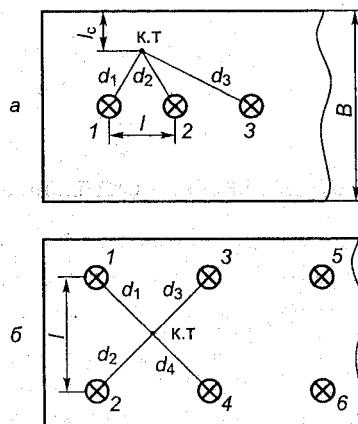


Рис. 3.27. Схема к расчету координаты  $d$

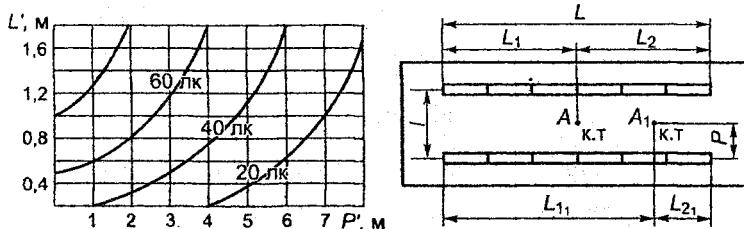


Рис. 3.28. Схема к определению относительной освещенности в контрольной точке:  $L$  — длина ряда светильников;  $P$  — расстояние от контрольной точки до проекции ряда на рабочую поверхность

Суммарная относительная освещенность в контрольной точке  $A_1$  будет равна:

$$\sum \varepsilon = \sum \varepsilon_1 + \sum \varepsilon_2 .$$

Для точки  $A$  относительные координаты определяются из выражений:

$$P = \frac{l}{2} / h_p ; \quad L = \frac{L}{2} / h_p .$$

Суммарная относительная освещенность  $\sum \varepsilon$  в этой точке будет равна сумме от четырех ближайших светильников:

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 .$$

Для ориентировочных расчетов производственного освещения иногда используют метод удельной мощности (метод Ватта).

Удельной мощностью называется отношение мощности всей системы освещения к площади освещаемого помещения.

$$P_{уд} = \frac{P_{общ}}{S_{\Pi}} ,$$

Мощность одной лампы  $P_l$  в этом случае рассчитывается по формуле

$$P_l = \frac{P_y S_{\Pi} K_3}{n} , \text{ Вт},$$

где  $P_y$  — удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;  $S_{\Pi}$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $n$  — число ламп.

Удельная мощность  $P_y$  зависит от нормируемой освещенности  $E_H$ , площади помещения  $S_n$ , высоты подвеса светильника  $h_c$ , типа светильника  $T_c$ , коэффициентов отражения потолка  $\rho_n$ , стен  $\rho_{ст}$  и коэффициента запаса  $K_3$ .

### 3.4.6. Защита от производственных вибраций

**Вибрация** — это колебательные процессы, при которых отдельные элементы механических и других систем периодически проходят через положение равновесия.

Основными физическими параметрами вибрации являются частота колебаний ( $f$ , Гц), амплитуда ( $A$ , м), выброскорость ( $v$ , м/с) и виброускорение ( $w$ , м/с<sup>2</sup>), находящиеся в следующей зависимости:

$$v = 2\pi f A, \text{ м/с};$$

$$w = (2\pi f)^2 A, \text{ м/с}^2.$$

Причиной вибрации являются неуравновешенные силы воздействия. Вибрация может реализовываться в шести направлениях в соответствии с шестью степенями свободы (рис. 3.29).

Основными источниками вибраций являются электрические приводы, рабочие органы машин ударного действия, вращающиеся массы, подшипниковые узлы, зубчатые зацепления и т.д. Вибрация генерируется различным технологическим оборудованием: металло- и деревообрабатывающими станками, транспортными средствами, ручным электрифицированным инструментом и различными машинами. Кроме того, вибрация во многих случаях используется для интенсификации некоторых технологических процессов.

По источнику возникновения вибрации подразделяются на *транспортные*, возникающие в результате движения машин; *транспортно-технологические*, когда одновременно с движением машины выполняет технологический процесс; *технологические*, возникающие при работе стационарного оборудования и машин.

Ощущение вибрации воспринимается человеком посредством воздействия колебательных движений на кожный покров, нервно-мышечную и костную ткань.

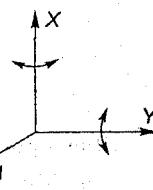


Рис. 3.29. Направления вибрации

По способу передачи на человека вибрации подразделяются на *общие*, передающиеся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и *локальные*, передающиеся через руки человека.

Общие вибрации, воздействуя на нервную и сердечно-сосудистую системы, вызывают головные боли, тошноту, появление внутренних болей, ощущение тряски внутренних органов, расстройство аппетита, нарушение сна и др.

Местные (локальные) вибрации приводят к спазмам сосудов, которые развиваются с концевых фаланг пальцев и через кисть и предплечье охватывают сосуды сердца, ухудшают периферическое кровообращение (из-за спазмов сосудов конечностей), приводят к снижению болевой чувствительности, ограничению подвижности суставов (из-за окостенения сухожилий мышц и отложения солей в суставах), атрофии мышц, нарушению обмена веществ, возникновению новообразований (костных мозолей) и др.

Наибольшую опасность представляет общая вибрация, так как на частотах 6–9 Гц возможны разрывы внутренних органов из-за резонанса.

Весь комплекс возможных нарушений здоровья человека, вызванных действием вибрации, называется *вироболезнью*, лечение которой эффективно на ранних стадиях.

**Нормирование и гигиеническая оценка вибраций.** Количественными характеристиками вибраций, определяющими ее воздействие на человека, являются среднеквадратичные значения виброскорости ( $v$ , м/с), виброускорение ( $w$ , м/с<sup>2</sup>) и логарифмические уровни виброскорости ( $L_v$ , дБ) в октавных полосах частот со следующими среднегеометрическими частотами: 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500 и 1000 Гц. Логарифмические уровни виброскорости (октавные уровни виброскорости) определяются по формуле

$$L_v = 10 \lg \frac{v^2}{v_0^2} = 20 \lg \frac{v}{v_0}, \text{ дБ},$$

где  $v$  – среднеквадратичное значение виброскорости, м/с;  $v_0$  – опорная виброскорость ( $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ , м/с).

Нормированные значения виброскорости, виброускорения и октавных уровней виброскорости регламентируются нормами отдельно для каждого установленного направления (табл. 3.20, 3.21).

Таблица 3.20

Предельно допустимые значения общей вибрации рабочих мест

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям $X_0$ , $Y_0$ , $Z_0$			
	виброскорость		виброускорение	
	$\text{м}/\text{с} \cdot 10^{-2}$	дБ	$\text{м}/\text{с}^2$	дБ
1/1 окт				
2,0	1,3	108	0,14	53
4,0	0,45	99	0,10	50
8,0	0,22	93	0,10	50
16,0	0,20	92	0,20	56
31,5	0,20	92	0,40	62
63	0,20	92	0,80	68
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	0,2	92	0,1	50

**Методы и средства обеспечения вибробезопасных условий труда.** Основным направлением по защите персонала от вибраций является автоматизация и механизация производственных процессов. Однако в тех случаях, когда автоматизация и механизация невозможны, используются следующие методы и средства борьбы с вибрациями.

**Снижение возможности виброгенерации в источнике.** При выборе кинематических и технических схем предпочтение должно отдаваться таким схемам, где динамические воздействия и вызванные ими ускорения оказываются сниженными. С этой целью, например, заменяют: штамповку прессованием; клепку сваркой; ударную правку вальцовкой; кривошипно-шатунный механизм равномерно вращающимся; подшипники качения подшипниками скольжения; зубчатые (прямозубые) передачи специальными (например, косозубыми). Важным в данном случае является балансировка вращающихся масс, выбор

Таблица 3.23

Предельно допустимые значения локальной производственной вибрации

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям $X_d$ , $Y_d$ , $Z_d$			
	виброускорение		виброскорость	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	76	2,0	112

рабочих режимов, числа оборотов, качество обработки поверхностей, наличие люфтов, зазоров, смазки и т.д.

Снизить вибрацию на путях ее распространения можно вибропоглощением, исключением резонансных режимов, виброгашением, вибродемпфированием и т.д.

**Вибропоглощение** (вибродемпфирование) реализуется путем использования материалов с большим внутренним сопротивлением (сплавы цветных металлов, полимерные и резиноподобные материалы), а также применением вибропоглощающих листовых и мастичных покрытий (с большим внутренним трением) вибрирующих поверхностей. Листовые покрытия выполняются из резинообразных материалов (вини-пор). Мастичные покрытия являются более прогрессивными.

**Исключение резонансных режимов** производится путем изменения массы  $m$  или жесткости системы  $q$ :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{m}}, \text{ Гц},$$

где  $f_0$  — собственная частота системы.

**Виброгашение** реализуется путем установки машин и агрегатов на индивидуальные основания (фундаменты), увеличением жесткости системы (например, за счет ребер жесткости), установки на систему динамических виброгасителей (для дискретного спектра).

**Вибропоглощение** достигается введением в колебательные системы упругой связи, препятствующей передаче вибраций от машин к основанию, смежным элементам конструкции или к человеку. С этой целью используются различные вибропоглощители — пружинные, резиновые, комбинированные, а также гибкие вставки в коммуникации воздуховодов, разделение перекрытий и несущих конструкций гибкой связью и др.

Эффективность вибропоглощения оценивается коэффициентом эффективности ( $K_{\text{эф}}$ ), который представляет собой отношение виброскорости ( $v$ , м/с), или уровня виброскорости ( $L_v$ , дБ), к значению этих величин после введения  $v_3$  и  $L_{v_3}$ :

$$K_{\text{эф}} = v/v_3; K_{\text{эф}} = L_v/L_{v_3}.$$

В системах, генерирующих наиболее простые гармонические колебания, виброзащита считается достаточной, когда отношение частоты возбуждения  $\omega$  к частоте собственных колебаний системы  $\omega_0$  более 1,41 ( $\omega/\omega_0 > 1,41$ ). В этом случае  $K_{\text{эф}} > 1$ . При частоте возбуждения  $\omega = 1,41\omega_0$  колебания передаются без изменения ( $K_{\text{эф}} = 1$ ), а при  $\omega/\omega_0 < 1,41$  система усиливает колебания ( $K_{\text{эф}} < 1$ ).

Для защиты от вибрации при работе с ручным механизированным электрическим и пневматическим инструментом применяются разнообразные индивидуальные средства защиты: виброзащитные рукоятки, виброзащитные рукавицы или перчатки и др. Для защиты работающих от вибрации, передаваемой через ноги, используется специальная виброзащитная обувь.

Организационно-профилактические мероприятия включают требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, инструктаж), ограничение времени работы с виброисточником (виброприбором), проведение работ в помещении с температурой более 16 °C, теплые водные процедуры для рук, специальная производственная гимнастика, витаминопрофилактика (ежедневный прием витаминов В и С), перерывы в работе (через каждый час по 10–15 мин) и др.

Таблица 3.22

## Показатели превышения вибрационной нагрузки на оператора

Показатель превышения вибрационной нагрузки на оператора $\Delta$ , дБ	$T_H$ , мин	Показатель превышения вибрационной нагрузки на оператора $\Delta$ , дБ	$T_H$ , мин
1	381	7	95
2	308	8	76
3	240	9	60
4	191	10	48
5	151	11	38
6	120	12	30

Важной мерой профилактики виброболезней работающих является ограничение времени воздействия вибрации, которое осуществляется путем установления внутрисменного режима труда. Режим труда устанавливается при превышении вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза).

