

Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности

курс лекций

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Тема 1. Взаимодействие человека со средой обитания | 4 |
| 1.1. Неблагоприятные факторы среды обитания | 4 |
| 1.2. Классификация факторов среды обитания..... | 6 |
| 1.3. Системы восприятия и компенсации организмом человека изменений факторов среды обитания..... | 9 |
| Тема 2. Защита организма человека от неблагоприятного действия опасных и вредных факторов среды обитания..... | 21 |
| 2.1. Естественные системы защиты организма..... | 21 |
| 2.2. Некоторые основные законы, лежащие в основе оценки неблагоприятного действия опасных и вредных факторов среды обитания на организм человека | 25 |
| 2.3. Допустимое воздействие опасных и вредных факторов на человека..... | 28 |
| Тема 3. Количественные характеристики органов чувств организма человека..... | 32 |
| 3.1. Чувствительность наших органов чувств | 32 |
| 3.2. Время реакции человека к действию раздражителей..... | 47 |
| 4. Производственные яды и отравления | 48 |
| 4.1. Понятие о производственном (промышленном) яде и отравлении | 48 |
| 4.2. Пути поступления и судьба ядов в организме..... | 50 |
| 4.3. Факторы, определяющие действие ядов на организм | 52 |
| 4.4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. | 58 |
| 4.5. Классификация производственных ядов | 58 |
| 4.6. Общие методы борьбы с профессиональными отравлениями | 59 |
| 4.6.1. Устранение яда из технологического процесса..... | 59 |
| 4.6.2. Совершенствование технологии и оборудования | 60 |
| 4.6.3. Гигиенические и санитарно-технические мероприятия | 60 |
| 4.6.4. Законодательные санитарные и лечебно-профилактические мероприятия | 60 |
| 4.7. Важнейшие промышленные яды..... | 61 |
| 4.7.1. Свинец – Pb | 61 |
| 4.7.2. Тетраэтилсвинец – Pb(C ₂ H ₅) ₄ | 63 |
| 4.7.3. Ртуть – Hg | 64 |
| 4.7.4. Марганец – Mn..... | 66 |
| 4.7.5. Хлор-, фтор-, серо- и азотосодержащие соединения | 67 |
| 4.7.6. Окись углерода – CO | 68 |
| 4.7.7. Ароматические углеводороды | 69 |
| 4.7.8. Хлорированные углеводороды..... | 70 |
| Тема 5. Метеорологические условия на производстве | 71 |
| 5.1. Метеорологические условия и их особенности | 71 |
| 5.2. Терморегуляция организма и ее нарушения при работе..... | 73 |
| 5.3. Влияние производственных метеорологических условий на состояние организма | 75 |
| Тема 6. Лучистая энергия на производстве | 79 |
| 6.1. Электромагнитные волны радиочастот | 79 |
| 6.2. Световые и пограничные с ними лучи..... | 81 |
| 6.3. Ионизирующие излучения | 82 |
| Тема 7. Лазерное излучение | 85 |
| 7.1. Функциональная схема и некоторые характеристики лазеров. | 85 |
| 7.2. Основные закономерности поглощения лазерного излучения живой тканью | 86 |
| 7.3. Действие лазерного излучения на глаза | 88 |
| 7.4. Воздействие лазерного излучения на кожу..... | 90 |
| 7.5. Побочные биологические явления, возникающие при работе лазерных установок..... | 91 |

| | |
|--|-----|
| 7.6. Меры обеспечения безопасности при работе с лазерами | 92 |
| ТЕМА 8. Шум, ультразвук, вибрация..... | 94 |
| 8.1. Шум и его влияние на организм человека..... | 94 |
| 8.2. Ультразвук и его влияние на организм человека..... | 97 |
| 8.3. Вибрация и её влияние на организм человека | 98 |
| Библиографический список | 101 |

ТЕМА 1.ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА СО СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ

1.1. Неблагоприятные факторы среды обитания

Единство человека и окружающей среды обеспечивается активным поведением организма, направленным на преодоление неблагоприятных факторов среды обитания с целью достижения оптимального взаимодействия. В каждом организме заложена сложившаяся в процессе эволюции, закодированная в генетическом аппарате и передаваемая по наследству программа его жизни. В соответствии с этой программой происходит зарождение, развитие и разнообразные формы деятельности организма, которые у человека чрезвычайно усложняются социальными компонентами его природы и жизни, часто изменяющими (вплоть до сильного искажения) нормальную биологическую видовую программу.

Если человек, во первых, получил от своих предков нормальный генотип, во вторых, условия существования содержат все необходимые для его реализации компоненты и, в третьих, в течение жизни он не подвергается воздействиям, нарушающим процессы жизнедеятельности, то происходит лишь постепенное “изнашивание” организма, его старение и “естественная смерть “ в эволюционно определенные для данного биологического вида сроки.

Однако для человека таких идеальных ситуаций практически почти не существует. Обычно человек получает от предков генетическую программу с более или менее выраженными отклонениями от идеального прототипа и в процессе онтогенеза (развития, жизни) подвергается различным возмущающим воздействиям, превышающим его защитные возможности и приводящим к нарушению течения жизненных процессов. Эти воздействия могут повреждать и саму генетическую программу индивида. В таких случаях возникают болезни, изменения, которые могут сократить срок жизни, а иногда привести к гибели человека.

Жизнедеятельность человека обеспечивается свойством организма адекватно реагировать на воздействие факторов окружающей среды, включая физические, химические и биологические воздействия, межличностное взаимодействие, интеллектуальное напряжение, причем определяющая роль в формировании приспособительных реакций и сохранение функциональных возможностей принадлежит нервной системе.

На сегодняшний день перечень реально действующих негативных факторов среды обитания (производственной, бытовой и природной) насчитывает более 100 видов. К наиболее распространенным и обладающим достаточно высокими уровнями воздействия относятся вредные факторы: запыленность и загазован-

ность воздуха, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, повышенные и пониженные атмосферные параметры (температура, влажность, подвижность воздуха, давление), недостаточное и нерациональное освещение, монотонность деятельности, тяжелый физический труд, токсичные вещества, загрязненная вода и продукты питания и др.; опасные факторы: огонь, ударная волна, горячие и переохлажденные поверхности, электрический ток, средства транспорта, транспортируемые грузы, подвижные части машин, отравляющие вещества, острые и падающие предметы, острое ионизирующее облучение, укусы животных и др.

К негативным (патогенным) факторам следует отнести также дефицит в окружающей среде или в организме человека веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности (йод).

Опасность, вредность, патогенность фактора (раздражителя) может быть обусловлена следующими особенностями:

а) необычной для организма природой фактора, исключающей возможность адекватных реакций (вирулентные микробы, различные яды, радиация и др.);

б) патогенными, чрезвычайными могут быть раздражители, обычные по своей природе, но выходящие по интенсивности за пределы диапазона физиологических приспособительных возможностей (чрезвычайно высокие или низкие температуры, сильные механические воздействия, острые психоэмоциональные перегрузки, избыточное или недостаточное содержание в пище необходимых ингредиентов, кислорода в воздухе и т.д.);

в) обычный раздражитель может стать чрезвычайным в связи с чрезмерной длительностью воздействия на организм или нарушением естественных биоритмов (длительное шумовое воздействие или полная тишина, одиночество, пребывание в темноте, хроническая нервно-психическая перегрузка и т.п.);

г) особое место занимают безвредные, индифферентные по своим параметрам воздействия факторы, в том числе не материального, а информационного характера, ранее сочетавшиеся с действием на организм какого-либо патогенного фактора. По механизму условного рефлекса такие воздействия могут (иногда даже после однократного сочетания) сами стать патогенными. Подобный механизм лежит, например, в основе тошноты при виде или попытке съесть пищу, однажды вызвавшую рвоту в связи с перееданием или недоброкачественностью. Подобный механизм может лежать в основе приступов стенокардии или бронхиальной астмы и др. Широко известна способность слова, вызывать разнообразные расстройства в организме, так называемые «ятрогенные болезни» (греч. *iatros* – врач);

д) в некоторых случаях одна и та же болезнь может возникнуть под действием различных по своей природе факторов. В таких случаях говорят о «полиэтиологии» болезни. Например, причиной злокачественного роста могут быть: химические канцерогены, вирусы, ионизирующие излучения, ультрафиолетовое излучение и др. Однако «полиэтиология» для данного конкретного случая является относительным понятием, т.к. каждый конкретный случай опухоли имеет свою определенную причину.

В то же время один и тот же фактор может приводить к различным результатам в зависимости от условий, в которых происходит взаимодействие с организмом.

Например, одна и та же повышенная температура среды при низкой влажности не вызовет никаких расстройств жизнедеятельности, а в условиях высокой влажности может стать для организма чрезвычайной и привести к тепловому удару. При пониженной температуре неподвижный воздух не вызовет обморожения, а при наличии ветра такое может произойти. При этом очевидно, что влажность сама по себе никак не может вызвать теплового удара, а движение воздуха – обморожение.

Наряду с условиями исключительно большое значение имеют свойства самого организма, подвергающегося воздействию факторов – в частности реактивность организма и обусловленная ею резистентность (устойчивость).

Реактивность организма – это совокупность его свойств, определяющих качественные и количественные особенности реакций на определенные воздействия. В зависимости от видовой, возрастной, половой, конституциональной, индивидуальной реактивности одни и те же раздражители могут вызывать тяжелые расстройства жизненных процессов, вплоть до гибели организма, в то время как в других случаях воздействия реакции лишь слабо выражены или вообще отсутствуют. Особенно ярко эта зависимость проявляется на примере различных аллергических реакций, когда именно измененная реактивность становится основой патологии.

Реактивность организма не имеет значения лишь тогда, когда организм подвергается воздействию исключительных, экстремальных разрушающих или повреждающих факторов, превосходящих самую высокую степень сопротивляемости организма и его способность к адаптации.

1.2. Классификация факторов среды обитания

В производственных и бытовых условиях на человека воздействует одновременно, как правило, несколько негативных факторов.

Приведём их классификацию по ряду признаков (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Классификация факторов среды обитания

| Признак классификации | Вид (класс) |
|--|--|
| 1 | 2 |
| По видам источников возникновения факторов | Естественные Антропогенные Техногенные |
| По видам потоков в жизненном пространстве | Энергетические Массовые Информационные |
| По величине потоков в жизненном пространстве | Допустимые Предельно допустимые Опасные Чрезвычайно опасные |
| По моменту возникновения фактора | Прогнозируемые Спонтанные |
| По длительности воздействия фактора | Постоянные Переменные, периодические Кратковременные |
| По объектам негативного воздействия | Действующие на человека Действующие на природную среду Действующие на материальные ресурсы Комплексного воздействия |
| По количеству людей, подверженных воздействию фактора | Личные Групповые (коллективные) Массовые |
| По размерам зоны воздействия | Локальные Региональные Межрегиональные Глобальные |
| По видам зон воздействия | Действующие в помещении Действующие на территориях |
| По способности человека идентифицировать факторы органами чувств | Ощущаемые Неощущаемые |
| По виду негативного воздействия на человека | Вредные Опасные (травмоопасные) |

Жизнь человека, его трудовая деятельность протекают в окружающей его природной или производственной среде, которая при несоблюдении гигиенических требований может оказывать неблагоприятное влияние на здоровье и работоспособность человека.

Производственная среда как часть окружающей человека внешней среды складывается из:

- 1.) природно-климатических факторов;
- 2.) факторов, связанных с профессиональной деятельностью.

Производственные факторы подразделяются на опасные и вредные. Опасными называется совокупность негативных факторов производственной среды, способных при определенных условиях привести к травме (несчастному случаю) или другому резкому ухудшению здоровья (острое отравление).

Вредными называется совокупность негативных факторов, характеризующих рабочую зону, воздействие которых отрицательно влияет на работоспособность, вызывает профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия.

В соответствии с **ГОСТ 12.0.003 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»** факторы делятся на 4 группы:

I. Физические производственные факторы:

- 1) повышенная или пониженная температура, влажность, скорость движения воздуха;
- 2) повышенный уровень различных видов излучений (ультрафиолетового, лазерного, электромагнитного, инфракрасного, ионизирующего);
- 3) статическое электричество;
- 4) запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- 5) повышенный уровень шума, вибрации, ультразвука, инфразвука;
- 6) недостаточная освещенность или нерациональное освещение рабочей зоны;
- 7) повышенное или пониженное атмосферное давление и т.д.

II. Химические факторы:

общетоксические, раздражающие, sensibilizing, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

III. Биологические факторы:

- 1) микро и макроорганизмы (микробы, вирусы, животные и т.д.);
- 2) витамины, гормоны, антибиотики, вещества белковой природы.

IV. Психофизиологические факторы:

- 1) физические перегрузки – подъем и перенос тяжестей, неудобное положение тела, длительное давление на кожу, суставы, мышцы, кости;

2) нервно-психические перегрузки – умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки, монотонность труда и т.д.

1.3. Системы восприятия и компенсации организмом человека изменений факторов среды обитания.

Человеку необходимы постоянные сведения о состоянии и изменениях внешней среды, переработка этой информации и составление программ жизнеобеспечения.

Возможность получать информацию об окружающей среде, способность ориентироваться в пространстве и оценивать свойства окружающей среды обеспечиваются анализаторами (сенсорными системами), которые представляют собой системы ввода информации в мозг для анализа этой информации.

В коре головного мозга – высшем звене центральной нервной системы анализируется поступающая из внешней среды информация и осуществляется выбор или разработка программы ответной реакции. В ответ на изменение состояния внешней среды в организме человека формируется информация о необходимости изменения организации жизненных процессов таким образом, чтобы это внешнее изменение не привело к повреждению и гибели организма. Например, в ответ на повышение температуры внешней среды, которое может привести к повышению температуры тела и далее к необратимым изменениям в органах (коре головного мозга, органах зрения, почках), возникают реакции компенсаторного характера. Они могут быть поведенческими – внешними (уход в более прохладное место) или внутренними – снижение теплопродукции, повышение теплоотдачи.

Датчиками сенсорных систем являются специальные структурные образования нервных волокон, называемые *рецепторами*. Они представляют собой образования, предназначенные для трансформации внешней энергии различных видов раздражителей в специфическую активность нервной системы. Часть из них воспринимают изменения в окружающей среде (экстеро-рецепторы), а часть – во внутренней (интерорецепторы).