При превышении вибрационной нагрузки более 12 дБ запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию.

Контроль вибрационной нагрузки на оператора при воздействии локальной вибрации должен проводиться не реже двух раз в год, общей – не реже чем раз в год.

В табл. 3.22 приведено допустимое суммарное время непрерывного воздействия локальной вибрации на работающих за смену.

### 3.4.7. Защита от шума

**Основные источники шумового загрязнения среды обитания.** Воздействие шума на организм человека. Среди проблем оздоровления окружающей среды борьба с шумами – одна из важнейших. В крупных городах шум является одним из основных физических факторов, формирующих условия среды обитания.

Рост промышленного и жилищного строительства, бурное развитие различных видов транспорта, все большее применение в жилых и общественных зданиях сантехнического и инже-

нерного оборудования, бытовой техники привели к тому, что уровни шума в селитебных зонах города стали сравнимы с уровнями шумов на производстве.

Шумовой режим крупных городов формируется главным образом автомобильным и рельсовым транспортом, производящим 60–70% всех шумов. Заметное влияние на уровень шума оказывает увеличение интенсивности воздушных перевозок, появление новых мощных самолетов и вертолетов, а также железнодорожный транспорт, открытые линии метро и метро мелкого заложения.

Вместе с тем в некоторых крупных городах, где принимаются меры по улучшению шумовой обстановки, наблюдается снижение уровней шума. Так, в Минске в последние десятилетия уровень шума снижается примерно на 4 дБ в 5 лет. Это обусловлено обновлением транспортного парка при постоянном росте потоков грузовых и легковых перевозок, расширением сети метро и, в некоторой степени, сокращением объемов работы многих предприятий.

Основными источниками производственных шумов, формирующих шумовой режим в рабочей зоне и оказывающих определенное влияние на уровни шума прилегающих жилых районов, являются металло- и деревообрабатывающее оборудование, энергетические и вентиляционные установки, внутризаводской транспорт и др.

Предполагается, что тенденция роста шума в ближайшие десятилетия сохранится, что обуславливается ростом автомобильного и других видов транспорта, развитием промышленности, механизацией сельского хозяйства и т.п.

Шум определяется как совокупность различных по силе и частоте звуков, возникающих в результате колебательного движения частиц в упругих средах (твердых, жидких, газообразных).

Звуковые ощущения возникают в органах слуха при воздействии на них звуковых волн в диапазоне от 16 до 22 тыс. Гц.

С биологической точки зрения шумом может считаться любой нежелательный звук, мешающий восприятию полезных звуков в виде сигналов и речи.

По происхождению шум может быть механическим, аэрогидродинамическим и электромагнитным.

Механический шум возникает в результате ударов в сочленяющихся частях машин, их вибрации, что имеет место при меха-

нической обработке деталей, в зубчатых передачах, в подшипниках качения и т.п. Мощность звукового излучения поверхности, совершающей колебания, зависит от интенсивности колебаний вибрирующих поверхностей, их размеров, формы, способов крепления и др.

*Аэрогидродинамический шум* появляется в результате пульсации давления в газах при их движении в трубопроводах и каналах (турбомашины, насосные агрегаты, вентиляционные системы, компрессоры и т.п.).

*Электромагнитный шум* является результатом растяжения и изгиба ферромагнитных материалов при воздействии на них переменных электромагнитных полей (электрических машин, трансформаторов, дросселей и т.п.).

Воздействие шума на человека проявляется от субъективного раздражения до объективных патологических нарушений функции органов слуха, центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, внутренних органов.

Характер шумового воздействия обусловлен его физическими характеристиками (уровнем, спектральным составом и т.п.), длительностью воздействия и психо-физиологическим состоянием человека.

Под воздействием шума снижается внимание, работоспособность. Шум нарушает сон и отдых людей.

Все разнообразие невротических и кардиологических расстройств, нарушения функций желудочно-кишечного тракта, слуха, которые возникают под влиянием шума, объединяется в симптомокомплекс «шумовой болезни».

**Нормирование и гигиеническая оценка шумов.** Слуховой анализатор человека способен воспринимать звуковые колебания в определенном диапазоне как частот, так и интенсивностей, ограниченном верхним и нижним порогами, зависящими от звуковой частоты.

Порог слышимости имеет минимальное значение при частоте 1000 Гц. По интенсивности или силе звука ( $I_0$ ) он равен  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>, а по звуковому давлению ( $P_0$ ) –  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Порог болевого ощущения на частоте 1000 Гц по интенсивности ( $I_{\max}$ ) равен  $10$  Вт/м<sup>2</sup>, а по звуковому давлению ( $P_{\max}$ ) –  $2 \cdot 10^2$  Па.

Для гигиенической оценки шума как количественные характеристики используются не абсолютные значения интенсивности или звукового давления, а логарифмические уровни этих

величин, определяемые отношением их к условному нулевому уровню, соответствующему порогу слышимости на частоте 1000 Гц ( $I_0$  и  $P_0$ ).

Логарифмические уровни интенсивности или силы звука ( $L_I$ ) и звукового давления ( $L_P$ ) измеряются в децибелах и определяются соответственно по формулам:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ};$$

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБ},$$

где  $I$  и  $I_0$  – фактическая и пороговая интенсивность звука соответственно,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  ( $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт}/\text{м}^2$ );  $P$  и  $P_0$  – соответственно фактическое и пороговое звуковое давление, Па ( $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па).

Интенсивность или сила звука ( $I$ ) связана с квадратичным звуковым давлением ( $P$ ) следующим соотношением:

$$I = \frac{P^2}{\rho c}, \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – скорость прохождения звуковой волны,  $\text{м}/\text{с}$ .

В связи с тем что вредность шума зависит не только от его интенсивности, но и от частоты звуковых колебаний (высокочастотные шумы более вредны), при гигиенической оценке шума определяется не только общий уровень звукового давления, но и относительное распределение звуковой энергии по всей области звуковых частот.

Для этого спектр шума разбивается на отдельные частотные полосы, в каждой из которых определяется уровень звукового давления.

За ширину полосы принята октава, т.е. интервал частот, в котором высшая частота ( $f_B$ ) в два раза больше низшей частоты ( $f_H$ ).

Октавный уровень звукового давления определяется на среднегеометрической частоте, которая вычисляется по формуле

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}}, \text{ Гц}$$

Весь звуковой диапазон разбит на восемь октав со следующими среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Октаавные уровни звукового давления оцениваются в дБ, а общий уровень – в дБА, измеряемый по шкале А шумометра. В этом случае к фактическому уровню автоматически вносится поправка (коррекция) в соответствии с частотной характеристикой чувствительности слухового анализатора.

По характеру спектра шумы подразделяются на *широкополосные*, с непрерывным спектром шириной более одной октавы и *тональные*, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона, превышающие уровни в одной полосе, по сравнению с соседними, не менее чем на 10 дБ.

По временными характеристикам шумы делятся на *постоянные*, уровень звука которых в течение рабочего дня изменяется не более чем на 5 дБА, и *непостоянные* – более чем на 5 дБА.

Непостоянные шумы бывают: *колеблющиеся*, 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, а уровень звука на 5 дБА и более; *импульсные*, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука отличаются не менее чем на 7 дБА.

Допустимые уровни постоянных и непостоянных шумов регламентируются для производственных условий труда в зависимости от назначения производственного помещения или характера выполняемых работ и от характеристик шума, а для населенных мест – в зависимости от времени суток (ночное, дневное), места (внутри жилых комнат, в зоне отдыха) и вида жилого помещения.

Основным нормируемым параметром (характеристикой) постоянного шума на рабочем месте являются октаавные уровни звуковых давлений (в дБ). Правилами допускается использова-

ние уровня звука в дБА при ориентировочной оценке акустических условий.

Количественной характеристикой непостоянных шумов является интегральный критерий — эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА, определяемый по формуле

$$L_{A\text{экв}} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt,$$

где  $P_A(t)$  — текущее значение среднего квадратического звукового давления с учетом коррекции А шумометра, Па;  $P_0$  — исходное значение звукового давления (в воздухе  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па);  $T$  — время действия шума, ч.

Допускается в качестве характеристики постоянного шума использовать дозу шума или относительную дозу шума.

Дополнительно для колеблющегося и прерывистого шума ограничивают максимальные уровни звука в дБА, измеренные на временной характеристике «медленно» ( $\leq 110$  дБА), а для импульсного шума — максимальный уровень звука в дБА, измеренный на временной характеристике «импульс» ( $\leq 125$  дБА).

Допустимые уровни для некоторых производств и жилой зоны представлены в табл. 3.23—3.25.

Гигиеническая оценка шума на рабочих местах или в жилой зоне осуществляется на основании измерения или акустического расчета (при прогнозировании шумовой обстановки) количественных характеристик шума в контрольных точках и сравнения их уровней с допустимыми.

Расчет уровней шума (октавных уровней звукового давления) на рабочих местах при наличии одного источника осуществляется по следующим формулам:

а) в зоне прямого и отраженного звука

$$L = L_w + 10 \lg \left( \frac{K\Phi}{S} + \frac{4\Psi}{B} \right);$$

б) в зоне прямого звука

$$L = L_w + 10 \lg \frac{K \cdot \Phi}{S};$$

Таблица 3.23

*Допустимые уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука на рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий*

№ п/п	Виды трудовой деятельности, рабочее место	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	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Творческая деятельность; руководящая работа с повышенными требованиями; научная деятельность; конструирование и проектирование; преподавание и обучение; врачебная деятельность; рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	38	50
2	Высококвалифицированная, работа, требующая сосредоточенности; административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории	93	79	70	63	58	55	52	50	49	49	60

3	Работа, выполняемая с частот получающимися сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа; работа места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещени-ях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблю-дения и дистанционного управления производ-ственными циклами; рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управле-ния без речевой связи по телефону; в помещени-ях лабораторий с шумным оборудованием, в помеше-ниях для размещения шумных агрегатов вычисли-тельных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	Выполнение всех видов работ (за исключением пе-ренесенных в пп. 1-4 и аналогичных им) на по-стоянных рабочих местах в производственных по-мещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

в) в зоне отраженного звука

$$L = L_w - 10 \lg \frac{\Psi}{B} + 6;$$

где  $L_w$  — октавный уровень звуковой мощности, дБ ( $L_w = 10 \lg \frac{w}{w_0}$ , дБ, где  $w$  — звуковая мощность источника, Вт;  $w_0$  — опорная звуковая мощность, равная  $10^{-12}$  Вт);  $K$  — коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля (определяется по графику), зависит от расстояния между акустическим центром и контрольной точкой (местом измерения);  $S$  — площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник, м<sup>2</sup>;  $B$  — постоянная помещения, м<sup>2</sup>, определяется в зависимости от объема помещения ( $V$ ), коэффициента отражения ограждающих поверхностей ( $\alpha$ ), ( $B = \alpha A$ ), где  $A$  — эквивалентная площадь звукопоглощения, м<sup>2</sup>,  $A = \alpha \cdot S$  или  $A = V/T$ , где  $S$  — площадь ограждающих поверхностей,  $\alpha$  — коэффициент звукопоглощения этих поверхностей,  $T$  — время реверберации данного помещения,  $\psi$  — коэффициент, учитывающий нарушение диффузности поля;  $\Phi$  — фактор направленности источника шума.

$$\Phi = P_i^2 / P_{cp}^2,$$

где  $P_i$  — звуковое давление, измеренное на определенном расстоянии от источника в заданном направлении, Па;  $P_{cp}$  — звуковое давление, усредненное по всем направлениям на том же расстоянии,  $P_{cp}^2 = \frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{n}$ , где  $n$  — количество измерений.

При наличии в помещении нескольких ( $n$ ) источников шума с различными шумовыми характеристиками ( $L_w, \Phi, \Pi\text{Н}$  — показатель направленности, определяемый как  $\Pi\text{Н} = 10 \lg \Phi$ ) общий октавный уровень звукового давления ( $L_\Sigma$ ) определяется по формуле

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( 10^{0,1 L_1} + 10^{0,1 L_2} + \dots + 10^{0,1 L_n} \right) - 10 \lg n .$$

Если в помещении имеется  $n$  источников шума с одинаковыми шумовыми характеристиками, то суммарный октавный уровень звукового давления можно определить из выражения

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \lg n .$$

Таблица 3.24

Допустимые уровни звука

Назначение района застройки, территории	Допустимые уровни звука $L$ , дБА $A_{экв.доп}$	
	с 7 до 23 ч	с 23 до 7 ч
Курортные и лечебно-оздоровительные районы (зоны)	40	30
Территории больниц и санаториев (вне курортных районов)	45	35
Территории и зоны массового отдыха (вне курортных районов)	50	—
Новый проектируемый жилой район города (населенного пункта)	55	45
Реконструируемый жилой район, жилой район города (населенный пункт), со сложившейся застройкой	60	50
Промышленные районы или зоны, включающие жилую застройку	65	55

Таблица 3.25

Допустимые уровни звука

Назначение района застройки, территории	Допустимые уровни звука $L$ , дБА $A_{экв.доп}$	
	с 7 до 23 ч	с 23 до 7 ч
1	2	3
Учебно-оздоровительные учреждения		
Палаты больниц, санаториев, операционные больницы	35	25
Кабинеты врачей больниц, санаториев, поликлиник, провизорские аптеки	35	35
Территории больниц и санаториев	45	35
Жилые помещения домов отдыха и пансионатов	40	30

Окончание табл. 3.25

1	2	3
<b>Жилые здания</b>		
Жилые комнаты квартир	40	30
Жилые комнаты в общежитиях и гостиницах	45	35
Территории жилой застройки в 2 м от здания	55	45
<b>Места отдыха</b>		
Площади отдыха в микрорайоне, сады, парки (зоны тихого отдыха)	45	—
<b>Детские дошкольные и школьные учреждения</b>		
Спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	40	30
Классы школах	40	—
Игровые площадки детских дошкольных учреждений	45	—
Пришкольные участки	50	—
<b>Зрелищные учреждения</b>		
Зрительные залы концертных залов и театров	35	—
Зрительные залы кинотеатров	40	—
Фойе театров и кинотеатров	55	—
Летние кинотеатры	45	—
<b>Спортивные сооружения в микрорайонах и парках</b>		
Спортивные площадки	55	—
Спортивные залы	50	—
Стадионы	60	—
<b>Учебные заведения, проектные и научно-исследовательские учреждения, административные здания</b>		
Конференц-залы, аудитории	40	—
Помещения управлений и конструкторских бюро в административных зданиях	50	—
<b>Учреждения торговли и общественного питания</b>		
Залы кафе, рестораны, столовые	55	—
Торговые залы магазинов, летние кафе	60	—
<b>Учреждения обслуживающего назначения</b>		
Приемные пункты предприятий бытового обслуживания, парикмахерские	60	—

### **Примечания:**

1. В зависимости от условий и места расположения объекта в нормативные показатели таблицы следует вносить поправки: курортный район — 5 дБА; новый проектируемый городской или жилой район — ±0,5 дБА; жилая застройка, расположенная в существующей (сложившейся) застройке, — +5 дБА.
2. Эквивалентные уровни для шума, создаваемого средствами транспорта (автомобильного, железнодорожного, воздушного) в 2 м от ограждающих конструкций зданий, обращенных в сторону источников шума, допускается принимать на 10 дБА выше уровней звука, указанных в таблице (для жилых зданий).

**Принципы, методы и средства борьбы с шумами.** Для защиты от шума применяются следующие методы: снижение шума в источнике, ослабление его на пути распространения и применение административных (организационных) мер.

Устранение или ослабление шума в источнике достигается применением ряда конструктивных и технологических методов, в том числе: заменой механизмов ударного действия безударными, возвратно-поступательных движений вращательными, подшипников качения подшипниками скольжения, металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов; соблюдением минимальных допусков в сочленениях; балансировкой движущихся деталей и вращающихся масс; смазкой; заменой зубчатых передач клиноременными и гидравлическими и т.п.

Так, замена прямозубых шестерен шевронными дает снижение шума на 4–5 дБ, зубчатых и цепных передач клиноременными и зубчато-ременными — на 8–10 дБ, подшипников качения на подшипники скольжения — на 12–14 дБ. Применение текстолистовых или капроновых шестерен в паре со стальными позволяет снизить шум на 9–11 дБ.

Ослабление шума на пути распространения достигается звукоизоляцией, звукопоглощением и применением архитектурно-планировочных и строительно-акустических методов.

На производстве звукоизоляция реализуется устройством различных преград на пути распространения звуковых волн: кожухов, акустических экранов, кабин, выгородок, звукоизолирующих перегородок между помещениями и др. В жилой зоне с этой целью используют естественные или искусственные экраны.

Звукоизолирующая способность (ЗИ) преграды зависит от поверхностной плотности перегородки ( $G$ , кг/м<sup>2</sup>), частоты звука ( $f$ , Гц) и определяется по формуле

$$ЗИ = 20 \lg(Gf) - 47,5 \text{ дБ.}$$

Звукопоглощение используется для снижения отражения звуковой энергии от поверхностей преграды, а также увеличения звукопоглащающего эффекта внутри производственных и других помещений и улучшения их акустических характеристик (сокращения времени реверберации).

Для звукопоглощения используются пористо-волоконные материалы, звукопоглащающие свойства которых зависят от структуры материала, толщины слоя, частоты звука и наличия воздушного промежутка между слоем материала и отражающей стенкой.

В пористых материалах энергия звуковых волн частично переходит в тепловую за счет трения воздуха в порах и рассеивается. В качестве звукопоглащающих материалов и устройств применяют ультратонкое стекловолокно, капроновое волокно, минеральную вату, пористый поливинилхлорид, древесно-волокнистые и минераловатные плиты на различных связках с окрашенной и перфорированной поверхностью.

Улучшения характеристик производственных и иных помещений добиваются увеличением их эквивалентной площади звукопоглощения путем размещения на их внутренних поверхностях звукопоглащающих облицовок (рис. 3.30, а), а также использованием штучных звукопоглотителей и кулис, представляющих собой объемные емкости различной формы, заполненные звукопоглащающим материалом, и подвешиваемых к потолку равномерно по помещению или над источниками шума (рис. 3.30, б).

Наибольший эффект при акустической обработке помещений достигается в точках, расположенных в зоне отраженного звука, при этом акустически обработанная поверхность должна составлять не менее 60% от общей площади ограничивающих поверхностей.

В узких и высоких помещениях целесообразно облицовку размещать на стенах, оставляя нижние части стен (до 2 м высотой) необлицованными, либо проектировать конструкцию звукопоглащающего подвесного потолка.

Если площадь поверхностей, на которых возможно размещение звукопоглащающей облицовки, мала, рекомендуется применять дополнительно штучные поглотители, подвешивая их как можно ближе к источнику шума, либо предусматривать устройство щитов в виде звукопоглащающих кулис.

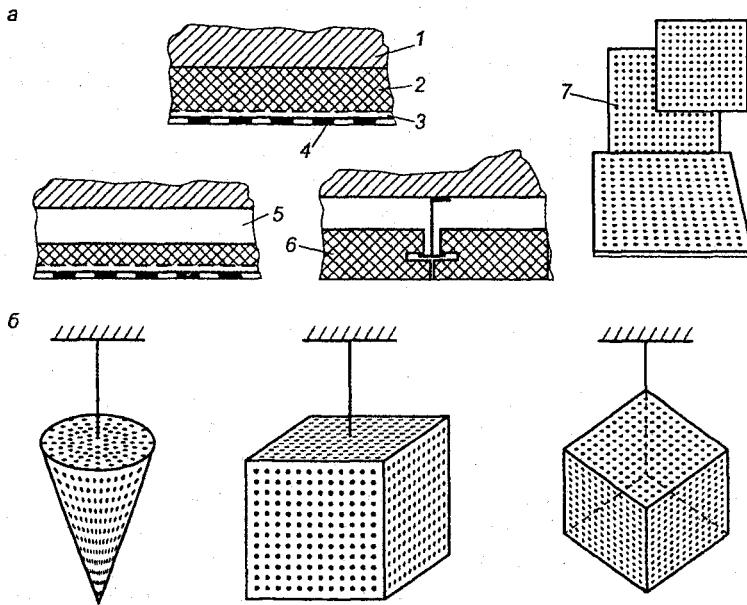


Рис. 3.30. Акустическая обработка помещений:

*а* – звукопоглощающие облицовки (*1* – стена или потолок; *2* – звукопоглощающий материал; *3* – защитная стеклоткань; *4* – защитный перфорированный слой; *5* – воздушный промежуток; *6* – плита из звукопоглощающего материала; *7* – защитная стеклоткань в разрезе); *б* – штучные звукопоглотители различной геометрической формы, заполненные звукопоглощающим материалом (стекловата, капроновое волокно и другие пористо-волокнистые материалы)

Эффективность акустической обработки помещения (в зоне отраженного звука) определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{обл}} = 10 \lg \frac{B_2}{B_1}, \text{ дБ},$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – постоянные помещения до и после облицовки.

$$B_1 = A_1 (1 - \alpha_1),$$

где  $A_1$  – эквивалентная площадь звукопоглощения до проведения акустической обработки помещения.

*Архитектурно-планировочные меры*, применяемые для улучшения шумового режима в жилых районах, включают ряд градостроительных приемов, таких как вынос из селитебных зон шумных промышленных объектов; использование территориальных разрывов между источниками шума и жилой застройкой; районирование и зонирование жилых территорий и объектов с учетом интенсивности источников шума; использование рельефа местности, специальных искусственных экранов-выемок, насыпей, экранов-стенок, экранов-зданий жилого и нежилого типа, озеленения и др.

*Строительно-акустические методы* основаны на применении различных конструкций и строительных средств: планировки помещений; использования звукопоглощающих конструкций (стен, перекрытий, окон и т.п.); снижения шума санитарно-технического оборудования и др.

*Административные меры* заключаются в регламентировании работ промышленных объектов, отдельных агрегатов, машин и оборудования, особой организации движения транспорта и т.п.

В качестве средств для временной защиты людей от шума и в случаях, когда другие методы борьбы с шумами недостаточны, применяются индивидуальные средства. Они бывают внутреннего и наружного типа. К внутренним относятся вкладыши, закладываемые в слуховой канал уха, а к наружным – наушники, шлемы, каски, которые с помощью оголовьядерживаются на голове.

Вкладыши бывают многократного (определенной формы и размеров) и однократного использования. Вкладыши многократного использования изготавливаются из эластичных материалов (литая или пористая резина, пластмассы, эbonит и др.), а однократного – из рыхлых и легко деформируемых материалов (хлопковая вата, ультрасупертонкое волокно и др.).

Вкладыши многократного использования эффективнее по сравнению с вкладышами однократного пользования, однако последние более удобны в эксплуатации – облегчают их подбор, не вызывают болевых ощущений и раздражений кожи наружного слухового прохода.