В зависимости от природы раздражителя, на который они настроены, рецепторы подразделяются на:

1) механорецепторы, представляющие периферические отделы соматической, скелетно-мышечной и вестибулярной систем. К ним относятся слуховые, вестибулярные, гравитационные, тактильные рецепторы кожи и опорно-двигательного аппарата, барорецепторы сердечно-сосудистой системы;

- 2) терморецепторы, воспринимающие температурные изменения. Они объединяют рецепторы кожи и внутренних органов, а также центральные термочувствительные нейроны в коре мозга;
- 3) хеморецепторы, включающие рецепторы вкуса и обоняния, сосудистые и тканевые рецепторы (например, глюкозные рецепторы, воспринимающие изменение уровня сахара в крови);
- 4) фоторецепторы, настроенные на восприятие света;
- 5) болевые рецепторы.

Согласно психофизиологической классификации рецепторов, по характеру ощущений, различают зрительные, слуховые, обонятельные, осязательные рецепторы, рецепторы боли, рецепторы положения тела в пространстве (проприо- и вестибулорецепторы).

Морфологически рецепторы представляют собой клетку, снабженную подвижными волосками или ресничками (подвижными антеннами), обеспечивающими чувствительность рецепторов. Например, для возбуждения фоторецепторов достаточно 5 – 10 квантов света, а для возбуждения обонятельных рецепторов – одной молекулы вещества.

При постоянном воздействии раздражителя происходит адаптация рецептора и его чувствительность снижается. Однако, когда действие постоянного раздражителя прекращается, чувствительность рецептора растет снова. Для адаптации рецепторов нет единого общего закона и в каждой сенсорной системе может быть свое сочетание факторов, определяющих изменение возбудительного процесса в анализаторе. Различают быстро адаптирующиеся (тактильные, барорецепторы) и медленно адаптирующиеся рецепторы (хеморецепторы, фоторецепторы). Вестибулорецепторы и проприорецепторы не адаптируются.

Полученная рецепторами информация, закодированная в нервных импульсах, передается по нервным путям в центральные отделы соответствующих анализаторов и используется для контроля со стороны нервной системы, координирующей работу исполнительных органов. Иногда поступающая информация непосредственно переключается на исполнительные органы. Такой принцип переработки информации заложен в основу многих безусловных рефлексов (врожденных, наследственно передающихся). Например, сокращение мышц конечностей, раздражаемых электрическим током, теплотой или химическими веществами, вызывает реакцию удаления конечности от раздражителя. Вместе с тем, безусловный рефлекс также представляет собой сложную многокомпонентную реакцию в ответ на адекватное раздражение, приложенное к определенному рецептивному полю.

При длительном воздействии раздражителя на основе приобретенного опыта формируются условные рефлексы. Они непостоянны, вырабатываются на базе безусловных. Для образования условного рефлекса необходимо сочетание во времени какого-либо изменения среды, воспринятого корой больших полушарий, подкрепленного безусловным рефлексом.

Характер изменений в организме зависит от продолжительности внешних воздействий. Например, кратковременное снижение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе вызывает лишь учащение дыхания и увеличение кровотока, чем и обеспечивается снабжение тканей кислородом. При компенсации длительно действующего гипоксического фактора участвуют совсем другие механизмы, так, например, они обеспечивают акклиматизацию в условиях высокогорья. У человека в горах повышается транспортная функция крови (увеличивается количество эритроцитов и изменяется тканевое дыхание, – усиливается анаэробное дыхание, повышается активность ферментов окислительного фосфорилирования, то есть оптимизируется энергетический метаболизм на клеточном и субклеточном уровне).

В большинстве случаев изменения в организме в ответ на состояние внешней среды происходят при участии нескольких анализаторов, и практически невозможно провести четкие границы между ними, особенно на уровне центральной нервной системы. Например, в регуляции позы участвуют вестибулярный аппарат, гравитационные и проприорецепторы мышц, тактильные рецепторы кожи, рецепторы органа зрения. Поэтому те участки нервной системы, в которых происходит синтез первичной информации, ее окончательный анализ и сравнение полученного результата с ожидаемым (так называемое «опознание» образов) функционируют как единое целое. В этом случае разделение анализаторных систем невозможно еще и потому, что все они имеют один и тот же исполнительный механизм – опорно-двигательный аппарат.

Человек обладает рядом специализированных периферических образований – органов чувств, обеспечивающих восприятие энергий и других свойств раздражителей из окружающей среды. К ним относятся органы зрения, слуха, обоняния, вкуса, осязания. Не следует смешивать понятие «орган чувств» и «рецептор», воспринимающий раздражение. Например, глаз – это орган зрения, а *сетчатка* – фоторецептор, один из компонентов органа зрения; помимо сетчатки, в состав органа зрения входят преломляющие среды глаза, различные его оболочки, мышечный аппарат. Понятие «орган чувств» является в значительной мере условным, так как он сам по себе не может обеспечить ощущение. Для возникновения субъективного ощущения необходимо, чтобы возбуждение, возникшее в рецепторах,

поступило в ЦНС – специальные отделы коры больших полушарий. Именно с деятельностью высших отделов мозга связано возникновение субъективных ощущений.

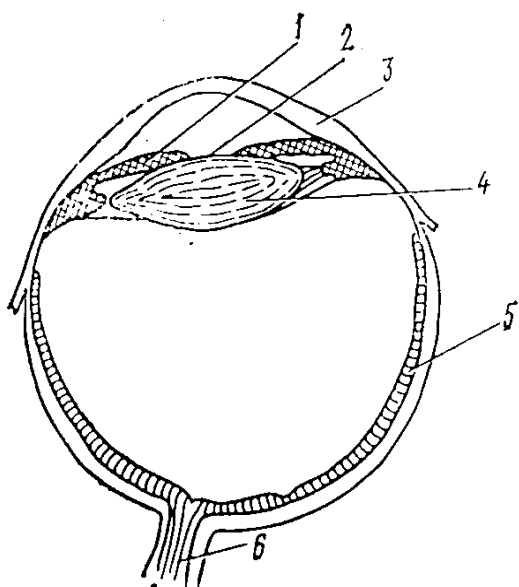
Органы зрения играют исключительную роль в жизни человека. Посредством зрения мы познаем форму, величину, цвет предмета, направление и расстояние, на котором он находится. Зрительный анализатор – это глаза, зрительные нервы и зрительный центр, располагающийся в затылочной доле коры головного мозга.

Назначение зрительного анализатора – это прием и анализ информации в световом диапазоне (380 – 770 нм). Строение глаза показано на рис. 1.1. Свет, проходя через отверстие в радужной оболочке 1, называемое зрачком 2 и имеющее диаметр 2 – 8 мм, преломляется роговицей 3 и хрусталиком 4. В результате на сетчатке 5, выстилающей внутреннюю поверхность глазного яблока, образуется четкое изображение внешних объектов. В сетчатке с помощью фоторецепторов (палочек и колбочек) изображение преобразуется в биоэлектрические сигналы.

Палочки являются аппаратом ахроматического зрения, колбочки – хроматического. Палочки имеют диаметр около 2 мкм и длину около 60 мкм, их общее количество 120 – 125 млн. Диаметр колбочек 6 – 7 мкм, длина 35 мкм и общее их количество 3 – 6 млн. В месте выхода из глаза зрительного нерва 6 (см. рис. 1.1.)

называемого слепым пятном, фоторецепторы отсутствуют и ощущения света не возникает.

Сложное строение сетчатки, содержащей несколько слоев специализированных клеток различного назначения, обеспечивает предварительную обработку информации. Для дальнейшей обработки выходные сигналы по зрительному нерву, содержащему $(8-10) \cdot 10^5$ волокон, передаются в зрительный корковый центр. Зрительная система человека имеет механизмы,



Р и с. Строение глаза обеспечивающие ее настройку в соответствии с внешними условиями: направление глаз на воспринимаемый объект осуществляется с помощью глазодвигательных мышц, резкое изображение на сетчатке разно удаленных объектов получается благодаря изменениям кривизны хрусталика, количество света, попадающего в глаз, регулируется диаметром зрачка, при значитель-

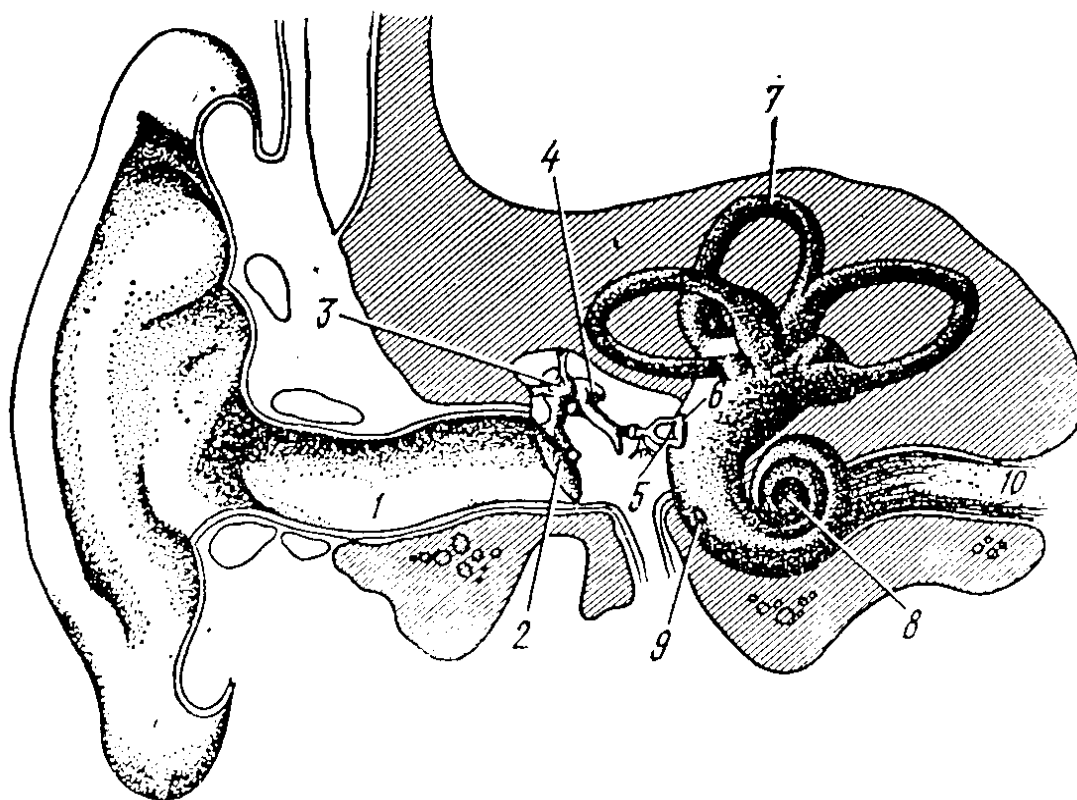
ных изменениях яркости воспринимаемых объектов изменяется чувствительность фоторецепторов (процесс адаптации).

Свет, проникающий в глаз, воздействует на фотохимическое вещество элементов сетчатки (палочки и колбочки) и разлагает его. Достигнув определенной концентрации, продукты распада раздражают нервные окончания, заложенные в палочках и колбочках. Возникающие при этом электрические импульсы по волокнам зрительного нерва поступают в нервные клетки зрительного бугра, и мы видим цвет, форму и величину предметов.

Глаз чувствителен к видимому диапазону спектра электромагнитных колебаний (380 – 770 нм).

Слух – способность организма воспринимать и различать звуковые колебания. Эта способность воплощается слуховым анализатором. Человеческому уху доступна область звуков, то есть механических колебаний с частотой от 16 до 20000 Гц. Граница слышимости в отдельных случаях может быть шире, до 25000 Гц.

Ухо представляет собой воспринимающую часть звукового анализатора. Оно имеет три отдела: наружное, среднее и внутреннее ухо. Строение уха человека изображено на рис. 1.2.



Р и с. 1.2. Строение уха:

1 – слуховой проход; 2 – барабанная перепонка; 3 – молоточек; 4 – наковальня; 5 – стремечко; 6 – овальное окно; 7 – полукружные каналы; 8 – улитка; 9 – круглое окно; 10 – слуховой нерв.

Колебания внешней среды (воздуха) через слуховой проход 1, выполняющий роль резонатора и предохраняющий внутренние части уха, воздействует на барабанную перепонку 2, которая через соединенные между собой косточки: молоточек 3, наковальню 4 и стремечко 5 передает колебания внутреннему уху. В процессе передачи начальное давление возрастает в 90 раз. За овальным окном 6 колебания распространяются в жидкости, заполняющей улитку 8, вызывают колебания основной мембраны, разделяющей улитку на две части, и в органе Корти преобразуются в электрические сигналы, передаваемые по слуховому нерву 10 в мозг.

Кортиев орган – это, по существу, рецептор, способный следить за быстрыми, очень незначительными изменениями давления окружающей среды. Быстрые сжатия и мгновенные падения давления в звуковой волне, улавливаемые рупором наружного уха, воздействуют на барабанную перепонку. Ее колебания через цепь слуховых косточек передаются на лабиринтную жидкость, доходя таким образом до кортиева органа. Волокна кортиева органа испытывают острый резонанс, раздражая при этом соответствующие рецепторы слухового нерва. Иначе говоря, орган слуха работает как сложная механическая колебательная система.

В среднем ухе имеются мышцы, предохраняющие ухо от повреждений при слишком сильных звуках путем компенсации повышенного внешнего давления за счет воздействия на молоточек, наковальню, стремечко и барабанную перепонку.

Орган слуха воспринимает далеко не все многочисленные звуки окружающей среды. Частоты, близкие к верхнему и нижнему пределам слышимости, вызывают слуховое ощущение лишь при большой интенсивности и по этой причине обычно не слышны. С другой стороны, звуки очень интенсивные могут вызвать боль в ухе и даже повредить слух.

Механизм защиты слухового анализатора от повреждения при воздействии интенсивных звуков предусмотрен анатомическим строением среднего уха, системой механического передаточного звена, так как система слуховых косточек и мышц среднего уха ответственна за появление акустического рефлекса в ответ на интенсивный звуковой раздражитель. Возникновение акустического рефлекса обеспечивает защиту чувствительных структур улитки внутреннего уха от разрушения. Скрытый период возникновения акустического рефлекса приблизительно равен 15 мс.

Таким образом, орган слуха выполняет две задачи: обеспечивает организм информацией и обеспечивает самосохранение, то есть противостоит повреждающему действию акустического сигнала.

Обоняние – способность воспринимать диапазон запахов (до 400 наименований), осуществляется посредством обонятельного анализатора, рецептором которого являются нервные клетки, расположенные в слизистой оболочке верхнего и, отчасти, среднего носовых ходов. Человек обладает различной степенью обоняния к пахучим веществам, к некоторым веществам чувствительность особенно высокая. Например, мускус, а также ванилин вызывают ощущение при содержании их в количестве 0,001 мг в 1 м³ воздуха.

Запахи способны вызывать отвращение к пище, обострять чувствительность нервной системы, способствовать состоянию подавленности, повышенной раздражительности. Сероводород, бензин и другие вещества могут вызвать отрицательные реакции вплоть до тошноты, рвоты, обморока. Обнаружено, что запах бензола обостряет слух, а индол притупляет слуховое восприятие, запах толуола обостряют зрительную функцию в сумерках, запах камфары повышает чувствительность зрительной рецепции зеленого цвета, снижает – красного.

Вкус – ощущение, возникающее при воздействии раздражителей на специфические рецепторы, расположенные на различных участках языка. Вкусовое ощущение складывается из восприятия кислого, соленого, сладкого и горького; вариации вкуса являются результатом комбинации основных перечисленных ощущений.

Различные участки языка имеют неодинаковую чувствительность к вкусовым веществам: кончик языка более чувствителен к сладкому, края языка – к кислому, кончик и края – к соленому, корень языка наиболее чувствителен к горькому.

Механизм восприятия вкусовых веществ связывают со специфическими химическими реакциями на границе вещество – вкусовой рецептор. Предполагают, что каждый рецептор содержит высокочувствительные белковые вещества, распадающиеся при воздействии определенных вкусовых веществ. Возбуждение от вкусовых рецепторов передается в ЦНС по специфическим проводящим путям.

Осязание – сложное ощущение, возникающее при раздражении рецепторов кожи, слизистых оболочек и мышечно-суставного аппарата. Кожный анализатор обеспечивает восприятие прикосновения (слабого давления), боли (при механическом, тепловом, химическом, электрическом и других раздражителях), температуры и вибрации. Для каждого из этих ощущений (кроме вибрации) в коже имеются специфические рецепторы либо их роль выполняют свободные нервные окончания. Основная роль в ощущении принадлежит тактильной рецепции – прикосновению и давлению.

Кожа – внешний покров тела представляет собой орган с весьма сложным строением, выполняющий ряд важных жизненных функций. Кроме защиты организма от вредных внешних воздействий, кожа выполняет рецепторную, секреторную, обменную функции, играет значительную роль в терморегуляции и др.

В коже различают два слоя: верхний, эпителиальный (эпидермис) и нижний – соединительно-тканый (собственно кожа – дерма). В коже имеется большое количество кровеносных и лимфатических сосудов. Нервный аппарат кожи состоит из многочисленных пронизывающих дерму нервных волокон и особых концевых образований.

Одной из основных функций кожи является защитная. Так, растяжение, давление, ушибы обезвреживаются упругой жировой подстилкой и эластичностью кожи. Нормальный роговой слой предохраняет глубокие слои кожи от высыхания и весьма устойчив по отношению к различным химическим веществам. Пигмент меланин, поглощающий ультрафиолетовые лучи, предохраняет кожу от воздействия солнечного света. Особенно большое значение имеют стерилизующие свойства кожи и устойчивость к различным микробам; неповрежденный роговой слой непроницаем для инфекций, а кожное сало и пот создают кислую среду, неблагоприятную для многих микробов. Эта спасительная кислотность – результат деятельности потовых и сальных желез, доставляющих необходимые жирные кислоты. Окисление происходит в роговом веществе, поэтому так важен достаточный приток кислорода для профилактики кожных заболеваний. Кожа «дышит», например, если покрыть человека лаком, он начинает задыхаться.

Важной защитной функцией кожи является ее участие в терморегуляции (поддержании нормальной температуры тела), 80% всей теплоотдачи организма осуществляется кожей. При высокой температуре внешней среды кожные сосуды расширяются и теплоотдача конвекцией усиливается. При низкой температуре сосуды сужаются, кожа бледнеет, теплоотдача снижается.

Секреторная функция обеспечивается сальными и потовыми железами. С кожным салом могут выделяться некоторые лекарственные вещества (йод, бром), продукты промежуточного метаболизма, микробных токсинов и эндогенных ядов. Функция сальных и потовых желез регулируется вегетативной нервной системой.

Обменная функция кожи заключается в участии в процессах регуляции общего обмена веществ в организме, особенно, водного, минерального и углеводородного. Считают, что кожу можно условно рассматривать как железу внешней и внутренней секреции, с обширной поверхностью, богато снабженной сосудами, тесно связанную со всеми внутренними органами и другими эндокринными же-

лезами. Кожа и нервная система имеют одно энтодермальное происхождение. Следовательно, кожа – это “периферический мозг”, неутомимый сторож, который всегда на чеку, постоянно извещает центральный мозг о каждой агрессии и опасности.

Ощущение вибрации. При ритмичных последовательных прикосновениях к коже каждое из них воспринимается как отдельное, пока не будет достигнута *критическая частота*, при которой ощущение последовательных прикосновений переходит в специфическое ощущение *вибрации*. В зависимости от условий и места раздражения $f_{кр} = 5-20$ Гц.

При $f > f_{кр}$ от анализа собственно тактильной чувствительности переходят к анализу вибрационной. Частотный диапазон вибрационной чувствительности 5 – 12000 Гц.

Вибрационная чувствительность, по мнению большинства исследователей, обусловлена теми же рецепторами, что и тактильная, поэтому топография распределения вибрационной чувствительности по поверхности тела аналогична тактильной.

Движение головы, её положение в пространстве, а также вибрацию головы ощущает и оценивает вестибулярный аппарат человека. Он представляет собой организованную гидродинамическую систему. В её состав входят три пустотелые кольца неправильной формы (полукружные каналы 7 на рис.1.2), расположенные примерно под прямым углом друг к другу и образующие пространственную систему координат. Каналы заполнены жидкостью (по физическим свойствам близкой к воде) и разделены желеобразными клапанами (купулами) перекрывающими канал и пронизанными нервными окончаниями. Когда человек наклоняется, кивает головой, подвергается воздействию вибрации жидкость по инерции давит на купулы, раздражает нервные окончания в них, которые подают мозгу информацию о характере движения, о вибрации головы.

Размер вестибулярного аппарата приблизительно равен размеру горошины.

При определённых значениях вибрации (определённая амплитуда и частота – например, $f = 7 - 8$ Гц) вестибулярный аппарат начинает подавать на вход нервной системы ложную информацию, не соответствующую характеру движения головы под действием заданной вибрации. Причина этого заключается в накоплении паразитных отклонений купул. Ложная вестибулярная информация может вызвать болезненное состояние укачивания у человека, дезорганизовать работу многих систем организма, связанных с вестибулярным аппаратом при движении тела и пространственном восприятии (головокружение, тошнота, рвота, про-

странственные иллюзии и дезориентация, нарушение координации движений и прочее).

Кинестетический анализатор (проприоцепция) обеспечивает ощущение положения и движений тела и его частей. Имеется три вида рецепторов, воспринимающих:

- а) растяжение мышц при их расслаблении – «мускульные веретена»;
- б) сокращение мышц – сухожильные органы Гольджи;
- в) положение суставов (обуславливающие так называемое «суставное чувство»).

Последние пока неизвестны; предполагается, что их функции выполняют глубинные рецепторы давления, обуславливающие подкожную чувствительность и суставное чувство сводится к подкожным ощущениям давления в определенных местах.

С помощью анализаторов человек получает обширную информацию об окружающем мире, но в коре головного мозга анализируется и оценивается не вся поступающая информация, а наиболее важная. Для организма важен анализ не только внешнего мира, но и то, что происходит в нем самом! Т.е., кроме перечисленных внешних анализаторов существуют анализаторы внутренние, т.е. сенсорная система, которая сигнализирует о деятельности внутренних органов, о состоянии нашей внутренней среды. Это интероцептивный, висцеральный анализатор. Постоянство внутренней среды – условие свободного существования организма.

В настоящее время под внутренней средой принято понимать: кровь, (точнее, плазму крови), лимфу и межклеточную жидкость (ликвору, в том числе и спинно-мозговую жидкость).

Поддержание специфического метаболизма (обмена веществ), т.е. первоосновы жизни, возможно только при поддержании строгого динамического постоянства внутренней среды организма. Этот основополагающий принцип был назван «гомео-стазом».

Можно назвать несколько параметров внутренней среды, поддержание которых особенно важно для жизни. Это содержание кислорода, углекислого газа, водородных ионов, ряда минеральных веществ, градиенты гидростатического давления, температуры и др. Диапазон колебаний этих параметров очень невелик.

Благодаря такому строгому постоянству внутренней среды живое существо может находиться в различных условиях внешней среды. Для обеспечения этого существует регуляторный аппарат, составной частью которого является интероцептивный анализатор, воспринимающий и передающий в ЦНС сигналы не только об изменениях внутренней среды, но и от всех внутренних органов.

Информация, получаемая из внешней и внутренней среды, определяет работу функциональных систем организма и поведение человека.

Помимо сенсорных, в организме функционируют другие системы, которые или морфологически отчетливо оформлены (кровообращения, пищеварения) или являются функциональными (терморегуляции, иммунологической защиты). В таких системах существует автономная регуляция и их можно рассматривать как самостоятельные, саморегулирующие цепи, имеющие собственную обратную связь.

Между всеми системами организма существуют взаимосвязи, и организм человека в функциональном отношении представляет собой единое целое. Одной из важнейших функциональных систем организма является нервная система, которая связывает между собой различные системы и части организма.

Нервная система функционирует по принципу рефлекса. *Рефлексом* называют любую ответную реакцию организма, осуществляющуюся с участием нервной системы.

В случаях экстремального воздействия на организм нервная система формирует защитно-приспособительные реакции, определяет соотношение воздействующего и защитного эффектов. Не менее важным её свойством как саморегулирующей системы является опережающая мобилизация тех нервных импульсов, которые возникают в рецепторах приспособительного эффекта, то есть формирование защитных реакций в организме должно происходить быстрее, чем нарастание действующих раздражителей.

Основным системообразующим фактором для отдельных физиологических систем является *гомеостаз* – стремление к внутреннему уравниванию. *Гомеостаз* – относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма. Человек постоянно приспосабливается к изменяющимся условиям окружающей среды благодаря *гомеостазу* – универсальному свойству сохранять и поддерживать стабильность работы различных систем организма в ответ на воздействия, нарушающие эту стабильность. Любые физиологические, физические, химические или эмоциональные воздействия, будь то температура воздуха, изменение атмосферного давления или волнение, радость, печаль могут быть поводом к выходу организма из состояния динамического равновесия.

Однако, автоматически, на основе единства гуморальных (с использованием ферментов, витаминов, гормонов и т.д.) и нервных механизмов регуляции осуществляется саморегуляция физиологических функций, обеспечивающая поддержание жизнедеятельности организма на постоянном уровне. При малых уров-

нях воздействия раздражителя человек просто воспринимает информацию, поступающую извне. Он видит окружающий мир, слышит его звуки, вдыхает аромат различных запахов, осязает и использует в своих целях воздействие многих факторов.

При высоких уровнях воздействия проявляются нежелательные биологические эффекты. Компенсация изменений факторов среды обитания оказывается возможной благодаря активации систем, ответственных за адаптацию (приспособление).

Гомеостаз и адаптация – два конечных результата, организующих функциональные системы.

Вмешательство внешних механизмов в состояние гомеостаза приводит к адаптивной перестройке, в результате которой одна или несколько функциональных систем компенсируют возможную дискоординацию для восстановления равновесия. Вначале происходит мобилизация функциональной системы, адекватной к данному раздражителю, затем, на фоне некоторого снижения резервных возможностей организма включается система специфической адаптации и обеспечивает необходимое повышение функциональной активности организма. В безвыходных ситуациях, когда раздражитель чрезмерно силен, эффективная адаптация не формируется и сохраняется нарушение гомеостаза, стимулируемый этими нарушениями стресс достигает чрезвычайной интенсивности и длительности; в такой ситуации возможно развитие заболеваний.

В процессе трудовой деятельности человек расплачивается за адаптацию к производственным факторам. Расплата за эффективный труд или оптимальный результат трудовой деятельности носит название «цена адаптации», причем, нередко расплата формируется в виде перенапряжения или длительного снижения функциональной активности механизмов нервной регуляции как наиболее легко ранимых и ответственных за постоянство внутренней среды.

Таким образом, защитные приспособительные реакции имеют три стадии:

- 1) нормальная физиологическая реакция;
- 2) нормальная адаптационная реакция;
- 3) патофизиологические адаптационные изменения с вовлечением в процесс анатомо-морфологических структур (структурные изменения на клеточно-тканевом уровне).

ТЕМА 2. ЗАЩИТА ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ.

2.1. Естественные системы защиты организма

В организме человека функционирует ряд систем обеспечения безопасности. К ним относятся некоторые органы чувств: глаза, уши, нос; костно-мышечная система; кожа; система иммунной защиты; боль, а также защитно-приспособительные реакции, такие как воспаление и лихорадка. Защитно-приспособительные реакции направлены на сохранение постоянства внутренней среды организма и адаптацию его к условиям существования, они регулируются рефлекторным и гуморальным (гормоны, ферменты и т.д.) путем. Например, глаза имеют веки - две кожно-мышечные складки, закрывающие глазное яблоко при смыкании. Веки несут функцию защиты глазного яблока, рефлекторно предохраняя орган зрения от чрезмерного светового потока, механического повреждения, способствует увлажнению его поверхности и удалению со слезой инородных тел. Уши при чрезмерно громких звуках обеспечивают защитную реакцию: две самые маленькие мышцы нашего среднего уха резко сокращаются и три самые маленькие косточки (молоточек, наковальня и стремечко) перестают колебаться совсем, наступает блокировка и система косточек не пропускает во внутреннее ухо чрезмерно сильных звуковых колебаний.

Чихание относится к группе защитных реакций и представляет форсированный выдох через нос (при кашле – форсированный выдох через рот). Благодаря высокой скорости воздушная струя уносит из полости носа попавшие туда инородные тела и раздражающие агенты.

Слезотечение возникает при попадании раздражающих веществ на слизистую оболочку верхних дыхательных путей: носа, носоглотки, трахеи и бронхов. Слеза выделяется не только наружу, но и попадает через слезоносный канал в полость носа, смывая тем самым раздражающее вещество (поэтому «хлюпают» носом при плаче).