Противошумные наушники, шлемы и каски более эффективны, чем вкладыши. Они плотно прилегают к голове вокруг слуховых каналов (что достигается наличием эластичных уплотнительных валиков по краям чашек наушников), оказывают минимальное раздражающее действие. Однако применять их рекомендуется при высоких уровнях шума (более 120 дБ),

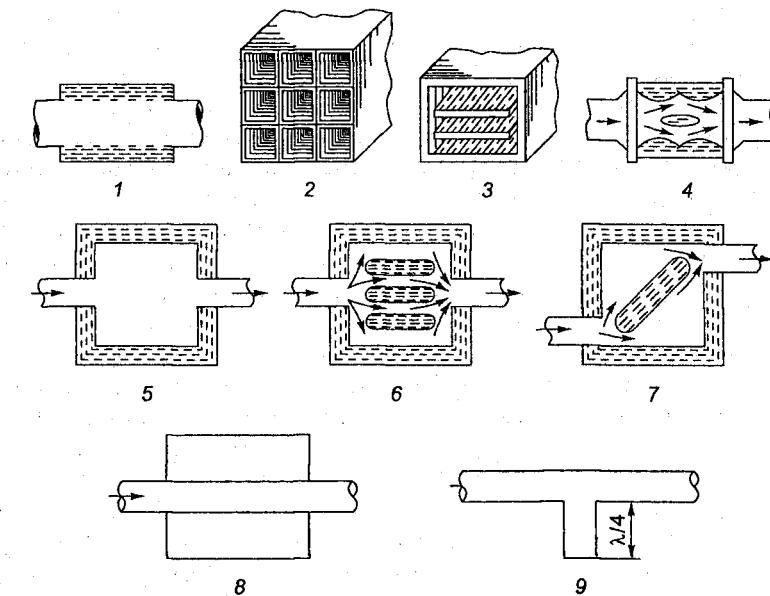


Рис. 3.31. Глушители шума:

1, 2, 3, 4 – соответственно трубчатые, сотовые, пластинчатые и цилиндрические глушители; 5, 6, 7 – камерные глушители; 8, 9 – резонансные глушители

поскольку использование их более 2 ч может вызывать сильное раздражающее действие.

Основные методы борьбы с аэродинамическими шумами – установка глушителей в сечениях истечения газов и звукоизоляция источника.

Для снижения шума аэродинамических установок и устройств (вентиляционные установки, воздуховоды, пневмоинструменты, газотурбины, компрессоры и др.) применяются поглощающие (активные), отражающие (реактивные) и комбинированные глушители шума (рис. 3.31).

В глушителях *активного типа* снижение шума происходит за счет превращения звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале, размещенном во внутренних полостях. Наиболее распространенным элементом активных глушителей являются облицованные каналы круглого и прямоугольного сечения. Такие глушители называются трубчатыми. Чтобы достичь большей эффективности звука, в канале распола-

гают звукопоглощающие пластины, цилиндры, соты. Такие глушители называются пластинчатыми, цилиндрическими и сотовыми. Если канал состоит из отдельных камер, то глушиители называются камерными.

В глушиителях *реактивного типа* шум снижается за счет отражения энергии звуковых волн в системе расширительных и резонансных камер, соединенных между собой и с воздуховодом.

Внутренние поверхности резонансных камер могут облицовываться звукопоглощающим материалом, тогда в низкочастотной области они работают как отражатели, а в высокочастотной — как поглотители звука. Таким образом, в *комбинированных* глушиителях добиваются снижения шума как за счет поглощения, так и за счет отражения.

Борьба с шумами электромагнитного происхождения заключается в более плотной прессовке пакетов магнитопроводов (трансформаторов, дросселей и т.п.) и применении демпфирующих материалов.

#### 3.4.8. Защита от ультра- и инфразвука

Звуковые колебания с частотой более 16–20 кГц называют *ультразвуковыми*.

В последние десятилетия ультразвуковая энергия получила широкое применение в медицине для диагностики и лечения различных заболеваний, в промышленности — для очистки деталей, ускорения химических реакций и электролитических процессов, в сельском хозяйстве — для обработки семян перед посевом и др.

Систематическое воздействие на человека ультразвука больших уровней (100–120 дБ) может вызвать быструю утомляемость, боль в ушах, головную боль, функциональные нарушения нервной и сердечно-сосудистой систем.

Ультразвук может действовать на человека как через воздушную, так и через жидкую и твердую среды.

Допустимые уровни звукового давления в среднегеометрических частотах соответственно равны:

12 500 Гц	75 дБ
16 000 Гц	85 дБ
20 000 Гц и выше	110 дБ

Вредное воздействие ультразвука на организм человека может быть устранено или снижено повышением рабочих частот, исключением паразитного излучения звуковой энергии, применением звукоизолирующих кожухов и экранов, механизацией и автоматизацией процессов, использованием дистанционного управления ультразвуковыми технологическими установками. Важное значение имеют организационно-планировочные мероприятия (обучение, инструктаж, рационализация режима труда и отдыха и др.).

Используемые для защиты от ультразвука кожухи и экраны изготавливаются из листовой стали, дюралюминия (толщиной 1 мм), текстолита или гетинакса (толщиной 5 мм). Эластичные кожухи могут быть изготовлены из нескольких слоев резины общей толщиной 3–5 мм. Экраны могут быть прозрачными.

Зашита от ультразвука при контактном воздействии состоит в принятии мер, позволяющих исключить контакт работающего с источником. Так, загрузку и выгрузку изделий следует производить при выключенном источнике ультразвука, а в случаях, когда выключение установки нежелательно, применяют специальные приспособления и индивидуальные средства защиты (ручки с вибропропицирующим покрытием, резиновые перчатки и т.п.).

*Инфразвуковые колебания* в природе генерируются землетрясениями, извержениями вулканов, морскими бурями и штормами. В сфере производства их источниками являются крупногабаритные машины и механизмы (турбины, компрессоры, промышленные вентиляционные установки, холодновысадочное и штамповочное оборудование, кузнецкое производство и др.).

Длительное воздействие инфразвуковых колебаний на организм человека приводит к появлению утомляемости, головокружению, нарушению сна, психическим расстройствам, нарушению периферического кровообращения, функции центральной нервной системы и пищеварения. Колебания с уровнем звукового давления более 120–130 дБ в диапазоне частот от 2 до 10 Гц могут приводить к резонансным явлениям в организме.

Для органов дыхания опасны колебания с частотой 1–3 Гц, для сердца – 3–5, для биотоков мозга – 8, для желудка – 5–9 Гц.

Опасность инфразвука усугубляется тем, что колебания, имея большую длину, распространяются на большие расстояния без заметного ослабления.

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц должны быть не более 105 дБ, а в полосе с частотой 32 Гц – не более 102 дБ.

Снижение неблагоприятного воздействия инфразвука достигается комплексом инженерно-технических и медицинских мероприятий, основными из которых являются: устранение причин генерации инфразвука в источнике оборудования (повышение жесткости конструкций); изоляция и поглощение инфразвука на пути его распространения (применение реактивных глушителей); применение индивидуальных средств защиты (специальные противошумы) и проведение медицинской профилактики (предварительных и периодических медицинских осмотров).

Первостепенное значение в борьбе с инфразвуком имеют методы, снижающие возможность его возникновения и ослабление в источнике, так как методы, использующие звукоизоляцию и звукопоглощение, малоэффективны.

### **3.5. ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

#### **3.5.1. Социально-экономическое значение пожарной безопасности. Основные причины пожаров**

Пожары и взрывы причиняют значительный материальный ущерб и в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей.

В Республике Беларусь в среднем ежегодно возникает около 10 тыс. пожаров и аварий, погибает около 100 человек и более 1000 травмируется.

Большинство современных промышленных предприятий характеризуется повышенной пожарной опасностью, так как на них используется значительное количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, твердых горючих материалов, большое количество емкостей и аппаратов, в которых находятся пожароопасные продукты под давлением, разветвленная сеть трубопроводов, большая оснащенность производства электроустановками и др. Учащению пожаров в общественных зданиях и сооружениях, а также в жилых помещениях способствует широкое использование в быту электроэнергии, радиоэлектроники и телевизионной техники и т.д.

Основными причинами пожаров являются:

- ◆ халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов, разогрев деталей открытым огнем и т.п.);
- ◆ неисправность отопительных и вентиляционных систем (котельных, отопительных приборов, печей и др.);
- ◆ неисправность производственного оборудования и нарушение технологических процессов (выделение горючих газов, паров, пыли);
- ◆ самовоспламенение или самовозгорание некоторых веществ и материалов при нарушении правил их хранения и использования;
- ◆ искрение в электрических аппаратах, машинах; токи коротких замыканий и значительные перегрузки проводов и обмоток электрических устройств, вызывающих их нагрев до высокой температуры; плохие контакты в местах соединения проводов, приводящие к увеличению переходного сопротивления, на котором выделяется большое количество тепла; электрическая дуга, возникающая во время дуговой электрической сварки или в результате ошибочных операций в электроустановках; электростатические разряды, удары молнии и т.п.

### **3.5.2. Теоретические основы горения. Опасные факторы пожара**

*Горением* называется сложный физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя, сопровождающийся выделением тепла и излучением света.

*Окислителем* в процессах горения обычно является газообразный кислород, находящийся в воздухе, но горение может быть и в среде хлора, брома, озона и других окислителей.

Для возникновения процесса горения необходимо наличие горючего вещества, окислителя и источника горения. Горючее вещество и окислитель составляют горючую систему, а источник горения вызывает в ней реакцию окисления (горения). При этом источник горения должен обладать определенным запасом тепла и иметь температуру, достаточную для начала реакции.

Горючие системы могут быть однородными и неоднородными. К химически однородным относятся системы, в которых горючее вещество и воздух перемешаны друг с другом. Горение таких газо-паро- или пылевоздушных систем называется

**кинетическим.** К химически неоднородным относятся системы, в которых горючее вещество и воздух не перемешаны друг с другом и имеют поверхность раздела. При горении химически неоднородных горючих систем, кислород воздуха непрерывно диффундирует сквозь продукты горения к горючему веществу. В месте химического взаимодействия участвующих в реакции веществ образуется зона горения, в которой прореагировавшие вещества нагреваются до температуры горения и за счет своего тепла воспламеняют следующие порции еще непрореагировавших веществ, поступающих в зону горения за счет диффузии. Этот вид горения определяется явлениями диффузии и теплопроводности и поэтому называется *диффузионным*.

Возникновение горения, как отмечалось, чаще всего связано с нагреванием горючей системы источником воспламенения. При этом энергия молекул горючего вещества и кислорода увеличивается и при достижении определенного значения молекулы горючего вещества вступают в соединение с кислородом.

Процесс возникновения горения может начаться со следующих видов реакций:

- ◆ вспышки – быстрое окисление горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов;
- ◆ возгорания – возникновение горения под воздействием источника зажигания;
- ◆ воспламенения – возгорание, сопровождающееся появлением пламени;
- ◆ самовозгорания – процесс загорания горючего вещества в результате резкого увеличения скорости экзотермических реакций от воздействия тепловых процессов окисления или жизнедеятельности микроорганизмов. Этот процесс возможен лишь при тепловыделении, превышающем теплоотдачу в окружающую среду. Самовозгоранию при атмосферном давлении и температуре подвержены большей частью вещества органического происхождения (торф, опилки, промышленная ветошь и др.). Эти материалы обладают большой пористостью и имеют большую поверхность окисления. При неправильной организации хранения таких материалов (в плохо вентилируемых помещениях, штабелях или просто на валом) создаются условия, при которых происходит саморазогрев и самовозгорание этих веществ; самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени, называется *самовоспламенением*;

◆ взрыва — чрезвычайно быстрое химическое превращение, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить механическую работу.