Боль возникает при нарушении нормального течения физиологических процессов в организме, при раздражении рецепторов, при повреждении органов и тканей вследствие воздействия вредных факторов. Боль является сигналом опасности для организма и одновременно боль – это защитное приспособление, вызывающее специальные защитные рефлексы и реакции. Субъективно человек воспринимает боль как тягостное, гнетущее ощущение. Объективно боль сопровождается некоторыми вегетативными реакциями (расширение зрачков, повышение

кровенного давления, бледность кожных покровов лица и др.). При боли увеличивается выделение биологически активных веществ (например, в крови увеличивается концентрация адреналина). Боль заставляет человека принять меры для сохранения здоровья. Для боли нет специфических по виду энергии адекватных раздражителей. Это могут быть и механические, и тепловые, и химические воздействия. Болевая чувствительность присуща практически всем частям нашего тела. Характер болевых ощущений зависит от особенностей конкретного органа и силы разрушительного воздействия. Например, боль при повреждении кожи отличается от головной боли, при травме нервных стволов возникает жгучее болевое ощущение – *каузалгия*. Болевое ощущение как защитная реакция нередко указывает на локализацию процесса.

В зависимости от локализации различают два типа симптоматических болевых ощущений:

1) висцеральные боли появляются при заболевании или травме внутренних органов (сердце, желудок, печень, почки и др.), для них характерно сильное болевое ощущение и широкая иррадиация, возможна «отраженная боль», которая ощущается далеко от проекции пораженного органа, иногда в другой части тела;

2) соматические боли возникают при патологических процессах в коже, костях, мышцах, они локализованы и наиболее отчетливо выполняют функцию естественной защиты информационным способом.

Лихорадка – повышение температуры – тоже защитная реакция организма. Некоторые микроорганизмы (кокки, спирохеты) и вирусы гибнут при повышении температуры. Так возбудитель сифилиса – бледная трепонема, погибает при повышении температуры тела до 40⁰С. Поэтому в начале века, когда не были известны антибиотики, больных сифилисом намеренно заражали малярией, которая сопровождается резкими подъемами температуры. Высокая температура может снизить резистентность (устойчивость) некоторых бактерий (например, туберкулезной палочки) к лекарствам. При лихорадке стимулируются обменные процессы в клетках. Наблюдается, в частности повышение барьерной и антитоксической функции печени, усиливается диурез и, следовательно, вывод токсических веществ. Активируется иммунобиологическая защита организма; возрастает активность лейкоцитов, макрофагов, увеличивается выработка антител, интерферона (внутриклеточный фактор противовирусной защиты). Активируются ферменты, способствующие подавлению воспроизводства вирусов.

Метод искусственного повышения температуры (пиротерапия) повышает устойчивость организма, применяется для ускорения заживляющих процессов

после травм, ожогов, для рассасывания рубцов, спаек, при некоторых нервных заболеваниях и при онкологии.

Однако длительное повышение температуры выше 40⁰С отрицательно влияет на человека, вызывая дополнительную нагрузку на сердечно-сосудистую систему, денатурацию некоторых жизненно важных белков.

Ещё один пример естественной системы защиты – движение. Активное движение нередко приглушает душевную и физическую боль. Этот механизм бдительно стоит на страже нервного благополучия, готовый в случае надобности охранить мозг от слишком большого горя и слишком большой радости.

Воспаление – патологический процесс, эволюционно сформировавшийся как защитно-приспособительная реакция организма на воздействие патогенных факторов. Организм активно локализует очаг повреждения с помощью так называемого «защитного вала», препятствуя распространению патогенного раздражителя. Чем более местно протекает реакция воспаления, тем благоприятнее исход для организма. Кроме этого, воспаление создает условия для уничтожения тем или иным способом патогенных факторов (фагоцитоз, ферментолит, иммунный цитолит и др.). В очаге формируются условия для мобилизации разнообразных защитных сил организма.

Фагоцитоз – это эволюционно выработанная защитно-приспособительная реакция организма, заключающаяся в узнавании, активном поглощении и переваривании микроорганизмов, инородных частиц, разрушенных клеток, специализированными клетками фагоцитами (полиморфноядерные лейкоциты, моноциты, тканевые макро-фаги, а также специальные клетки в печени, почках, ЦНС и др.). Поглощая чужеродные тела и поврежденные клетки, фагоциты гибнут в больших количествах, превращаясь в гной.

Поверхностные покровы человека (кожа и слизистые оболочки) – барьер для проникновения микроорганизмов. На чистой коже через 10 – 12 мин гибнут все микроорганизмы (грязная кожа не обладает такими свойствами). Защитная функция кожи зависит от работы ее потовых и сальных желез. Случивание эпидермиса предохраняет от заражения. Слизистые оболочки дыхательных путей и желудочно-кишечного тракта защищены от микроорганизмов секретами желез.

Во рту защитой является слюна, содержащая лизоцим, обладающий бактерицидным свойством. В желудке антибактериальным и противогрибковым действием обладает соляная кислота.

Каждый день с твердыми отходами человек теряет 10г болезнетворных бактерий, для которых слизистая оболочка кишечника оказалась непроницаемой.

Печень обезвреживает ядовитые вещества, образующиеся в организме и поступающие из желудочно-кишечного тракта в организм человека.

В крови, лимфе и тканевой жидкости находятся «гуморальные факторы защиты» – антитела, биологически активные вещества и гормоны.

При недостаточности гормонов щитовидной железы и надпочечников ослабляются защитные силы организма.

В организме человека функционирует система иммунной защиты.

Иммунитет – это свойство организма, обеспечивающее его устойчивость к действию чужеродных белков, болезнетворных (патогенных) микробов и ядовитых продуктов. **Иммунитет** – способность организма защищать собственную целостность и биологическую индивидуальность. Иммунитет защищает от инфекционных заболеваний, уничтожает раковые клетки, отторгает чужеродные ткани. Защитные функции иммунитета осуществляются лимфоидной системой. В ее состав входят: костный мозг, вилочковая железа (тимус), селезенка, лимфатические узлы и пейеровы (лимфоидные) бляшки кишечника.

Виды иммунитета:

1) врожденный иммунитет наследуется потомством от родителей (люди с рождения имеют в крови антитела), это видовой признак, например люди не заражаются чумой рогатого скота;

2) приобретенный иммунитет вырабатывается после попадания в кровь чужеродных белков, например, после перенесения инфекционного заболевания (корь, ветрянка и др.).

Естественный иммунитет может быть врожденный и приобретенный.

Искусственный активный иммунитет появляется после прививки (введения в организм ослабленных или убитых возбудителей инфекционного заболевания). Впервые прививки применил Дженнер в 1796 году, предупреждая заболевания людей оспой путем введения в их организм жидкого содержимого пузырьков с кожи больных оспой коров.

Прививка может вызвать заболевание в ослабленной форме. После прививки человек не заболевает или слабо болеет.

Научное обоснование этому явлению дает Л.Пастер в 1879 году после введения курам ослабленных возбудителей куриной холеры, они стали невосприимчивыми к этому заболеванию.

Для быстрой помощи применяют лечебные сыворотки, полученные из плазмы крови болевших животных или людей. Сыворотки содержат необходимые антитела. Сыворотки вызывают появление искусственного пассивного иммунитета, который быстро исчезает.

Значительная роль в иммунитете принадлежит специфическим защитным факторам сыворотки крови – антителам, которые накапливаются в сыворотке после перенесенного заболевания, а также после искусственной иммунизации (прививок).

В процессе активной иммунизации (вакцинации) изменяется чувствительность организма к повторному введению соответствующего антигена, то есть изменяется иммунореактивность организма в форме повышения или понижения чувствительности отдельных органов и тканей к микробам, ядам и другим антигенам. Изменение иммунореактивности не всегда полезно для организма: при повышении чувствительности к какому-нибудь антигену могут развиваться аллергические заболевания.

Иммунологическая реактивность существенно зависит от возраста: у новорожденных она резко снижена, у пожилых развита слабее, чем у лиц среднего возраста.

Между механизмами резистентности (устойчивости) организма и иммунитета существует своеобразный синергизм, который усиливает защиту.

Надежность биологических систем – это свойство клеток, органов, систем организма выполнять специфические функции, сохраняя характерные для них величины в течение определенного времени. Основной характеристикой надежности систем служит вероятность безотказной работы.

Организм повышает свою надежность различными способами:

- 1) путем усиления регенеративных процессов, восстанавливающих погибшие клетки;
- 2) парностью органов (почки, доли легкого и др.);
- 3) использованием клеток и капилляров в работающем и неработающем режиме (по мере нарастания функции включаются ранее не функционирующие);
- 4) использованием охранительного торможения;
- 5) достижением одного и того же результата разными поведенческими действиями.

Для оценки степени воздействия опасных и вредных факторов на человека и выработки концепции защиты необходимо рассмотреть ряд общих экологических, психофизиологических законов, присущих всему живому.

2.2. Некоторые основные законы, лежащие в основе оценки неблагоприятного действия опасных и вредных факторов среды обитания на организм человека

Закон толерантности или терпимости (В.Шелфорд, 1913г.): лимитиру-

ющим фактором благополучия организма может быть как минимум, так и максимум биологического или экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору.

Выносливость организма зависит от возраста и пола. Это значимо в текущей жизни и в процессе эволюции: женский организм более чуток к факторам среды обитания в ходе эволюции вида, чем мужской. Эта закономерность известна, как правило Геодекяна или правило меньшей эволюционно-экологической толерантности женского организма.

Закон физико-химического единства живого вещества (В.И.Вернадский): все живое вещество Земли физико-химически едино. Вредное для одной части живого вещества не может быть безразлично для другой его части, или вредное для одних видов существ, вредно и для других. Вся разница состоит лишь в степени устойчивости видов к данному фактору (агенту).

Закон минимума (Ю.Либих)

Основной закон: выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его биологических или экологических потребностей, т.е. жизненные возможности лимитируются экологическими факторами, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму, дальнейшее их снижение ведет к гибели организма.

Дополнительное правило взаимодействия факторов: организм в определенной мере способен заменить дефицитное вещество или другой действующий фактор иным функционально близким веществом или фактором (например, одно вещество другим функционально или химически близким).

Закон эффективной компенсации (взаимозаменяемости) факторов. Этот закон Рюбеля (1930г.), который углубляет закон минимума Либиха: отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован другим близким (аналогичным) фактором. Пример: недостаток света может быть компенсирован для растений большим объемом углекислого газа CO₂. Для человека потеря зрения, как правило, сопровождается повышением слуховой и тактильной чувствительности.

Стремлению сузить сферу действия закона «минимума» противостоит **закон независимости фундаментальных факторов Вильямса** (1949г.): полное отсутствие в среде фундаментальных физиологических (экологических) факторов (свет, вода и т.п.) не может быть заменен ничем.

Закон равнозначности всех условий жизни: все условия среды, необходимые для жизни, играют равнозначную роль (сюда входят как факторы природной, так и социальной среды).

Закон неоднозначного (селективного) действия фактора на различные функции организма: любой фактор среды обитания неодинаково влияет на функции организма, оптимум для одних процессов, например, дыхания, не есть оптимум для других, например, пищеварения, и наоборот.

Закон или правило фазовых реакций («польза – вред»): малые концентрации вредного вещества (токсиканта) действуют на организм в направлении усиления его функций (их стимулирования), тогда как более высокие концентрации угнетают, повреждают или даже приводят его к гибели (нашатырный спирт, уксус, синильная кислота). Эта токсикологическая закономерность справедлива для многих, но не всех вредных веществ, и особенно спорна для радиоизотопов.

Благоприятное воздействие малых доз вредных экологических (физиологических) факторов называют *гормезисом*.

Закон «Все или ничего» – «вин» (Х.Боулич, 1871г.): подпороговые раздражения не вызывают нервного импульса («ничего») в возбуждаемых тканях, а пороговые стимулы (раздражители) или суммирование подпороговых воздействий создают условия для формирования максимального ответа («все»).

Физиологический в своей основе закон «вин» при перенесении на широкий круг систем в формулировке «слабые воздействия могут не вызывать у природной системы ответных реакций до тех пор, пока наконец, они не приведут к развитию бурного динамического (ответа) процесса», полезен в экологическом прогнозировании. Даже подпороговые воздействия иногда вызывают непропорционально сильные ответные реакции (например, воздействие радиации на живую клетку). Однако надо иметь в виду, что между воздействиями нет линейной пропорциональности и интегрироваться могут различные факторы (температура и влажность, радиация и нервный стресс и т.д.).

Закон Вебера – Фехнера (1860г.) – закон субъективной оценки раздражителя. Хотя слабые раздражения по принципу закона Боулича «ничего» не воспринимаются, но по закону Вебера – Фехнера: «чем сильнее раздражитель, тем труднее субъективно оценивать его количественно». Чем чувствительнее принимающее устройство (анализатор), тем ниже предел, за которым наступает насыщение, и перестают различаться оттенки раздражителя.

Все анализаторы человека обладают дифференциальной или контрастной чувствительностью, т.е. обладают способностью устанавливать различие по интенсивности между раздражителями. Эта функция анализатора определяется

наименьшей величиной (называемой разностными или дифференциальным порогом), на которую следует изменить силу раздражителя, чтобы вызвать едва заметное минимальное изменение ощущения.

Данное положение впервые было введено немецким физиологом Э. Вебером и подвергнуто математическому анализу Г. Фехнером, который показал, что интенсивность наших ощущений пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя. Данное положение вошло в физиологию как основной психофизический закон Вебера-Фехнера. Поэтому и возникла другая формулировка закона Вебера-Фехнера: “Наши органы чувств устроены так, что наши ощущения (реакции организма) прямо пропорциональны относительному изменению раздражителя”. Это определение было положено в основу разработки допустимых значений некоторых факторов (шума, вибраций и др.) в децибелах.

2.3 Допустимое воздействие опасных и вредных факторов на человека

Взаимодействие организма человека с изменяющимися условиями внешней среды всегда приводит к перестройке его энергетического и материального баланса, сопровождающейся трансформацией внутренней энергии в организме и изменением происходящих в нем процессов, формирующих в конечном счете ответную реакцию всего организма на действие внешнего раздражителя.

При малых уровнях взаимодействия раздражителя человек просто воспринимает информацию об окружающем мире, как поступающую извне.

При высоких уровнях воздействия проявляется нежелательные биологические эффекты. Их появление, как правило, определяется количеством энергии, поступающей в единицу времени через единичную площадку на поверхности тела человека.

$$I = W/S * t = P/S \text{ [Дж/с * м}^2\text{ = Вт/м}^2\text{]}.$$

Если факторы окружающей природной или производственной среды действуют в течение небольших промежутков времени и достаточно длительных паузах, то нежелательные эффекты исчезают быстро и без последствий. Однако при высоких уровнях воздействия в течение длительного времени могут возникнуть нежелательные последствия, приводящие к соматическим и генетическим изменениям в организме человека.