Таким образом, возникновение горения веществ и материалов при тепловых воздействиях с температурой выше температуры воспламенения характеризуется как возгорание, а возникновение горения при температурах ниже температуры самовоспламенения относится к процессу самовозгорания.

Неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее обществу материальный и социальный ущерб, принято называть *пожаром*.

Пожар характеризуется рядом опасных факторов, основными из которых являются: повышенная температура воздуха и предметов; открытый огонь и искры; токсичные продукты горения, взрывы; повреждение и разрушение зданий и сооружений.

### 3.5.3. Взрыво- и пожароопасные свойства веществ

Взрыво- и пожароопасные свойства веществ зависят от их агрегатного состояния (газообразные, жидкые, твердые), физико-химических свойств, условий хранения и применения.

**Газы.** Основными показателями, характеризующими пожарную опасность горючих газов, являются: концентрационные пределы воспламенения; энергия зажигания; температура горения; нормальная скорость распространения пламени и др.

Горение смеси газа с воздухом возможно в определенных пределах, называемых *концентрационными пределами воспламенения*. Минимальные и максимальные концентрации горючих газов в воздухе, способные воспламеняться, называются соответственно нижним и верхним концентрационными пределами воспламенения.

**Энергия зажигания** определяется минимальной энергией искры электрического разряда, воспламеняющей данную газо-воздушную смесь. Величина энергии зажигания зависит от природы газа и концентрации. Наименьшее значение энергии зажигания газовоздушных смесей составляет десятые доли МДж. Энергия зажигания является одной из основных характеристик взрывоопасных сред при решении вопросов обеспечения взрывобезопасности электрооборудования и разработке

Мероприятий по предупреждению образования статического электричества.

*Температура горения* – это температура продуктов химической реакции при горении смеси без тепловых потерь. Она зависит от природы горючего газа и концентрации его в смеси. Наибольшая температура горения для большинства газов составляет 1600–2000 °С.

*Нормальной скоростью распространения пламени* называется скорость, с которой движется граничная поверхность между сгоревшей и несгоревшей частями смеси относительно несгоревшей. Численно нормальная скорость распространения пламени равна количеству (объему) горючей смеси ( $V_{\text{г.с.}}$ ), выгорающей на единице площади пламени ( $S_{\text{пл}}$ ) за единицу времени ( $t$ ):

$$W_{\text{п.пл}} = \frac{V_{\text{г.с.}}}{S_{\text{пл}} t}.$$

Нормальная скорость распространения пламени зависит от природы газа и концентрации его в смеси. Для большинства горючих газов нормальная скорость пламени находится в пределах 0,3–0,8 м/с.

Нормальная скорость пламени является одной из важнейших физико-химических характеристик, определяющих свойства горючей смеси, скорость горения и соответственно время взрыва. Чем больше нормальная скорость пламени, тем меньше время взрыва и тем более жесткие его параметры.

**Жидкости.** Горение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей происходят только в паровой фазе. Скорость испарения и количество паров над жидкостью зависит от природы жидкости и ее температуры. При определенной температуре и давлении над жидкостью может образоваться некоторое количество пара. Этот пар называется *насыщенным*. В состоянии насыщения число испаряющихся молекул равно числу конденсирующихся и концентрация пара остается постоянной.

Горение паров в воздухе, как и газов, возможно в определенном диапазоне концентраций. Так как максимально возможное содержание пара в воздухе не может быть больше, чем в состоянии насыщения, то концентрационные пределы воспламенения могут быть выражены через температуру. Зна-

чения температуры жидкости, при которых концентрация насыщенных паров в воздухе над жидкостью равна концентрационным пределам воспламенения, называются *температурными пределами воспламенения* (нижним и верхним соответственно).

Таким образом, для воспламенения и горения жидкостей необходимо, чтобы жидкость была нагрета до температуры, не меньшей, чем нижний температурный предел воспламенения. После воспламенения скорость испарения должна быть достаточной для поддержания постоянного горения. Эти особенности горения жидкостей характеризуются температурой вспышек и температурой воспламенения.

*Температурой вспышки* называется наименьшее значение температуры жидкости, при которой над ее поверхностью образуется паровоздушная смесь, способная вспыхивать от постороннего источника зажигания. При этом устойчивого горения жидкости не возникает.

По температуре вспышки жидкости делятся на *легковоспламеняющиеся* (ЛВЖ), температура вспышки которых не превышает 45 °С (спирты, ацетон, бензин и др.), и *горючие* (ГЖ), температура вспышки которых более 45 °С (масла, мазуты, глицерин и др.).

*Температурой воспламенения* жидкости называется наименьшее значение температуры жидкости, при которой интенсивность испарения ее такова, что после зажигания внешним источником возникает самостоятельное пламенное горение. Для ЛВЖ температура воспламенения обычно на 1–5 °С выше температуры вспышки, а для ГЖ эта разница может достигать 30–35 °С.

Паровоздушные смеси, как и газовоздушные, являются взрывоопасными. Их взрывоопасность характеризуется параметрами, определяющими взрывоопасность газовоздушных смесей, – энергией зажигания, температурой горения, нормальной скоростью распространения пламени и др.

**Твердые вещества.** Пожарная опасность твердых горючих веществ и материалов характеризуется теплотворной способностью 1 кг вещества, температурой горения, самовоспламенения и воспламенения, скоростью выгорания и скоростью распространения горения по поверхности материалов.

**Пыли.** Пожаро- и взрывоопасные свойства пылей определяются концентрациями пылевоздушной смеси, наличием ис-

точника зажигания с достаточной тепловой энергией, размером пылинок и др.

Мелкие частицы твердых горючих веществ размером  $10^{-5} - 10^{-7}$  см могут долгое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии, образуя дисперсную систему — аэровзвесь. Для воспламенения аэровзвеси необходимо, чтобы концентрация пыли в воздухе была не меньше нижнего концентрационного предела воспламенения. Верхний концентрационный предел воспламенения пылевоздушной смеси в большинстве случаев является очень высоким и труднодостижимым (для торфяной пыли —  $2200 \text{ г}/\text{м}^3$ , сахарной пудры —  $13\,500 \text{ г}/\text{м}^3$ ).

Тепловая энергия источника зажигания для воспламенения пылевоздушной смеси должна быть порядка нескольких МДж и более.

В зависимости от значения нижнего концентрационного предела воспламенения пыли подразделяются на взрывоопасные и пожароопасные. К *взрывоопасным* относятся пыли с нижним концентрационным пределом воспламенения до  $65 \text{ г}/\text{м}^3$  (пыль серы, сахара, муки), а *пожароопасным* — пыли с нижним пределом воспламенения выше  $65 \text{ г}/\text{м}^3$  (табачная и древесная пыль).

Пожарную опасность веществ и материалов характеризуют и такие свойства, как склонность некоторых веществ и материалов к электризации и самовозгоранию при соприкосновении с воздухом (фосфор, сернистые металлы и др.), водой (натрий, калий, карбит кальция и др.) и друг с другом (метан + хлор, азотная кислота + древесные опилки и т.д.).

Пожарная опасность не горючих веществ и материалов определяется температурой, при которой они обрабатываются, возможностью выделения искр, пламени, лучистого тепла, а также потерей несущей способности и разрушением.

### **3.5.4. Категории производств по взрыво- и пожароопасности**

Взрыво- и пожароопасность производств определяется технологиями, в которых используются или могут образовываться вещества, материалы или смеси с определенными взрыво- и пожароопасными свойствами. Более высокую опасность представляют технологии, в которых используются вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси с воздухом

(горючие газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, пылевидные горючие материалы и т.п.).

Производства в зависимости от применения или хранения на них материалов и веществ по взрыво- и пожароопасности подразделяются на пять категорий: А, Б, В, Г и Д.

К категории А относятся взрывоопасные производства, в которых применяются горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых в помещении развивается избыточное давление взрыва, превышающее 5 кПа, а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, при котором избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

К категории Б относятся взрывоопасные производства, в которых применяются горючие пыли или волокна, легко воспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С в таком количестве, что могут образовываться взрывоопасные пыле- и парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых в помещении развивается избыточное давление взрыва, превышающее 5 кПа.

К категории В относятся пожароопасные производства, в которых используются горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются, не относятся к категориям А и Б).

К категории Г относятся производства, в которых используются негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, обработка которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые скжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Категории Д относятся производства, в которых используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Категорирование производств по пожаро- и взрывоопасности имеет важное значение, так как в значительной степени позволяет определить требования к зданию, его конструкции и планировке, к режиму и эксплуатации оборудования, правильно организовать пожарную охрану и ее техническую оснащенность.

### **3.5.5. Принципы, способы и средства обеспечения пожарной безопасности**

**Пожарная безопасность** определяется как состояние объекта, при котором максимально исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

Таким образом, пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий, предотвращающих возникновение пожара, и системой пожарной защиты, обеспечивающей успешную борьбу с возникшим пожаром или последствиями взрыва.

Предотвращение пожара достигается комплексом профилактических мер, исключающих образование горючей среды, источников зажигания, поддержание температуры горючей среды и давления в ней ниже максимально допустимой.

Предотвращение образования горючей среды обеспечивается регламентацией допустимых концентраций горючих газов, паров и взвесей в воздухе, а также кислорода или других окислителей.

Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания достигается соответствующим исполнением, применением и режимом эксплуатации машин и механизмов, материалов и изделий, которые могут являться источником зажигания; применением соответствующего электрооборудования и технологического процесса; устройством молниезащиты зданий и сооружений; регламентацией допустимой температуры нагрева поверхностей оборудования, допустимой энергией искрового разряда; ликвидацией условий для теплового, химического и микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов и изделий.

К профилактическим мерам также относятся: применение негорючих и трудногорючих веществ и материалов; ограничение количества горючих веществ; предотвращение распространения пожара за пределы очага; применение конструкций объектов с регламентированными пределами огнестойкости и горючести; создание условий для эвакуации людей; применение средств защиты людей и системы противодымной защиты; применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре; организация пожарной охраны объекта и др.

• Ограничение количества горючих веществ достигается регламентацией их количества (массы, объема), наличием аварийного слива, периодической очисткой помещений, коммуникаций и аппаратуры от горючих отходов, регламентацией рабочих мест, на которых используются пожароопасные вещества, и др.

Изоляция горючей среды обеспечивается максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, применением для пожароопасных веществ герметизированного оборудования и тары.

Предотвращение распространения пожара обеспечивается устройством противопожарных преград (стен, зон, поясов, защитных полос, занавесов и т.п.), применением средств, предотвращающих или ограничивающих разливание, растекание жидкостей при пожаре, и др.

Профилактические меры по предотвращению пожаров условно можно разделить на организационные, эксплуатационные, технические и режимные.

*Организационные мероприятия* по обеспечению пожарной безопасности включают информирование персонала и граждан о правилах пожарной безопасности; разработку норм и правил по пожарной безопасности, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, поведении людей при возникновении пожара.

*Эксплуатационные мероприятия* предусматривают соответствующую эксплуатацию оборудования, содержание зданий и территорий.

*Технические меры* заключаются в соблюдении противопожарных норм при сооружении зданий, устройстве отопления и вентиляции, выборе и монтаже оборудования, устройстве грозозащиты и защиты от статического электричества.