То есть воздействие вредных факторов на организм человека может быть двояким: при малых уровнях – биологически активным, при чрезмерных – повреждающим. Например: шум может успокаивать, создавать благоприятные условия для творчества – это шелест травы, листвы, шум прибоя, щебет птиц; но

грохот, рокот, создаваемый техническими системами на производстве, или извержение вулканов, смерчи действуют по – другому: высокие уровни шума сначала возбуждают, а затем угнетают центральную нервную систему и наносят вред здоровью человека.

Или возьмем пример с поваренной солью (NaCl), в малых дозах она полезна, необходима и даже незаменима (в крови нашего организма в норме должно содержаться около 140 грамм NaCl), в больших дозах NaCl приводит к заболеванию почек, сердечнососудистой системы и др., а в чрезмерных может привести к гибели человека.

Еще один пример. Отрицательное влияние тяжелых металлов на организм человека известно каждому, это и отравление свинцом и ртутью (онкологическое заболевание Минамата в 50-х годах в Японии), кадмием (заболевание итай-итай), цинком (литейная лихорадка) и др. Но в микроскопических количествах почти все элементы таблицы Менделеева, в том числе и тяжелые металлы содержатся в нашем организме (в ферментах, гормонах, витаминах и др.) и не оказывают вредного влияния, а способствуют протеканию реакций метаболизма, обмена веществ и энергии, жизни в целом.

Исходя из этого, предметом регламентирования при оценке влияния опасных и вредных факторов на безопасность жизнедеятельности человека является степень влияния факторов среды и трудового процесса на характер и уровень изменения функционального состояния, функциональных возможностей организма, его потенциальных резервов, адаптивных способностей и возможностей развития последних.

Для исключения необратимых биологических эффектов медики – гигиенисты регламентируют воздействие неблагоприятных факторов, то есть устанавливают нормируемые безопасные или предельно допустимые уровни (ПДУ) энергетического воздействия. Например, для производственной среды ПДУ – это максимальный уровень фактора, который воздействуя на человека (изолировано или в сочетании с другими факторами) в течении рабочей смены ежедневно на протяжении всего трудового стажа, не вызывает у него и у его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсированных (в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушение физиологических циклов), а также психологических нарушений (снижение интеллектуальных и эмоциональных способностей, умственной работоспособности, надежности).

При определении ПДУ приходится делать выбор между вероятностью нанести вред здоровью человека и экономической необходимостью.

При установлении ПДУ воздействия неблагоприятных факторов в производственной деятельности, в быту и окружающей среде необходимо руководствоваться следующими принципами:

1) принцип приоритета (примата) всех медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (техническая достижимость, экономические требования, целесообразность и т.д.);

2) принцип порогости всех типов действия неблагоприятных факторов (в том числе химических соединений мутагенного и канцерогенного действия, и ионизирующего излучения). Этот принцип базируется на концепции закона Боулича;

3) принцип опережения разработки и внедрения профилактических мероприятий по сравнению с моментом появления опасного или вредного фактора в производстве.

Физиологическая норма – это биологический оптимум жизнедеятельности.

В общем случае гигиеническое нормирование факторов внешней среды требует решения по крайней мере трех основных вопросов:

- цели нормирования;
- выбора физического критерия нормирования, то есть нормируемого показателя (его диапазона и единиц измерения);
- принципа установления нормируемых величин (перечислены выше).

Ограничение параметров неблагоприятных факторов внешней среды, воздействующих на человека в процессе его трудовой деятельности, в быту или окружающей среде, может преследовать различные цели обеспечения:

1) безопасность труда и быта, то есть исключение возможности воздействий, опасных для жизни и здоровья или приводящих к увечьям. Такие нормы устанавливаются на основе острых опытом с животными и с учетом случаев, имевших место в трудовой деятельности;

2) гигиена труда, то есть предупреждение возникновения профессиональных заболеваний, возникающих в результате длительного действия фактора;

3) эргономика, то есть создание оптимальных условий для наиболее производительного труда при наименьшем напряжении функциональной деятельности организма. В основе этих норм должны лежать исследования по влиянию параметров фактора на изменение производительности и эффективности труда, профессиональной надежности и качества продукции;

4) гигиена жилья и быта.

Важным этапом нормирования является выбор физического критерия для гигиенического нормирования неблагоприятного фактора, который бы ограничивал вредное действие различных факторов среды на организм человека.

При оценке допустимости воздействия вредных факторов на организм человека исходит из сугубо биологического закона (Вебера-Фехнера), выражающего связь между изменениями интенсивности раздражителя и силой вызванного ощущения: реакция организма прямо пропорциональна относительному приращению раздражителя.

Если обозначить dL – элементарное ощущение; R – величина раздражения; dR – элементарное приращение раздражений; a – коэффициент пропорциональности

$$dL = a dR/R.$$

Интегрируя, получим уровень ощущений

$$L = a dR/R = a \ln R \Big| = a (\ln R - \ln R_0) = a \ln R/R_0.$$

где: R_0 – const интегрирования, равная порогу ощущения, то есть минимальной энергии раздражителя характеризующий начало ощущения.

a – определяет масштаб измерений.

Если: $a = 1$, $L = \ln(R/R_0)$, уровень измеряется в неперах;

$a = \lg e$, $L = a \ln(R/R_0) = \lg e \ln(R/R_0) = 0,434 \ln(R/R_0) = \lg(R/R_0)$, уровень ощущений измеряется в белах.

$a = 10 \lg e$, $L = 10 \lg R/R_0$, уровень измеряется в децибелах.

Для двух разных ощущений

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 10 \lg R_2/R_0 - 10 \lg R_1/R_0 = 10 \lg R_2/R_1$$

Любую физическую величину (интенсивность шума, вибрации и т.д.) можно измерить в децибелах:

$10 \lg R/R_0 = L$ – уровень физической величины (интенсивности шума, вибрации и т.д.), т.е. уровень физической величины в дБ равен уровню ощущений в дБ.

На базе закона Вебера – Фехнера построено нормирование вредных факторов, т.е. устанавливают предельно допустимый уровень воздействия. Для оценки величины порога ощущений (R_0) для различных анализаторов можно определить чувствительность наших органов чувств (анализаторов) к адекватному раздражителю.

ТЕМА 3. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНОВ ЧУВСТВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

3.1. Чувствительность наших органов чувств

Для наших анализаторов характерна чрезвычайно высокая чувствительность к адекватным раздражителям. Эта чувствительность близка к теоретическому пределу, и по существу такой уровень чувствительности в технике во многих случаях пока еще не достигим. Если бы чувствительность наших органов чувств оказалась на порядок выше, то это бы только затруднило нашу жизнь. В этом случае мы бы в буквальном смысле слышали, как растут деревья, как бежит кровь по сосудам, броуновское движение молекул и т.п.

Количественной мерой чувствительности является пороговая интенсивность энергетического воздействия, т.е. та наименьшая интенсивность раздражителя, действие которого дает ощущение. Чем ниже пороговая интенсивность или просто “порог”, тем выше чувствительность, и наоборот.

Рассмотрим в качестве примеров, какова же чувствительность некоторых наших анализаторов.

Световая чувствительность наших глаз связана с чувствительностью рецепторных элементов сетчатки и приближается к теоретически возможному максимуму. Для возникновения зрительного ощущения достаточно, чтобы палочкой был поглощен 1-2 кванта света, а для колбочек необходимо 5-10 квантов.

Приведем некоторые количественные характеристики органа зрения.

Порог световой чувствительности характеризуется минимальной интенсивностью светового воздействия, вызывающий ощущение света. Порог световой чувствительности изменяется в очень широких пределах в процессе адаптации зрительного анализатора к внешнему световому воздействию.

Абсолютный порог световой чувствительности зрительного анализатора характеризует наиболее высокую чувствительность, достигаемую в ходе темновой адаптации в течение нескольких часов (до 3-4 часов). При одном и том же световом потоке пороговая яркость зависит от площади объекта:

| | | | |
|--|----------|--------------|-----------------|
| Площадь объекта, мм ² | 4 = 2x2, | 100 = 10x10, | 14400 = 120x120 |
| Порог чувствительности, x 10 ⁻⁷ лк | 2829 | 241 | 5 |

Наиболее низкая световая чувствительность, достигаемая в процессе световой адаптации, соответствует предельно допустимой яркости источника, вызы-

вающей эффект ослепления, т.е. нарушающей функционирование зрительного анализатора. Абсолютно слепящая яркость – 225000 кд/м². Эффект ослепления может наступать и при меньших яркостях, если яркость объекта значительно превышает яркость к которой адаптирован глаз. Полный диапазон световой чувствительности $3 \times 10^{-8} - 2,25 \times 10^5$ кд/м² (обычное дневное освещение примерно равно 9,56 кд/м²).

Дифференциальный порог световой чувствительности (иногда называют порогом контрастной чувствительности) – минимальное воспринимаемое различие между двумя яркостями, разделенными в пространстве или во времени. Для практических целей используется только относительный порог (порог контрастной чувствительности).

$$K = (\Delta B/B) \times 100 \%$$

При прямом контрасте (темный объект на светлом фоне) расчетная формула имеет вид:

$$K_{пр} = [(B_{ф} - B_{об}) / B_{ф}] \times 100 \%$$

где: $B_{ф}$ - яркость фона

$B_{об}$ - яркость объекта

При обратном контрасте (светлый объект на темном фоне).

$$K_{обр} = [(B_{об} - B_{ф}) / B_{об}] \times 100 \%$$

Дифференциальный порог зависит от угловых размеров объекта, яркость поля адаптации (фона), четкости границ между объектом и фоном (при одновременном восприятии). Значения дифференциальных порогов при четкой границе между сравниваемыми яркостями и одновременном восприятии приведем в следующей таблице.

| Яркость, кд/м ² | Контрастная чувствительность, % | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|
| | при угловых размерах | |
| | 40 ['] | 4 ⁰ |
| 1 | 12 | 4 |
| 400 | 4,9 | 1,5 |

Воздействия посторонних источников света, попадающих в поле зрения, вызывают повышение порога, что эквивалентно снижению контраста.

Рассмотренные выше абсолютный и дифференциальный пороги световой чувствительности характеризуют работу палочкового зрения, обеспечивающего восприятие ахроматического света.

Однако чувствительность зрительного анализатора к световым лучам с разной длиной волны (разной цветности) неодинакова. В условиях обычного дневного освещения ($B = 9,56 \text{ кд/м}^2$) она достигает максимума при длине волны 554 нм (в зеленой области спектра) и убывает в обе стороны от этого значения.

Колбочковое зрение наиболее чувствительно к излучению с длиной волны 554 нм, а палочковое - 513 нм. Это проявляется в изменении соотношения по яркости в дневное и ночное (сумеречное) время.

Например, днем в саду самыми яркими кажутся плоды, имеющие желтую, оранжевую или красноватую окраску, ночью же зеленые. Днем в поле выделяются яркие маки, по сравнению с которыми голубые васильки кажутся неприметными. После захода солнца в сумерках картина меняется.

Частотные границы цветовой чувствительности составляют 396 – 760 нм, при особо благоприятных условиях в частных случаях 302 – 950 нм.

Приведем соотношение субъективной оценки цвета с длиной волны: фиолетовый – 390 – 420 нм; синий – 450 – 480 нм; голубой – 480 – 510 нм; зеленый – 510 – 550 нм; желтый – 575 – 585 нм; оранжевый – 585 – 620 нм; красный – 620 – 800 нм.

Чувствительность различных участков сетчатки к свету неодинакова. Самую низкую абсолютную чувствительность имеет область центральной ямки, где палочки почти совсем отсутствуют, а есть только колбочки.

Самую высокую абсолютную чувствительность имеют участки сетчатки, отдаленные от централа на $10-12^\circ$, где самая высокая плотность палочковых рецепторов на единицу площади. К периферии чувствительность снижается.

На сетчатке имеется еще одно своеобразное место, которое совершенно лишено рецепторов и потому к свету нечувствительно. Это так называемое слепое пятно или диск зрительного нерва. Оно расположено снаружи под углом 15° и имеет угловые размеры 1° .

Цветовой контраст характеризуется чувствительностью к изменению длины волны (оттенка). Минимально различимая разность длин волн (оттенков) зависит от яркости и угловых размеров объектов. При больших размерах рядом расположенных объектов глаз способен различать до 10^7 световых оттенков. Различение ухудшается с уменьшением размеров, и при размерах объектов меньше $10'$ хроматичность излучения перестает замечаться глазом. При средних размерах объектов и яркостях больше 10 кд/м^2 общее число различаемых оттенков составляет несколько сот. Увеличение и уменьшение яркости снижает чувствительность к цветовым тонам. Приведем наиболее контрастирующие соотношения сигнал-фон (в порядке убывания цветового контраста): синий на белом, черный на жел-

том (и наоборот), зеленый на белом, черный на белом, зеленый на красном, красный на желтом, красный на белом, оранжевый на черном, черный на пурпурном, оранжевый на белом, красный на зеленом.

Острота зрения (порог разрешения, характеризующий разрешающую способность) – минимальный угол, при котором две равноудаленные точки видны как отдельные (зависит от освещенности и контрастности объекта, его положения в поле зрения, формы). Минимальный порог разрешения составляет несколько десятых угловой минуты.

При оптимальной освещенности (100-700 лк) порог разрешения равен $1-0,5'$, что соответствует остроте зрения в 1-2 усл.ед. При различении белых объектов на черном фоне максимум остроты зрения несколько меньше и соответствует освещенности 5-10 лк.

Особые проявления пространственно – различительной способности: черные линии на белом фоне могут различаться при их толщине до $0,7 - 1''$; одиночный светлый объект на темном фоне воспринимается при исчезающе малых угловых размерах (например, звезды). Острота зрения зависит от длительности экспозиции объекта.

Восприятие мелькающего света имеет специфические особенности. Серия световых импульсов воспринимается как непрерывный сигнал, если интервалы между импульсами соизмеримы с временем инерции зрения. Пороговая частота $f_{\text{пор}}$ называется критической частотой слияния мельканий (КЧСМ).

КЧСМ изменяется от 14 до 70 Гц в зависимости от скважности импульсов, их формы, яркости угловых размеров объекта, место проекции на сетчатку, уровня адаптации, функционального состояния зрительного анализатора.

Субъективное ощущение яркости прерывистого света, воспринимаемого как непрерывный, равно тому, какое имелось бы, если бы интенсивность прерывистого света была равномерно распределена на весь период смены раздражения и темноты, т.е. определяется общей световой энергией, попадающей в глаз.

При частотах ниже КЧСМ субъективное ощущение яркости при скважности 0,5 зависит от частоты мельканий:

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| f , Гц..... | 0 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 |
| V , кд/м ² | 48 | 48 | 54 | 64 | 96 | 54 | 28 | 23 |

Поле зрения, для каждого глаза в отдельности при ахроматическом освещении: сверху 50° ; внизу 70° ; в направлении к другому глазу 60° ; в противоположном направлении 90° . Общее поле зрения при бинокулярном восприятии по горизонтали 180° .

Точное восприятие зрительных сигналов возможно только в центральной части поля зрения (фовеальная зона размером 3° от оси во все стороны).

Опознавание взаимного расположения, форм объектов возможно в границах: вверх 25° , вниз 35° , вправо и влево по 32° от оси зрения.

Восприятие движения характеризуется следующими особенностями. Нижний абсолютный порог восприятия скорости составляет:

- при наличии в поле зрения неподвижного ориентира 1-2 угл. мин/с;
- без ориентира 15-30 угл. мин/с.

Равномерное движение с малыми скоростями (до 10 угл. мин/с) при отсутствии в поле неподвижных ориентиров может восприниматься как прерывистое.

Слуховая чувствительность. Воздействие звуковых сигналов на звуковой анализатор определяется звуковым давлением (па). Интенсивность (сила) звука (Вт/м^2) определяется плотностью потока звуковой энергии (плотностью мощности).

Для характеристики величин, определяющих восприятие звука, существенными являются не столько абсолютные значения интенсивности звука и звукового давления, сколько их отношение к пороговым значениям ($I=10^{-12}$ Вт/м² или $P_0=2 \cdot 10^{-5}$ Па). В качестве таких относительных единиц измерения используют децибелы (дБ):

$$L = 10 \lg I / I_0 = 20 \lg P / P_0.$$

где I и P – соответственно интенсивность и уровень звукового давления;

I_0 и P_0 – их пороговые значения.

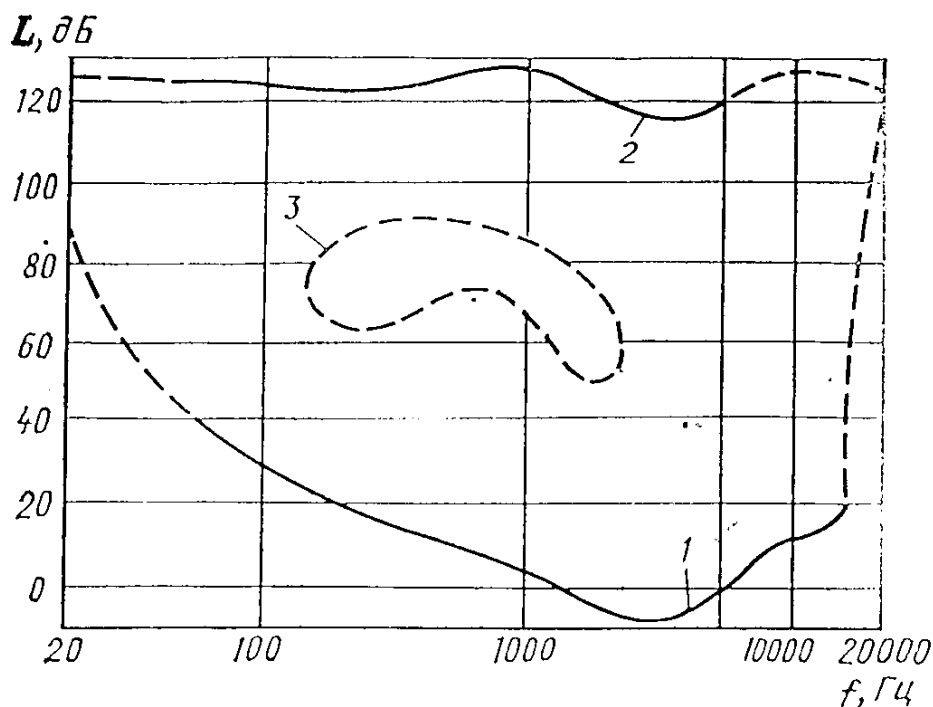
I – прямо пропорциональна P^2 , поэтому коэффициент 20.

Интенсивность звука уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния; при удвоении расстояния снижается на 6 дБ. Абсолютный порог слышимости звука принят равным $2 \cdot 10^{-5}$ Па (10^{-12} Вт/м²) и соответствует уровню 0 дБ. Минимальная воспринимаемая амплитуда колебаний среды соответствует 10^{-9} см.

Чувствительность слухового анализатора к сигналам разных частот неодинакова. Частотный диапазон слышимых звуков приблизительно от 20 Гц до 20 кГц. Максимальная чувствительность органа слуха лежит в области 1000-3000 Гц.

С возрастом людей пороги чувствительности, особенно на высоких частотах, возрастают. Выше порогового уровня интенсивности лежит область слухового восприятия звуковых сигналов (рис.3.1.)

При уровне 120 дБ (1 Вт/м^2) звук становится дискомфортным, при 130 дБ (10 Вт/м^2) вызывает неприятное ощущение. Верхней границей слухового поля является порог болевого ощущения, мало зависящей от частоты и близкий к 140 дБ (100 Вт/м^2). Диапазон слышимых звуков от 0 дБ до 140 дБ (от 120 ÷ 140 дБ).



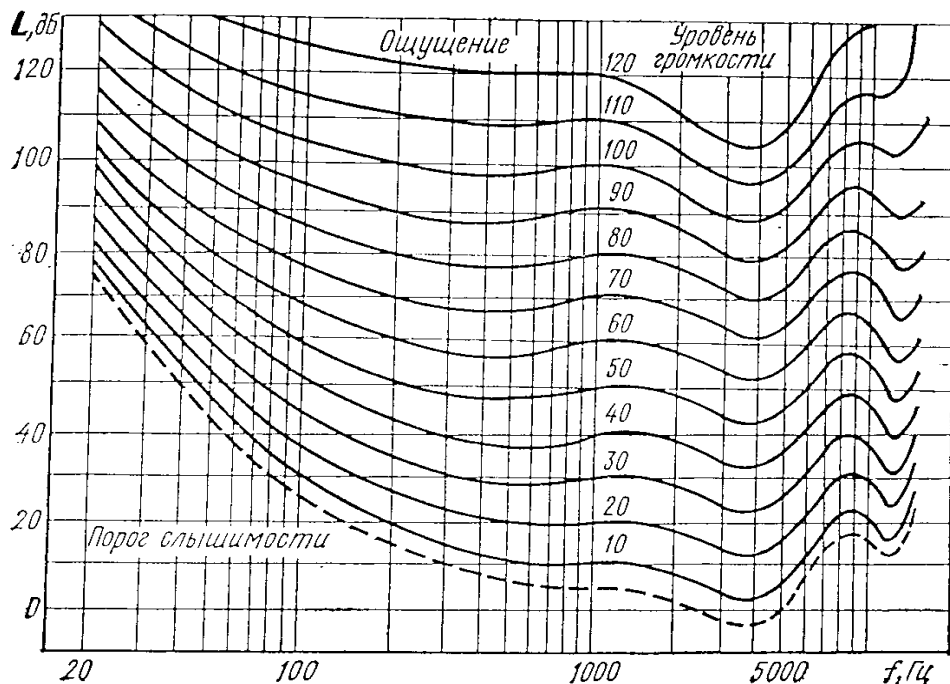
Р и с.3.1. Область слухового восприятия человека:
 1-порог слышимости; 2-порог болевого ощущения; 3-область восприятия речи.

Громкость – субъективное впечатление от воздействия звуковых колебаний на орган слуха, зависящее прежде всего от интенсивности звука (или звукового давления). Вторым фактором, определяющим субъективное ощущение громкости, является частота. Экспериментально удается подобрать звуки разных частот и интенсивностей, оцениваемые субъективно как равные по громкости, т.е. построить кривые равной громкости (рис. 3.2). За единицу уровня громкости принят фон. Уровень громкости в фонах какого-либо звука определяется путем субъективного сравнения громкости данного звука с громкостью стандартного тона ($f=1000$ Гц), для которого уровень интенсивности в децибелах условно принят за уровень громкости в фонах.

Различие между уровнем громкости (фон) и уровнем интенсивности звука (дБ) тем больше, чем ниже его частота (начиная с 500 Гц) и слабее звук. По мере повышения интенсивности звука кривые равной громкости выравниваются, приближаясь к горизонтальным. Поэтому при уровнях громкости 80 фон и выше громкость звука определяется главным образом его интенсивностью и мало зависит от частотной характеристики.

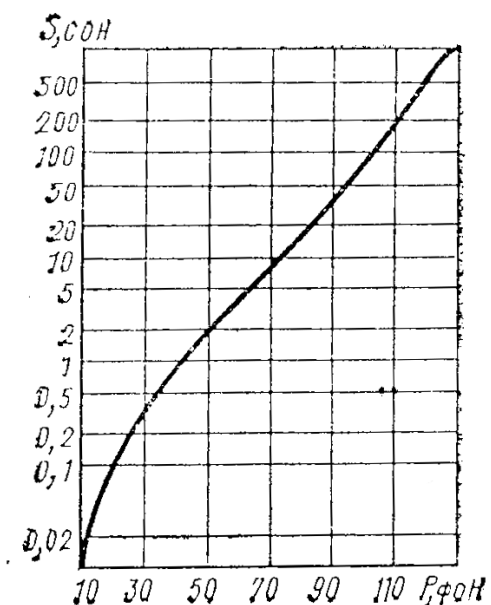
Шкала уровней громкости в фонах является шкалой сравнения с эталонами. По ней можно определять условия, при которых звуки разных частот будут слышны как равногромкие, однако нельзя количественно сравнивать разные громкости. Для этой цели используют натуральную (субъективную) шкалу гром-

кости в сонах. 1 сон – это громкость звука, равная громкости тона 1000 Гц при уровне интенсивности 40 дБ над порогом (примерно соответствует громкости шепота на расстоянии 0,3 м.). Отношение громкостей двух звуков в сонах показывает, во сколько раз один из них субъективно воспринимается громче другого.



Р и с.3.2. Кривые равных громкостей

Зависимость громкости в сонах от уровня громкости в фонах имеет нелинейный характер (рис.3.3). Участок кривой для уровней громкости выше 40 фон близок к линейному.



Р и с.3.3. Натуральная шкала
громкости

Участок кривой для уровней громкости выше 40 фон близок к линейному. В этом случае увеличение уровня на 10 фон независимо от исходного уровня дает ощущение удвоения громкости. Кривая приближенно аппроксимируется формулой Стивенса:

$$\lg S = 0,03P - 1,2.$$

где S – громкость, сон;

P – уровень громкости, фон.

Для приближенной ориентировки в оценке громкости звуков можно использовать

Громкость звука некоторых источников

| Источник звука | Уровень громкости, фон | Громкость, сон | Характеристика громкости звука |
|---|------------------------|----------------|--------------------------------|
| Ход карманных часов на расстоянии 1 м | 20 | 0,1 | Тишина |
| Шепот на расстоянии 1 м | 30 | 0,4 | |
| Шепот на расстоянии 0,3 м | 40 | 1 | Слабый звук |
| Разговор вполголоса на расстоянии 1 м | 50 | 2 | |
| Разговор средним по громкости голосом на расстоянии 1 м | 60 – 65 | 4 – 6 | Умеренный звук |
| Машинописное бюро | 70 – 75 | 8 – 12 | |
| Громкая речь на расстоянии 1 м | 80 | 18 | |
| Громкий крик на расстоянии 1 м | 90 | 40 | Громкий звук |
| Шум в кабине самолета | 100 | 90 | Очень громкий звук |
| Шум многооборотного дизеля на расстоянии 1 м | 110 – 115 | 200 – 320 | Оглушительно громкий звук |
| Шум вблизи работающего авиамотора | 120 – 130 | 500 – 1200 | |

Дифференциальная чувствительность к изменению громкости зависит от интенсивности и частоты звуков: $I/I = K$, где K – константа Вебера.

При уровнях громкости 40 – 100 дБ и частотах 500 – 3000 Гц $K = 0,04 – 0,05$.

В крайних зонах области слухового восприятия дифференциальная чувствительность ухудшается. В частности, при $I = 20$ дБ ощущаемое $\Delta I = 2 – 6$ дБ т.е. $K = 0,1 – 0,3$.

Наибольшая дифференциальная чувствительность наблюдается в диапазоне частот 500 – 10000 Гц. В частности, при $f = 1000$ Гц в диапазоне от порога слышимости до болевого ощущения воспринимается 270 – 300 градаций громкости.

Восприятие высоты звуковых сигналов в основном обусловлено их частотными характеристиками. Однако ощущение в некоторой степени зависит также от силы звукового раздражителя и состава сложного звука. Для измерения ощущения высоты звука введена специальная единица – мел. Принято, что высота тона частоты 1000 Гц при уровне 40 дБ над порогом слышимости равна 1000 мел.

Изменение числа мел на какую-либо величину означает пропорциональное изменение ощущения высоты тона.

| Частота, Гц | Высота звука, мел. |
|-------------|--------------------|
| 20 | 0 |
| 60 | 100 |
| 100 | 200 |
| 1000 | 1000 |
| 4600 | 2400 |
| 16000 | 3300 |

Дифференциальная чувствительность к изменению высоты тонов определяется константой Вебера $K = \Delta f / f$. В диапазоне частот 500 – 5000 Гц при средних уровнях интенсивности величина $K = 0,002 - 0,003$. Дифференциальная чувствительность возрастает с ростом интенсивности звука. Число едва заметных градаций по высоте для уровня 20 дБ равно 520, для уровня 40 дБ – 1270, для 80 дБ – 2180.

Пространственная локализация источника звука возможна благодаря восприятию звуков одновременно двумя ушами (бинауральный слух).

Бинауральный слух от моноурального отличается более высокой абсолютной чувствительностью; помехоустойчивостью; разрешающей способностью при дифференцировании изменений высоты и громкости тональных сигналов и большей возможностью различения пространственного положения источника звука.