*Режимные мероприятия* направлены на ограничение или запрещение разведения огня, производства электро- и газосварочных работ, а также курения в неустановленных местах и др.

### **3.5.6. Противопожарные мероприятия в системах отопления, вентиляции, освещения и в электроустановках**

Наиболее безопасными в пожарном отношении являются центральные системы отопления и воздушное калориферное отопление. Дымовые трубы котельных и другие дымоходы, из которых могут вытекать искры, оборудуются искроуловителями.

Защита от распространения пламени в вентиляционных установках достигается с помощью огнепреградителей, быстroredействующих заслонок, отсекателей и т.п. Действие огнепреградителей основано на том, что струя горючей смеси разбивается на большое число струек с таким малым диаметром, при котором пламя взрыва распространяться не может.

Для обеспечения взрывопожарной безопасности во взрывоопасных средах (взрывоопасных помещениях и около взрывоопасных наружных установок) применяется только *взрывозащищенное электрооборудование*.

Взрывозащищенное электрооборудование разделяется на взрывонепроницаемое, повышенной надежности против взрыва, маслонакопительное, продуваемое, специальное и др.

Во взрывонепроницаемом электрооборудовании его оболочки могут выдерживать наибольшее давление взрыва при попадании внутрь оболочек горючих газов, паров и пыли, а также не допускают передачи взрыва во внешнюю среду.

В оборудовании повышенной надежности против взрыва исключается возможность искрения, возникновения электрической дуги и опасных температур нагрева.

В маслонакопительном оборудовании искрящиеся и неискрящиеся части погружаются в масло таким образом, чтобы не было соприкосновения этих частей со взрывоопасной средой.

Продуваемое под избыточным давлением электрооборудование помещается в плотно закрытую оболочку, продуваемую чистым воздухом, что исключает его соприкосновение со взрывоопасной средой.

В специальном оборудовании используются такие принципы, как применение избыточного давления воздуха или инертного газа без продувки, заполнение оболочки для токоведущих частей эпоксидными смолами, кварцевым песком и т.п.

Для исключения пожарной опасности электрических светильников и осветительных установок их выбор производится исходя из условий эксплуатации. Лампы накаливания в пожарном отношении более опасны (температура поверхности достигает 500 °C), чем газоразрядные лампы (40–50 °C). Светильники могут быть открытые, защищенные (лампы закрыты стеклянным колпаком), пыленепроницаемые и взрывозащищенные.

### **3.5.7. Пожарная сигнализация**

Пожарная сигнализация применяется для своевременного оповещения о времени и месте пожара и принятия мер по его ликвидации.

Системы пожарной сигнализации состоят из пожарных извещателей (датчиков), линий связи, приемной станции, откуда сигнал о пожаре может передаваться в помещения пожарных команд.

Электрическая пожарная сигнализация в зависимости от схемы соединения извещателей с приемной станцией подразделяется на лучевую и кольцевую, или шлейфную.

При *лучевой* схеме от приемной станции к каждому извещателю подводится отдельная проводка, называемая лучом.

При *кольцевой* (*шлейфной*) схеме все извещатели подсоединяются последовательно в один общий провод, оба конца которого подводятся к приемной станции. На крупных объектах в приемную станцию может включаться несколько таких проводов или шлейфов, а в один шлейф может быть включено до 50 извещателей.

Пожарные извещатели могут быть ручные (кнопки, установленные в коридорах или лестничных клетках) и автоматические, которые преобразуют неэлектрические физические величины (излучение тепловой и световой энергии, движение частиц дыма и др.) в электрические сигналы определенной формы, передаваемые по проводам на приемную станцию.

Извещатели подразделяются на *параметрические*, в которых неэлектрические величины преобразуются в электрические, и *генераторные*, в которых изменение неэлектрической величины вызывает появление собственной электродвижущей силы.

По принципу действия извещатели могут быть тепловые (биметаллические, термопарные, полупроводниковые и др.), световые, дымовые, ультразвуковые, комбинированные и т.п.

### **3.5.8. Противопожарные мероприятия в зданиях**

Пожарная безопасность зданий и сооружений в значительной мере определяется возгораемостью строительных материалов и конструкций, размерами зданий, их расположением, а также огнестойкостью.

По возгораемости строительные конструкции подразделяются на *негорючие*, которые под воздействием огня или высоких температур не возгораются и не обугливаются (бетон, кирпич, металлы); *трудногорючие*, способные возгораться и продолжать гореть только при постоянном воздействии постороннего источника зажигания (древесина, пропитанная или покрытая огнезащитным составом), и *горючие*, которые способны самостоятельно гореть после удаления источника зажигания (лесоматериалы, битум и др.).

К числу основных характеристик строительных конструкций относится огнестойкость и размеры распространения по строительным конструкциям огня.

*Огнестойкость* определяется как способность строительных конструкций сопротивляться воздействию высокой температуры в условиях пожара и выполнять при этом свои обычные эксплуатационные функции. Время, по истечении которого конструкция теряет несущую или ограждающую способность, называется *пределом огнестойкости* и измеряется в часах от начала испытания до возникновения в конструкции одного из следующих признаков:

- ◆ образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя;
- ◆ повышенная температура на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °С;
- ◆ потеря конструкцией несущей способности.

*Пределы распространения по строительным конструкциям огня* определяют размеры повреждения конструкции в сантиметрах вследствие ее горения за пределами зоны нагрева.

К противопожарным мероприятиям на промышленных предприятиях и в зданиях, применяемым с целью ограничения распространения и расширения пожара, относятся: зонирование территории предприятия; устройство противопожарных разрывов; устройство различных противопожарных преград (брандмауэры, перегородки, двери, ворота, люки, тамбуры, шлюзы, противопожарные зоны, водяные засеки и др.).

*Зонирование* территории предполагает группирование производственных объектов предприятия, родственных по функциональному назначению и признаку пожарной опасности, в отдельные комплексы. С учетом рельефа местности

и розы ветров объекты с повышенной пожарной опасностью располагаются с подветренной стороны по отношению к объектам с меньшей пожарной опасностью.

*Противопожарные разрывы* между зданиями устанавливают для предупреждения распространения пожара с одного здания на другое. При их определении учитывают степень огнестойкости зданий.

Противопожарная преграда в виде *брандмауэра* представляет собой глухую негорючую стену с пределом огнестойкости не менее 2,5 ч, пересекающую здание вдоль или поперек.

Брандмауэр устанавливается на фундамент здания и возвышается над кровлей, препятствуя распространению огня при пожаре.

*Противопожарные зоны* устраивают в тех случаях, когда по каким-либо причинам устройство брандмауэра невозможно. Зона представляет собой негорючую полосу покрытия шириной 6 м, пересекающую здание по всей длине или ширине. Предел огнестойкости несущих конструкций противопожарных зон должен составлять 4 ч, а перекрытий – 2 ч.

При проектировании зданий предусматриваются пути эвакуации людей: эвакуационные выходы, пожарные лестницы, огнестойкие лестничные клетки, специальные балконы, площадки и переходы.

Для удаления дыма и газов из горящих помещений предусматриваются специальные дымовые люки, которые устанавливаются в подвальных помещениях, в перекрытиях складских и в бесфонарных производственных зданиях.

### **3.5.9. Способы и средства тушения пожаров**

Прекращение горения при пожарах может быть достигнуто путем прекращения поступления в зону горения кислорода воздуха и горючих веществ или снижения их поступления до значений, при которых горение не происходит; охлаждения зоны горения ниже температуры самовоспламенения разбавлением реагирующих веществ (горючей смеси) негорючими веществами; механического срыва пламени в результате воздействия на него сильной струи воды или газа.

**Огнегасительные вещества.** Наиболее распространенным и высокоэффективным огнегасительным веществом, применяемым для тушения пожаров, является вода. Ее высокие огнега-

сительные качества обусловлены большой теплоемкостью, значительным увеличением объема парообразования и высокой термической стойкостью. Один литр воды при испарении поглощает из зоны горения более 2,5 кДж тепла, образуя при этом около 1700 л пара.

Огнегасительный эффект воды достигается охлаждающим действием, разбавлением горючей среды образующимися при испарении парами, механическим воздействием на горящее вещество и срывом пламени. Вода не может использоваться для тушения нефтепродуктов и других горючих жидкостей с плотностью меньше единицы (бензин, керосин, эфир, ацетон, спирты, масла и др.), так как они всплывают на ее поверхность, продолжают гореть и, растекаясь, увеличивают горящую поверхность. Водой нельзя тушить электросети и другие электрические установки, находящиеся под напряжением. Для этих целей вода может применяться в распыленном виде с применением электрозащитных изолирующих (основных и дополнительных) средств. Воду нельзя применять и для тушения металлического калия и натрия, карбида кальция, карбидов щелочных металлов, так как при соприкосновении с водой они воспламеняются или реагируют с выделением взрывоопасных газов.

Для тушения жидких, твердых и газообразных веществ, особенно при пожаре в закрытых помещениях небольшого объема (до 500 м<sup>3</sup>) и в условиях открытого горения на небольших площадях, используется водяной пар.

Для тушения пожаров широко используются газы: углекислый газ, азот, газы или легкоиспаряющиеся жидкости на основе галоидированных углеводородов и др.

Углекислый газ в сжиженном состоянии (в баллонах) может применяться для тушения в снегообразном состоянии в виде хлопьев с температурой около -70 °С, а также в газообразном состоянии (в этом случае он применяется в закрытых помещениях). При использовании углекислого газа необходимо применять защиту органов дыхания, так как его концентрация в помещении составляет 30% и более, что может вызвать отравление.

Применение азота и других газов (аргон, гелий, дымовые и отработанные газы) для тушения пожара наиболее эффективно в закрытых помещениях. Инертные газы снижают концентрацию кислорода в воздухе и уменьшают тепловой эффект ре-

акции за счет потерь тепла на нагревание. Огнегасительная концентрация газов составляет 31–36% по объему.

Применение галоидированных углеводородов в газообразном виде или в виде легкоиспаряющихся жидкостей позволяет значительно замедлять реакцию горения. В связи с этим их называют *ингибиторами*, *флэгматизаторами* или *антикаталитами*. Наиболее широко применяемыми являются составы на основе галоидированных углеводородов (97% бромэтила и 3% диоксида углерода или 70% бромэтила и 30% диоксида углерода и др.) Указанные составы применяются для тушения твердых горючих веществ и материалов (кроме щелочных металлов и металлоорганических соединений). Продукты распада галоидированных углеводородов токсичны.

Широкое применение для тушения ЛВЖ, ГЖ и твердых горючих веществ и материалов получили химические и воздушно-механические пены.

*Химические пены* образуются при взаимодействии серной кислоты или раствора ее солей с растворами солей угольной кислоты в присутствии пенообразователя.

Для тушения крупных пожаров используют пеногенераторные порошки ПГП и ПГПС. ПГП состоит из щелочной части (двууглекислая сода), кислотной части (сернокислый аммоний) и пенообразователя.

*Воздушно-механическая пена* образуется с помощью специальной пенообразующей аппаратуры и представляет собой смесь воздуха и 4–6%-ных водных растворов пенообразователей (ПО-1, ПО-6, ПО-11 и др.). Воздушно-механическая пена широко применяется для тушения нефтепродуктов.

Широко применяются для тушения пожаров (несмотря на высокую стоимость и сложность в эксплуатации и хранении) порошковые составы на основе карбонатов и бикарбонатов натрия и калия. Они являются единственным средством тушения щелочных металлов и металлоорганических соединений (кроме песка, земли и флюсов).

Порошковые составы и продукты их разложения не опасны для здоровья людей; они не оказывают коррозийного воздействия на металлы, защищают людей, производящих тушение, от тепловой радиации.

Для тушения небольших горящих поверхностей применяются различного рода покрывала (асбестовые полотна, брезент, кошма и др.), а также сухой, чистый и просеянный пе-

сок. При забрасывании им горящего предмета происходит поглощение тепла и изоляция горящей поверхности от кислорода воздуха.

### **3.5.10. Противопожарное водоснабжение.**

#### **Автоматическое тушение пожаров**

Для подачи воды на тушение пожаров используют противопожарные водопроводы, устраиваемые на промышленных предприятиях и в населенных пунктах.

Для наружного тушения пожара вода чаще всего подается с помощью насосов, установленных на пожарных автомобилях. При этом забор воды осуществляется либо из открытых водоемов, либо из пожарных гидрантов, установленных на наружных водопроводных сетях.

Для обеспечения тушения пожара (в начале его возникновения) в большинстве производственных и общественных зданий, а также в жилых домах высотой 12 этажей и выше на внутренней водопроводной сети устанавливают пожарные краны в коридорах или лестничных клетках на высоте 135 см от уровня пола. К пожарному крану присоединяют пожарный рукав длиной 10 или 20 м, который заканчивается пожарным стволом. Производительность струи пожарного крана должна быть не менее 2,5 л/с (в течение не менее 3 ч).

Наружный пожарный водопровод устанавливается на расстоянии 5 м от зданий вдоль дорог. Через каждые 100 м устанавливаются краны-гидранты, к которым при пожаре присоединяют гибкие рукава с брандспойтами.

Внутренний пожарный водопровод питается от сети наружного.

Наиболее эффективным способом тушения пожаров является применение устройств и установок для автоматического тушения.

В зависимости от используемых средств тушения эти установки бывают: водяного тушения (спринклерные и дренчерные); водо-пенного тушения (воздушно-механическая и химическая пена); газового тушения (диоксид углерода, азот, негорючие газы с добавками); порошкового тушения (составы ПС и СИ); комбинированные, использующие несколько огнегасительных веществ.

Наибольшее распространение получили установки водяного тушения пожаров — спринклерные и дренчерные.

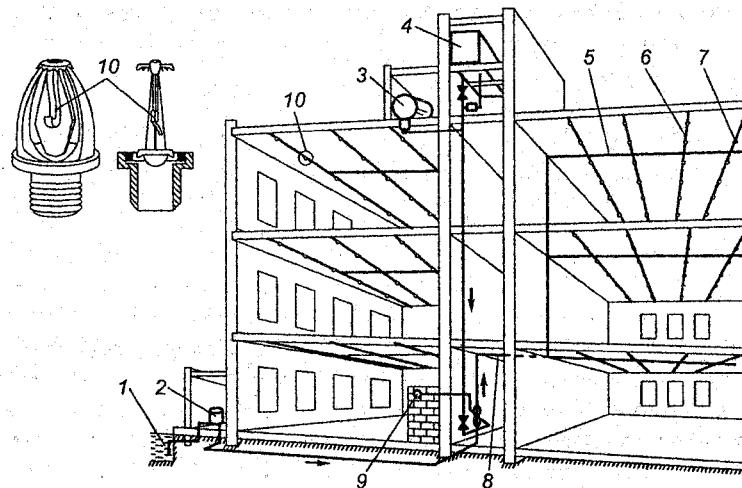


Рис. 3.32. Общая схема спринклерной установки водяной системы:

1 – резервуар; 2 – основной водопитатель (насос); 3 – автоматический водопитатель (пневматический бак); 4 – автоматический водопитатель (водонапорный бак); 5 – второстепенная магистраль; 6 – распределительный рядок; 7 – спринклерная головка; 8 – главная питающая магистраль; 9 – сигнальная турбина; 10 – легкоплавкий замок

**Спринклерная установка** (рис. 3.32) состоит из источника водоснабжения, насосов, контрольно-сигнального клапана, магистральных и распределительных трубопроводов, спринклерных головок. Спринклерные головки ввертываются в трубопроводы, которые размещаются под потолком помещения; одним спринклером орошается  $9-12 \text{ м}^2$  площади пола. Выходное отверстие в спринклерной головке обычно закрыто клапаном и заперто легкоплавким замком. При повышении температуры до  $72^\circ\text{C}$  легкоплавкий замок раскрывается, клапан выбрасывается и вода разбрызгивается, ударяясь о дефлектор.

Таким образом, в спринклерной головке совмещены датчики и приспособления для выбрасывания и распыления воды. Распределительные трубопроводы спринклерной установки в обычном состоянии заполнены водой под давлением, которое создает автоматический водопитатель. Как только откроется при пожаре хотя бы один спринклер, в результате движения воды по трубопроводу срабатывает контрольно-сигнальный клапан и подается сигнал о пожаре — колокольный или электрический.

В спринклерных установках вскрывается лишь такое количество головок, которое оказалось в зоне высокой температуры.

В ряде случаев возникает необходимость подать воду сразу по всей площади помещения с помощью дренчерных установок группового действия. На трубопроводах, монтируемых под перекрытием, устанавливают дренчерные головки, которые напоминают спринклерные, но без замков, с открытыми отверстиями. В обычное время выход воды в сеть закрыт клапаном группового действия.

Установка приводится в действие автоматически с помощью побудительных трубопроводов со спринклером либо с помощью натяжных тросов с легкоплавкими замками или же вручную открыванием крана. При вскрытии одного из этих устройств происходит падение давления в надклапанной камере, клапан вскрывается и вода поступает в сеть труб и выливается через дренчеры.

Кроме дренчерных установок группового действия применяются дренчерные завесы для защиты проемов в противопожарных стенах, противопожарных занавесов в театрах.

В последнее время находят применение спринклерные и дренчерные установки, в которых вместо воды применяется раствор пенообразователя, а обычные спринклеры и дренчеры заменены пенными (рис. 3.33).

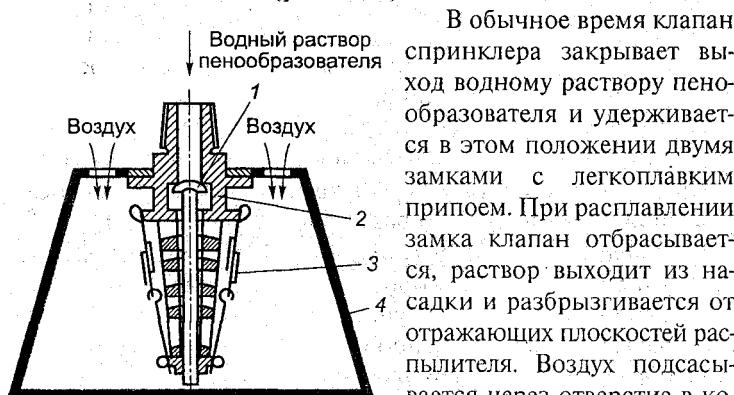


Рис. 3.33. Пенный спринклер:

1 — клапан с упорным стержнем; 2 — распылитель; 3 — легкоплавкий замок; 4 — кожух

В обычное время клапан спринклера закрывает выход водному раствору пенообразователя и удерживается в этом положении двумя замками с легкоплавким припоем. При расплавлении замка клапан отбрасывается, раствор выходит из насадки и разбрызгивается от отражающих плоскостей распылителя. Воздух подсасывается через отверстие в кожухе и смешивается с раствором, в результате чего образуется воздушно-механическая пена.

### **3.5.11. Средства пожаротушения**

Средства пожаротушения подразделяются на первичные, стационарные и передвижные.

К *первичным средствам* относятся огнетушители, гидропомпы (поршневые насосы), ведра, бочки с водой, ящики с песком, асbestosовые полотна, войлочные маты, кошмы и т.п.

Огнетушители бывают химические пенные (ОП-5, ОХПВ-10 и др.), воздушно-пенные (ОВП-5, ОВП-10), углекислотные (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), углекислотно-бромэтиловые (ОУБ-3, ОУБ-7), порошковые (ОПС-6, ОПС-10) и др.

*Химические пенные* огнетушители типа ОХП-10, ОХВП-10 состоят из стального баллона, в котором находятся щелочной раствор и полиэтиленовый стакан с кислотным раствором. Приведение огнетушителя в действие производится поворотом вверх до отказа рукоятки, которая открывает стакан с кислотным раствором. Огнетушитель переворачивают вверх дном, растворы смешиваются и начинают взаимодействовать. Химическая реакция сопровождается выделением углекислого газа, который создает в баллоне избыточное давление. Под действием давления образующаяся пена вспрыскивается в зону горения.

*Химические пенные* огнетушители типа ОП-3 или ОП-5 приводятся в действие ударом бойка ударника о твердое основание. При этом разбиваются стеклянные колбы, серная кислота выливается в баллон и вступает в химическую реакцию со щелочью. Образующийся углекислый газ в результате реакции вызывает интенсивное вспенивание жидкости и создает в баллоне давление порядка 9–12 атмосфер, благодаря чему жидкость в виде струи пены выбрасывается из баллона через сопло.

Продолжительность действия химических пенных огнетушителей порядка 60–65 с, а радиус действия – до 8 м.

*Воздушно-пенные* огнетушители (ОВП-5, ОВП-10) заряжаются 5%-ным водным раствором пенообразователя ПО-1. При приведении в действие огнетушителя сжатый диоксид углерода выбрасывает раствор пенообразователя через пенный насадок, образуя струю высокократной пены.

Продолжительность действия воздушно-пенных огнетушителей до 20 с, дальность действия пены – 4–4,5 м.

*Углекислотные* огнетушители состоят из баллона с углекислотой, запорно-пускового вентиля, сифонной трубки, гибкого металлического шланга, диффузора (раструба-снегообразова-

теля), рукоятки и предохранителя. Запорный вентиль имеет предохранительное устройство в виде мембранны, которое срабатывает при повышении давления в баллоне сверх допустимого. Газ в баллоне находится под давлением порядка 70 атмосфер ( $6\text{--}7 \text{ МПа}$ ) в жидкоком состоянии. Огнетушители приводятся в действие при вращении запорного вентиля против хода часовой стрелки. При открытии вентиля углекислый газ выходит наружу в виде снега. При повышении окружающей температуры давление в баллоне может достигать 180–210 атмосфер ( $180\text{--}210 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

Время действия углекислотных огнетушителей до 60 с, а дальность – до 2 м.

*Углекислотно-бромэтиловый огнетушитель* (ОУБ-7) состоит из баллона, заполненного бромистым этилом, диоксидом углерода, а также сжатым воздухом для выбрасывания огнегасящего вещества через сопло. Время действия ОУБ-7 порядка 35–40 с, длина струи 5–6 м. ОУБ-7 приводится в действие нажатием пусковой рукоятки. Работу огнетушителя можно прекратить, отпустив рукоятку.

*Порошковые огнетушители* (ОПС-6, ОПС-10) состоят из корпуса емкостью 6 или 10 л, крышки с предохранительным клапаном и сифонной трубкой, баллончика для газа емкостью 0,7 л, соединенного с корпусом с помощью патрубка, гибкого шланга с удлинителем и раструбом.

При приведении огнетушителя в действие порошок из его корпуса через сифонную трубку выталкивается сжатым газом, который давит на массу порошка сверху, проходит через его толщу и вместе с порошком выходит наружу.