Пространственная локализация источников звука осуществляется за счет:

а) разницы во времени прихода сигналов на правое и левое ухо. Разность в 30 – 40 мс создает впечатление смещения источника на $2 - 3^0$ в сторону уха, в которое сигнал приходит раньше;

б) сдвига фазы сигналов, поступающих на разные уши. Бинауральная фазовая чувствительность наиболее выражена для $f = 200 - 250$ Гц, в сторону более высоких и более низких частот ухудшается, при 2000 – 3000 Гц практически отсутствует. Разность фаз 180^0 соответствует смещению источника звука на 90^0 ;

в) разницы интенсивности сигналов, приходящих к правому и левому уху. Разница менее 1 фон создает впечатление отклонения источника звука от средней плоскости на $2 - 3^0$. Увеличение разницы усиливает эффект.

В определении направления на источник звука при $f \leq 1000$ Гц преобладающую роль играет запаздывание и фазовый сдвиг сигнала, при $f > 4000$ Гц разница в громкости, при $1000 < f < 4000$ Гц работают оба механизма.

Влияние шума на разборчивость речи зависит от соотношения уровней шума и речи. Для удовлетворительного восприятия речи ее уровень должен превышать шум примерно на 6 дБ.

Существуют различные способы повышения в условиях шума разборчивости речи.

1. Зрительный контроль.

2. Применение шумозаглушек при уровне речи > 85 дБ. Однако при уровне > 95дБ те же заглушки снижают разборчивость.

3. Оптимальный выбор словаря, который должен содержать меньше сплошных речевых стимулов, учитывать акустические критерии, отдавать предпочтение привычным для определенного контингента лиц словам, не допускать включения нестандартных терминов и команд.

4. Выбор слов. В частности, длинные слова понимаются лучше, чем короткие. Наибольшей помехоустойчивостью к белому шуму обладают звуки Р, Л, М, Н, хуже Ш, Ч, П, наихудшей С, Ф, Ц, Т, Г. Слова с буквой И под ударением дают на 10 процентов лучшую разборчивость, чем с ударной А. Точнее опознаются слова с ударением на последнем слоге. Распознаваемость слов повышается, если они начинаются с гласных.

5. Для оптимизации строения фраз их объем не должен превышать 7 ± 2 слов, не считая индексов и позывных. Наиболее значащие слова следует располагать в первой трети фразы. В разрешающих фразах, командах разрешение следует в конце, после содержания действия, в запрещающих – наоборот.

6. Выполнение специальных требований к диктору:

- а) большая интенсивность речи;
- б) большая продолжительность слогов;
- в) повышенная вариативность звуковых высот;
- г) значительная часть времени занята речевыми звуками, а не паузами;
- д) повторение передачи должно иметь ту же структуру и слова, что и в предыдущем случае.

Оптимальным считается темп речи 60 – 80 слов в 1 мин с интервалом между словами 1 с, а допустимым – до 120 слов в 1 мин.

Кожный анализатор обеспечивает восприятие прикосновения (слабого давления), боли, тепла, холода и вибрации. Для каждого из этих ощущений (кроме вибрации) в коже имеются специфические рецепторы либо их роль выполняют свободные нервные окончания.

Каждый микроучасток кожи обладает наибольшей чувствительностью к тем раздражителям (сигналам), для которых на этом участке имеется наибольшая концентрация соответствующих рецепторов. Поэтому можно выделить на коже точки и участки с избирательной чувствительностью к прикосновению, боли,

теплу, холоду. Плотность размещения таких точек для некоторых участков кожи приведем в следующей таблице.

| Участок кожи | Число чувствительных точек на см ² | | | |
|--------------|---|--------------|-----------|----------|
| | болевые | осязательные | холодовые | тепловые |
| <i>Лоб</i> | 184 | 50 | 8 | 0,6 |
| Кончик носа | 44 | 100 | 13 | 1,0 |
| Тыл кисти | 188 | 14 | 7 | 0,5 |

Воздействие в этих точках даже неспецифическим, но достаточно сильным раздражителем независимо от его характера вызывает специфическое ощущение, обусловленное типом рецептора. Например, интенсивный тепловой луч, попадая в точку боли, вызывает ощущение боли, а не тепла.

Чувствительность к прикосновению (тактильная) проявляется при деформации кожи под давлением внешнего воздействия. Ощущение возникает только в момент деформации, т.е. при движении раздражителя, и исчезает, как только скорость движения падает до нуля.

Приведем время адаптации к постоянному давлению в секундах.

| Воздействие, мг | Участок кожи | |
|-----------------|--------------|-------|
| | Тыл кисти | лоб |
| 50 | 2,42 | 5,07 |
| 1000 | 6,71 | 10,43 |
| 2000 | 9,52 | 16,03 |

Абсолютный порог чувствительности к силе раздражителя зависит от места его приложения, скорости движения, функционального состояния рецептора. Ощущение прикосновения возникает уже при деформации одного волоска. Порог раздражения самых чувствительных участков равен 50 мГ, а наименее чувствительных достигает 10 Г. При непосредственном воздействии на кожу порог измеряется в единицах давления (Па) и для различных частей тела равен:

Для кончика пальца..... $2,94 \cdot 10^4$
 Для живота..... $2,55 \cdot 10^5$
 Для тыльной стороны кисти..... $1,18 \cdot 10^5$
 Для плотных частей подошвы..... $2,45 \cdot 10^6$

Абсолютный порог пространственной чувствительности (разрешающая способность) в основном определяется плотностью рецепторов на том или ином участке кожной поверхности.

При последовательном воздействии одиночных раздражителей ошибка в локализации колеблется в пределах 2 – 8 мм.

При одновременном воздействии в двух точках пороги зависят от места при-
ложения раздражителя.

| Участок кожи | Порог, мм |
|-----------------------------|-----------|
| Кончик языка..... | 1 |
| Тыльная часть ладони | 31 |
| Подошва ступни | 54 |
| Подушечка пальцев рук | 2 – 3 |

Частотный диапазон вибрационной чувствительности 5 – 12000 Гц.

Максимальная чувствительность наблюдается при $f = 200 - 300$ Гц. В этом случае пороговая амплитуда вибрации минимальна и равна 1 мкм. При больших и меньших частотах пороговая амплитуда увеличивается. Дифференциальный порог различения частоты вибрации составляет 5 – 10 процентов.

Кожная чувствительность к боли обусловлена воздействием на поверхность кожи механических, тепловых, химических, электрических и других раздражителей.

Болевой порог при механическом давлении на кожу измеряется в единицах давления и зависит от места измерений.

| Участок поверхности | Болевой порог, Па |
|---------------------|-------------------|
| Роговица | $1,96 \cdot 10^3$ |
| Живот..... | $1,47 \cdot 10^5$ |
| Тыл кисти | $9,81 \cdot 10^5$ |
| Подошва | $1,96 \cdot 10^6$ |
| Кончик пальца | $2,94 \cdot 10^6$ |

Пороговая плотность потока тепла, вызывающего болевое ощущение, 88 Дж/(м²·с).

Восприятие кожей температурных воздействий зависит от ее собственной температуры.

Когда определенная часть кожи адаптируется (становится нечувствительной) к внешней температуре, говорят, что температура среды находится на физиоло-

гическом нуле, который для различных областей кожи может быть достигнут при температурах среды между 12 – 18 °С и 41 – 42 °С.

Общее число точек холода на всей поверхности тела около 250000, а тепла 30000.

Существуют различия в ощущениях при лучевом (радиационном) и контактном тепловом воздействии. При величине участков подвергающихся раздражению посредством радиации, менее 700 мм²(26,5 x 26,5мм²) ощущение тепла вообще не возникает. Когда радиация становится достаточно интенсивной, чтобы вызвать какое-либо ощущение, может возникнуть только ощущение боли. При контактном раздражении тепловое ощущение может быть вызвано стимулятором с площадью меньше или равной 1 мм².

При непосредственном тепловом или холодовом воздействии на кожу, адаптированную к определенной температуре, дифференциальная чувствительность имеет значение порядка 0,1 – 0,2 °С (измерялась дифференциальная чувствительность кожи пальцев рук при адаптационной температуре $t = 24$ °С). После начального ощущения тепла через некоторое время происходит адаптация к новой температуре и ощущение исчезает. Длительность адаптации зависит от температуры.

Приложенная температура, °С..... 45 30 205

Длительность ощущения тепла или холода, с.....152 31 72210

Для кожи, адаптированной к комнатной температуре 20 – 25 °С, порог ощущения горячего для разных индивидуумов находится в пределах 40 – 46 °С (средняя 42 – 43 °С), порог жгуче горячего – между 43 – 51 °С (средний 46 – 47 °С).

При отклонении температуры кожи от указанных выше номиналов возникают следующие ощущения:

- очень холодно при 29°С; неприятно холодно при 30°С; холодновато при 31°С;
- чуть прохладно при 33 °С; нормально при 34 °С; жарковато при 35 °С; неприятно жарко при 36 °С; очень жарко при 37 °С.

Температуры кожи ниже 0 и выше 51 °С вызывает ощущение боли.

Абсолютную чувствительность **вестибулярного анализатора** характеризуют минимальными, т.е. пороговыми величинами воспринимаемых факторов.

- для углового ускорения порог 0,015 – 0,05 рад/с²;

- для прямолинейного 2 – 20 см/с²

При наклонах головы пороговая величина равна 1° при наклонах в сторону и 1,5 – 2° при наклонах вперед и назад.

Абсолютная чувствительность **двигательного анализатора** определяют по некоторым косвенным признакам. Самым чувствительным является плечевой су-

став. Для него порог восприятия смещения при скорости $0,3^0$ в секунду составляет $0,22 - 0,42^0$. Наименее чувствительным оказался голеностопный сустав, у него порог составляет $1,15 - 1,30^0$.

Обонятельный анализатор предназначен для восприятия человеком различных запахов (их диапазон охватывает до 400 наименований). Рецепторы расположены на участке площадью около $2,5 \text{ см}^2$ слизистой оболочки, покрывающей внутреннюю стенку верхней носовой раковины и соседнюю боковую стенку носовой перегородки.

Чувствительность обонятельного анализатора зависит от вида пахучего вещества, температуры, влажности, движения воздуха, длительности воздействия, концентрации вещества и других факторов. Пороги абсолютной чувствительности определяются концентрацией пахучего вещества во вдыхаемом воздухе.

Приведем пороговые концентрации для некоторых веществ, мг/м^3 :

| | |
|---------------------|-------|
| Этиловый эфир | 5830 |
| Хлороформ..... | 3300 |
| Этилмеркаптан..... | 46 |
| Этиловый спирт..... | 20 |
| Ванилин..... | 0,001 |

Наименьшие пороги наблюдаются при температуре $25 - 30^0\text{C}$.

Адаптация обонятельного анализатора происходит сравнительно быстро. Время полной адаптации прямо пропорционально давлению паров пахучего вещества.

Дифференциальная чувствительность к интенсивности запаха относительно невысока. Среднее значение константы Вебера $K = \Delta I / I = 38$ процентов; для различных веществ K меняется от 16 до 50 процентов.

Вкусовой анализатор обеспечивает различие вкуса веществ, попадающих в полость рта. Основные вкусовые ощущения: кислое (все кислоты), соленое (поваренная соль), горькое (хинин), сладкое (сахар). Эти четыре ощущения считают первичными, все остальные обусловлены их сочетаниями.

Приведем абсолютные пороги вкусовой чувствительности.

| Вещество | Абсолютные пороги |
|-------------------|---------------------------------------|
| | Процентная концентрация к объему воды |
| Сахароза | $7 \cdot 10^{-1}$ |
| Хлористый натрий | $2 \cdot 10^{-1}$ |
| Соляная кислота | $7 \cdot 10^{-3}$ |
| Сернокислый хинин | $3 \cdot 10^{-5}$ |

Самая высокая вкусовая чувствительность оказывается при температуре вещества 37 °С.

Адаптация к вкусовому раздражителю пропорциональна концентрации его раствора. Восстановление вкусовой чувствительности после воздействия различных раздражителей идет примерно одинаково и заканчивается через 10 – 15 мин.

Дифференциальная чувствительность к интенсивности вкусового воздействия имеет среднее значение $K = 0,2$ (20 процентов) для всех вкусовых ощущений при средних интенсивностях раздражителей.

Приведенные выше характеристики анализаторов определены в условиях, когда каждый анализатор рассматривался изолированно, вне связи с другими системами и функциями организма, то есть учитывались лишь те внешние условия, от которых непосредственно зависело функционирование того или иного конкретного анализатора и большей частью игнорировалось их воздействие на другие анализаторы и на состояние человека в целом. В действительности все анализаторы объединены и взаимосвязаны в рамках ЦНС человека, поэтому поступление сигнала или изменение функционального состояния отдельного анализатора или ЦНС в целом под влиянием внешних факторов приводит к изменению характеристик и других анализаторов. Характер этих изменений сложен, противоречив и изучен пока далеко недостаточно.

Световая чувствительность зрительного анализатора может изменяться под влиянием целого ряда факторов. Запах бергамотового масла, толуола, нашатырного спирта, вкус сладкого, слабый вкус соленого и кислого, обдувание кожи лица, холод, легкая мышечная работа, удобное сидячее положение человека ведут к повышению чувствительности к периферическим сигналам. Громкие звуки, вкус горького, тепло, тяжелая мышечная работа, стоячее положение человека, облучение кожи в видимой, ультрафиолетовой, рентгеновской области, понижение барометрического давления, голодание вызывают снижение чувствительности периферического зрения. Фовеальная чувствительность глаза повышается под влиянием громких звуков.

Функционирование разных анализаторов существенно изменяется под влиянием неблагоприятных для человека условий. Низкие и высокие температуры, вибрации, перегрузки, невесомость, слишком интенсивные потоки информации, ведущие к дефициту времени, и ее недостаток, утомление, вызванное длительной работой или неблагоприятными условиями, состояние стресса – все эти и многие другие факторы вызывают различные изменения характеристик анализаторов.