Время действия порошковых огнетушителей – 30 с, рабочее давление –  $8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а начальное давление в газовом баллончике –  $15 \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

*Стационарные противопожарные установки* представляют собой неподвижно смонтированные аппараты, трубопроводы и оборудование, которые предназначаются для подачи огнегасительных веществ в зону горения.

*Передвижные установки* в виде насосов для подачи воды и других огнегасительных веществ к месту пожара монтируются на пожарных машинах. К пожарным машинам относятся пожарные автомобили, автоцистерны, автонасосы, мотопомпы, пожарные поезда, теплоходы и др.

### **3.5.12. Организация пожарной охраны**

Ответственность за обеспечение пожарной безопасности на предприятии возлагается на руководителя предприятия и руководителей структурных подразделений.

Администрация предприятия или наниматель обязаны обеспечивать полное и своевременное выполнение правил пожарной безопасности и противопожарных требований строительных норм при проектировании, строительстве и эксплуатации подведомственных им объектов; организовывать на предприятии пожарную охрану, добровольную пожарную дружину и пожарно-техническую комиссию; предусматривать необходимые средства на содержание пожарной охраны, приобретение средств пожаротушения; назначать лиц, ответственных за пожарную безопасность в структурных подразделениях.

Инженерно-технические работники, ответственные за пожарную безопасность в подразделении, обязаны знать пожарную опасность технологического процесса, выполнять правила и требования противопожарного режима, установленного на предприятии, следить за их соблюдением рабочими и служащими.

На предприятиях со всеми вновь поступающими на работу должен проводиться противопожарный инструктаж, а на производстве с повышенной пожарной опасностью – еще и занятия по пожарно-техническому минимуму.

Для каждого производства или объекта на основе типовых правил пожарной безопасности промышленных предприятий должны разрабатываться противопожарные инструкции.

Вся профилактическая работа в области пожарной безопасности на предприятии возлагается на пожарно-техническую комиссию, которая на основании анализа состояния противопожарного режима, выявления технологических нарушений и недостатков разрабатывает противопожарные мероприятия.

Руководство в области пожарной безопасности в Республике Беларусь осуществляется МЧС через областные управление и местные органы.

Все организаторские, контрольные и административные функции руководящих органов сводятся в основном к следующему:

◆ разработке и согласованию противопожарных норм, правил, технических условий для вновь строящихся и реконструи-

руемых объектов различного назначения, а также правил пожарной безопасности действующих объектов;

◆ контролю за соблюдением проектными организациями противопожарных норм, технических условий и правил при проектировании новых и реконструкции существующих объектов, зданий и сооружений;

◆ надзору за противопожарным состоянием действующих хозяйственных объектов, жилых и общественных зданий и соблюдением в них должного противопожарного режима;

◆ учету и анализу причин пожаров;

◆ пропаганде противопожарной профилактики;

◆ административной работе и дознанию.

Органы пожарного надзора вправе налагать штрафы на нарушителей противопожарного режима, проводить необходимые действия в качестве органов дознания для выявления виновников пожара или виновных в неудовлетворительном противопожарном состоянии объекта, а также вправе приостанавливать частично или полностью деятельность объектов, находящихся в пожароугрожающем состоянии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Безопасность жизнедеятельности: учебник для студентов вузов. 2-е изд. / под общ. ред. С.В. Белова. М., 2002.
- Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / под ред. О.Н. Русака. 6-е изд., испр. СПб, 2003.
- Гикусов, Э.В. Экология и экономика природопользования: учебник для вузов / под ред. Э.В. Гикусова, В.Н. Лопатина. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2003.
- Горюнова, С.В. Основы общей экологии / С.В. Горюнова. М., 1990.
- Игнатов, В.Г. Экология и экономика природопользования. Ростов н/Д., 2003.
- Михнюк, Т.Ф. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / Т.Ф. Михнюк. Минск, 1998.
- Нестеров, П.М. Экономика природопользования и рынок / П.М. Нестеров, А.П. Нестеров. М., 1997.
- Новиков, Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие для вузов, средних школ и колледжей / Ю.В. Новиков. М., 2000.
- Охрана труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах и другой офисной технике: практическое пособие / В.П. Семич, А.В. Семич. Минск, 2001.
- Правила расследования и учета несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний // Библиотека журнала «Ахова працы». 2004. № 3.
- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М., 1986.
- Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов. Минск, 2000.
- Правила устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов, утв. 22.08.1994 г. Постановлением комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике при МЧС Республики Беларусь.
- Сладкопевцев, С.А. Основы экологии / С.А. Сладкопевцев. М., 1992.

Типовое положение об обучении, инструктаже и проверке знаний работников по вопросам охраны труда // Библиотека журнала «Ахова працы». 2003. № 3.

Типовое положение о службе охраны труда организации // Библиотека журнала «Ахова працы». 2002. № 8.

Трудовой кодекс Республики Беларусь. Минск, 1999.

Чистик, О.В. Экология: учеб. пособие / О.В. Чистик. Минск, 2000.

Шимова, О.С. Основы экологии и экономика природопользования / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. 2-е изд. Минск, 2002.

## СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений . . . . .	3
<b>1. Основы безопасности человека в среде обитания . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Особенности взаимоотношений человека и среды обитания . . . . .	5
1.2. Виды и оценка опасностей . . . . .	9
1.3. Принципы, методы и средства обеспечения экологической и производственной безопасности . . . . .	11
1.4. Психологические основы безопасности . . . . .	14
1.5. Анализаторные системы человека . . . . .	19
<b>2. Основы экологии . . . . .</b>	<b>24</b>
2.1. Предмет экологии . . . . .	24
2.2. Возникновение жизни, образование биосфера Земли и ее эволюция . . . . .	25
2.3. Основные понятия и определения . . . . .	33
2.4. Круговорот веществ в природе . . . . .	34
2.5. Динамика экосистем . . . . .	38
2.6. Исторические особенности взаимоотношений общества и природы . . . . .	42
2.7. Природные ресурсы Земли, их классификация и эколого-экономическое значение . . . . .	46
2.7.1. Атмосфера, ее состав и основные характеристики . . . . .	48
2.7.2. Гидросфера . . . . .	52
2.7.3. Литосфера . . . . .	56
2.7.4. Минеральные ресурсы (недра) . . . . .	58
2.7.5. Животный мир и растительность . . . . .	59
2.7.6. Природные ресурсы Республики Беларусь . . . . .	60
2.8. Особенности воздействия на биосферу Земли природных и техногенных факторов . . . . .	63
2.9. Глобальные проблемы современной цивилизации . . . . .	69
2.9.1. Экологические проблемы современности . . . . .	74
2.9.2. Региональные экологические проблемы стран Содружества Независимых Государств и Республики Беларусь . . . . .	80
2.10. Экологическое нормирование и оценка качества окружающей среды . . . . .	85
2.11. Основные принципы, методы и средства защиты окружающей среды от загрязнения и истощения природных ресурсов . . . . .	87
2.11.1. Утилизация и захоронение отходов . . . . .	89
2.11.2. Методы и средства защиты воздушного бассейна . . . . .	91
2.11.3. Защита водных ресурсов от загрязнения сточными водами . . . . .	96
2.11.4. Охрана недр и почв . . . . .	101
2.11.5. Охрана и защита лесов . . . . .	102

2.12. Закономерности и принципы природопользования . . . . .	103
2.13. Система управления охраной окружающей среды и природопользованием . . . . .	106
2.13.1. Контроль и надзор в области охраны окружающей среды. . . . .	109
2.13.2. Ответственность за экологические правонарушения . . . . .	110
2.13.3. Мониторинг в области окружающей среды . . . . .	111
2.13.4. Экологическая экспертиза . . . . .	112
2.13.5. Экологический аудит . . . . .	113
2.14. Международное сотрудничество в области экологии . . . . .	114
<b>3. Охрана труда . . . . .</b>	<b>119</b>
3.1. Предмет охраны труда . . . . .	119
3.2. Правовые и организационные вопросы охраны труда . . . . .	120
3.2.1. Законодательные и нормативные акты . . . . .	120
3.2.2. Надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде . . . . .	121
3.2.3. Организация охраны труда на производстве . . . . .	122
3.2.4. Расследование и учет несчастных случаев на производстве . . . . .	126
3.2.5. Методы изучения и анализ причин производственного травматизма . . . . .	132
3.3. Основы техники безопасности . . . . .	134
3.3.1. Основные причины несчастных случаев на производстве . . . . .	135
3.3.2. Защита от поражения электрическим током . . . . .	135
3.3.3. Защита от статического электричества . . . . .	166
3.3.4. Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона . . . . .	172
3.3.5. Защита от постоянного и переменного магнитного поля . . . . .	187
3.3.6. Защита от лазерных излучений . . . . .	190
3.3.7. Защита от ультрафиолетового излучения . . . . .	196
3.3.8. Защита от инфракрасного излучения . . . . .	198
3.3.9. Защита от ионизирующих излучений . . . . .	199
3.3.10. Защита от опасных и вредных факторов при работе с компьютерами . . . . .	222
3.3.11. Эргономические требования к организации и конструкции рабочих мест . . . . .	228
3.3.12. Требования безопасности к сосудам, работающим под давлением . . . . .	235
3.3.13. Требования безопасности при эксплуатации подъемно-транспортных средств . . . . .	245
3.4. Основы производственной санитарии . . . . .	250
3.4.1. Оздоровление воздушной среды . . . . .	250
3.4.2. Ионизация воздуха рабочей зоны . . . . .	254
3.4.3. Метеорологические условия труда . . . . .	256
3.4.4. Вентиляция производственных помещений . . . . .	261
3.4.5. Производственное освещение . . . . .	269
3.4.6. Защита от производственных вибраций . . . . .	285

3.4.7. Защита от шума . . . . .	290
3.4.8. Защита от ультра- и инфразвука . . . . .	306
3.5. Основы пожарной безопасности . . . . .	308
3.5.1. Социально-экономическое значение пожарной безопасности. Основные причины пожаров. . . . .	308
3.5.2. Теоретические основы горения. Опасные факторы пожара . . . . .	309
3.5.3. Взрыво- и пожароопасные свойства веществ . . . . .	311
3.5.4. Категории производств по взрыво- и пожаро- опасности . . . . .	314
3.5.5. Принципы, способы и средства обеспечения пожарной безопасности . . . . .	316
3.5.6. Противопожарные мероприятия в системах отоп- ления, вентиляции, освещения и в электроустановках . . . . .	317
3.5.7. Пожарная сигнализация . . . . .	319
3.5.8. Противопожарные мероприятия в зданиях . . . . .	319
3.5.9. Способы и средства тушения пожаров . . . . .	321
3.5.10. Противопожарное водоснабжение. Автоматиче- ское тушение пожаров . . . . .	324
3.5.11. Средства пожаротушения . . . . .	327
3.5.12. Организация пожарной охраны . . . . .	329
Литература . . . . .	331

**Учебное издание**

**Михнук Тимофей Федорович**

**ОХРАНА ТРУДА И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**

**Учебное пособие**

**Редактор Н.А. Гришакова**

**Художественный редактор В.А. Ярошевич**

**Технический редактор Л.И. Счисленок**

**Корректоры В.И. Аверкина, Т.К. Хваль**

**Компьютерная верстка Е.А. Котлинский**

Подписано в печать 23.03.2007. Формат 84×108/32. Бумага офсетная. Гарнитура «Нимбус». Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,64. Уч.-изд. л. 18,66. Тираж 3000 экз. Заказ 978.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”». ЛИ № 02330/0131768 от 06.03.2006. 220048. Минск, проспект Победителей, 11.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Белорусский Дом печати”». 220013. Минск, проспект Независимости, 79.