3.2. Время реакции человека к действию раздражителей

Разные органы чувств имеют разное время реагирования на раздражитель. Это время называют временем скрытой реакции (латентный период), т.е. промежуток времени от момента возникновения раздражителя до начала реакции на него. Приведем временные характеристики некоторых органов чувств.

| Рефлекторные реакции | Время скрытой реакции, с |
|--|--------------------------|
| На световое раздражение: | |
| центральная часть сетчатки..... | 0,16 – 0,18 |
| периферийная часть сетчатки..... | 0,18 – 0,22 |
| На слуховое раздражение..... | 0,14 – 0,16 |
| На болевое раздражение: | |
| электрокожное..... | 0,10 – 0,12 |
| тепловое..... | 0,36 – 0,40 |
| На тепловое контактное раздражение..... | 0,50 – 0,80 |
| На холодное контактное раздражение..... | 0,35 – 0,45 |
| Вестибуломоторная реакция: | |
| на угловое ускорение..... | 0,26 – 0,28 |
| на прямолинейное ускорение..... | 0,32 – 0,38 |
| На обонятельное раздражение – воздействие паров: | |
| релина..... | 0,90 – 1,00 |
| линолеума..... | 0,70 – 0,80 |
| древесно-стружечных плит..... | 0,90 – 1,00 |
| На вкусовое раздражение..... | 1,1 |
| На тактильное раздражение..... | 0,15 – 0,8 |

Скрытое время имеют также многие физиологические (в частности, вегетативные) процессы. Например:

| Исследуемый показатель | Скрытое время, с |
|---|------------------|
| Глазо-сердечный рефлекс по изменению частоты пульса | $5,2 \pm 0,3$ |
| Изменение частоты пульса в ответ на дозированную физическую нагрузку (ДФН)..... | $1,2 \pm 0,1$ |
| Реакция потоотделения в ответ на ДФН..... | $4,3 \pm 0,2$ |
| Реакция расширения просвета сосудов в ответ на ДФН | $7,8 \pm 1,0$ |
| Реакция сужения просвета сосудов в ответ на ДФН | $8,9 \pm 0,9$ |

Также можно привести время адаптации (установления чувствительности на постоянном уровне) зрительного анализатора. При темновой адаптации (напри-

мер, при переходе из светлого в темное помещение) это время составляет примерно 50 – 70 минут. При световой адаптации 7 – 15 минут (зависит от яркости, к которой адаптируется человек).

Передача информации об наличии или изменении раздражителя поступает в ЦНС или периферическую нервную систему со скоростью примерно 130 м/с(486 км/ч).

Приведем также время выполнения человеком отдельных действий.

| Характер движения | Время выполнения, с |
|---|---------------------|
| Движение пальцами..... | 0,17 |
| Движение ладонью..... | 0,33 |
| Нажатие рукой, ногой (на педаль)..... | 0,72 |
| Ходьба (один шаг)..... | 0,61 |
| Поворот корпуса на 45 – 90 ⁰ в положении сидя..... | 0,72 |
| Установка предмета в точное положение..... | 0,55 |

Приведенные данные характеризуют затраты на выполнение собственно действий или движений.

Временные затраты оператора при приеме сигнальной информации составляют:

| Выполняемое действие | Средняя длительность, с |
|--|-------------------------|
| Чтение показаний цифрового индикатора (электр люминисцентная шкала)..... | 0,35 |
| Восприятие семизначного числа..... | 1,2 |
| Считывание показаний стрелочного (демпфированного) прибора..... | 0,4 |
| Перемещение взгляда на α градусов..... | $0,002 + 0,004 \alpha$ |
| Чтение слова из n букв, мс..... | $22 + 0,9 n$ |

4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЯДЫ И ОТРАВЛЕНИЯ

4.1. Понятие о производственном (промышленном) яде и отравлении

Влияние химических веществ на работающих возможно при многих видах профессиональной деятельности: получении и переработке природного сырья, изготовлении промышленной продукции, работе на транспорте, в сельском хозяйстве и других видах труда. Например, при добыче и первичной переработке нефти могут возникать отравления сероводородом и углеводородами, при взрывных работах в горнорудной и угольной промышленности – окисью углерода и

окислами азота, в металлургической промышленности – окисью углерода, сернистым газом, парами некоторых металлов, в машиностроении – цианистыми соединениями, парами кислот, растворителями, на транспорте – выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, в сельском хозяйстве – ядохимикатами, удобрениями и т.п.

Яды – вещества, которые, попадая в организм в небольших количествах, вступают в нем в химическое или физико-химическое взаимодействие с тканями и при определенных условиях вызывают нарушение здоровья. Хотя ядовитые свойства могут проявить практически все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении, к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

Действие ядов может быть общим (резорбтивным) или местным. Общее действие развивается в результате всасывания яда в кровь. При этом нередко наблюдается относительная избирательность, выражающаяся в том, что преимущественно поражаются те или иные органы и системы, например нервная система при отравлении марганцем, органы кроветворения – при отравлении бензолом. При местном действии преобладает повреждение тканей на месте соприкосновения их с ядом: явления раздражения, воспаления, ожоги кожных и слизистых покровов – чаще всего при контакте со щелочными и кислотными растворами и парами. Местное действие, как правило, сопровождается и общими явлениями вследствие всасывания продуктов распада тканей и рефлекторных реакций в результате раздражения нервных окончаний.

Производственные отравления протекают в острой, подострой и хронической формах. Острые отравления чаще бывают групповыми и возникают в случаях аварий. Эти отравления характеризуются: 1) кратковременностью действия яда – не более чем в течение одной смены; 2) поступлением в организм яда в относительно больших количествах – при высоких концентрациях в воздухе, ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов; 3) яркими клиническими проявлениями непосредственно в момент действия яда или через относительно небольшой – обычно несколько часов – скрытый (латентный) период. В развитии острого отравления, как правило, имеются две фазы: первая – неспецифических проявлений (головная боль, слабость, тошнота и др.) и вторая – специфических (например, отек легких при отравлении окислами азота).

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном действии ядов, проникающих в организм в относительно небольших количествах. Они развиваются вследствие накопления самого яда в организме (*материальная кумуля-*

ция) или вызываемых им изменений (*функциональная кумуляция*). Поражаемые органы и системы в организме при хроническом и остром отравлениях одним и тем же ядом могут отличаться. Например, при остром отравлении бензолом в основном страдает нервная система и наблюдается наркотическое действие, при хроническом – система кроветворения.

Наряду с острыми и хроническими отравлениями выделяют подострые формы, которые, хотя и сходны по условиям возникновения и проявлениям с острыми отравлениями, но развиваются медленнее и имеют более затяжное течение.

Производственные яды могут быть причиной не только специфических острых, подострых и хронических отравлений, но и других отрицательных последствий. Например: снижение иммунобиологической сопротивляемости организма, способствование развитию туберкулеза, заболеванию почек и других заболеваний, вызывание аллергических заболеваний, способствование развитию опухолей и т.п.

4.2. Пути поступления и судьба ядов в организме

Основными путями проникания ядов в организм на производстве являются органы дыхания и кожные покровы, меньшее значение имеет поступление ядов через желудочно-кишечный тракт. В редких случаях возможно проникновение ядов через поврежденные участки кожи, например попадание ртути под кожу в случае ранения ее стеклом в процессе производства ртутных измерительных приборов.

Большая часть производственных отравлений возникает в результате вдыхания токсичных газов, паров, туманов, аэрозолей. Этому способствуют большая поверхность легочной ткани, быстрота поступления в кровь и отсутствие дополнительных барьеров на пути яда из вдыхаемого воздуха в различные органы и системы.

Важнейшим физико-химическим показателем является коэффициент растворимости паров и газов химических веществ в жидкостях. Под этим термином понимается отношение концентрации газа или пара в равных объемах воздуха и жидкости в момент равновесия. В промышленной токсикологии нашли применение коэффициенты растворимости в системах артериальная кровь/альвеолярный воздух и вода/воздух. В первом случае коэффициент имеет следующее выражение:

$\lambda = \text{конц. в артериальной крови} / \text{конц. в альвеолярном воздухе},$

во втором:

$\lambda = \text{конц. в воде} / \text{конц. в воздухе}.$

Большинство паров и газов растворяется в крови примерно так же, как и в воде, или несколько хуже. Поэтому часто для суждения о накоплении паров и газов в организме используют коэффициент растворимости вода/воздух.

С увеличением этого коэффициента большее количество вещества будет диффундировать из альвеолярного воздуха в кровь, сорбционная емкость организма будет возрастать.

Кожный путь поступления ядов возможен не только при загрязнении кожи растворами и пылью токсических веществ: последние могут всасываться через кожу и в случае наличия токсичных газов и паров в воздухе, так как кожа участвует в процессе дыхания. Кроме того, токсические пары и газы из воздуха способны растворятся в поту и жировом покрытии кожи с последующим всасыванием через нее. Особое значение кожный путь поступления имеет для токсических веществ, растворимых в жирах и жироподобных веществах (липоиды), в частности углеводов, ароматических аминов, соединений типа бензола, анилина, эфиров и т.п.

Проникание ядов через кожу зависит от растворимости их не только в липоидах, но и в воде, так как она в значительной мере определяет возможность поступления в кровь растворенного в кожных покровах вещества.

Поступление ядов через пищеварительный тракт происходит по ряду причин. Основной из них является задержка токсических веществ, особенно в пылевидном состоянии, на слизистой носоглотки и верхних отрезков дыхательного тракта. Осевшие здесь токсические вещества со слизью частично удаляются при кашле, чиханье, частично заглатываются и поступают в желудок. Попадание ядов в пищеварительный тракт возможно и при несоблюдении правил личной гигиены: приеме пищи, курении, если руки загрязнены.

Какова судьба ядов, попавших в организм? В крови и тканях, куда они поступают с током крови, происходят процессы физико-химического взаимодействия ядов с клеточными мембранами, белковыми структурами и другими компонентами клеток и межтканевой среды. Биологическая направленность этих процессов – обезвреживание ядов различными путями.

Первый и главный путь обезвреживания – изменение химической структуры ядов. Например, органические соединения подвергаются чаще всего гидроксигированию (образование –ОН- групп).

Процессы превращения ядов многообразны и включают их окисление, восстановление, расщепление, метилирование, образование сложных парных соединений с серной и глюкуроновой кислотами, аминокислотами, что в конечном

итоге приводит большей частью к возникновению менее ядовитых и активных в организме веществ.

Важную роль в обезвреживании ядов играют их депонирование и выведение. Депонирование (откладывание в тех или иных органах) является временным путем уменьшения количества циркулирующего в крови яда. Например, тяжелые металлы часто откладываются в костях, печени, почках, некоторые вещества – в нервной системе. Процесс этот сложен и не является полноценным методом обезвреживания, так как яды могут из депо вновь поступать в кровь. Поступление ядов из депо в кровоток может периодически резко возрастать при нервном напряжении, заболеваниях, приеме алкоголя, что ведет к обострению хронического отравления.

Третий путь обезвреживания ядов – выведение их из организма. Оно происходит разными путями: через органы дыхания, пищеварения, почки, кожные покровы, железы. Пути выведения ядов зависят от их физико-химических свойств и превращений в организме. Например, органические соединения алифатического и ароматического рядов обычно частично выделяются в неизменном виде с выдыхаемым воздухом, а частично – в измененном виде через почки и желудочно-кишечный тракт. Тяжелые металлы, как правило, выделяются в основном через желудочно-кишечный тракт и почки.

Скорость выведения ядов обычно наибольшая в первые дни и недели после поступления их в организм, а в дальнейшем она замедляется.

4.3. Факторы, определяющие действие ядов на организм

Токсическое действие различных веществ является результатом взаимодействия организма, яда и окружающей среды. Оно зависит от следующих факторов:

1. *Видовые различия* в чувствительности человека и животных к ядам обусловлены сходством или различиями в течении обменных процессов, степенью сложности, дифференцированности нервной системы и механизмов регуляции физиологических функций, продолжительностью жизни, массой тела, величиной и особенностями строения кожных покровов и рядом других причин. Знание видовых различий важно потому, что при исследовании действия ядов на человека и разработке гигиенических нормативов, как правило, проводятся эксперименты на животных. Перенос (экстраполяция) экспериментальных данных с определенного вида животных на человека возможен лишь тогда, когда известно, что имеется общность в превращениях (метаболизме) яда в организме данного вида животных и человека и что при выборе длительности эксперимента была учтена

продолжительность жизни вида животных и длительность жизни человека, его трудового стажа и т.п.

2. *Влияние пола* на направленность и выраженность токсического действия может проявиться в отношении как специфических признаков поражения (влияние на гонады мужчин или женщин, на беременность, эмбриотропное действие и т.п.), так и общего действия. Отмечается большая чувствительность женского организма к действию некоторых органических ядов, например бензола. Некоторые яды, например соединения бора, обладают избирательно выраженной токсичностью в отношении гонад мужского организма.

3. *Влияние возраста*. Организм подростков в 2-3 раза (до 10 раз в отношении некоторых веществ) более чувствителен к ядам, чем взрослых.

4. *Индивидуальная чувствительность* к ядам выражена довольно значительно, что зависит от особенностей течения биохимических процессов у разных лиц (так называемая биохимическая индивидуальность), а также функциональной активности разных физиологических систем. Индивидуальная чувствительность к ядам определяется и состоянием здоровья. Например, лица с заболеваниями крови более чувствительны к действию кроветворных ядов, с нарушениями со стороны нервной системы – к действию нейротропных ядов, с заболеваниями легких – к действию раздражающих веществ и пылей и т.п. Учитывая это, лица с определенными заболеваниями не допускаются к работе в контакте с ядами, которые могут обострить течение болезни, или, наоборот, эти заболевания могут вести к более быстрому и тяжелому течению интоксикации.

На чувствительность организма к ядам оказывает влияние и характер труда. Например, при тяжелой физической работе усиливаются процессы дыхания и кровообращения, что ведет к ускоренному поступлению ядов в организм.

5. *Химическая структура и физические свойства ядов*. Всеобщих закономерностей зависимости токсичности от структуры соединений не существует, однако некоторые правила для определенных классов веществ установлены.

Возрастание токсичности наблюдается в гомологическом ряду углеводов. Это применимо к веществам алифатического ряда, спиртам (кроме метилового), но оно не подтверждается в ряду ароматических соединений. В качестве примеров можно указать, что легкие бензины менее токсичны, чем тяжелые, бутиловый, амиловый и другие высшие спирты токсичнее этилового и пропилового.

Токсичность органических соединений возрастает с увеличением числа ненасыщенных связей, например от этана ($\text{CH}_3 - \text{CH}_3$) к этилену ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) и ацетилену ($\text{CH} \equiv \text{CH}$).

Токсичность снижается с увеличением разветвленности цепи. Это наблюдается среди углеводородов, являющихся изомерами, но имеющих различия в структуре (например, изогептан менее ядовит, чем гептан).

Изменение характера действия, а часто и возрастание токсичности отмечаются при введении в молекулу атома галоидов (хлор, фтор), метильных, амино-(NH₂) и нитрогрупп (NO).

Из физических свойств ядов на токсичность их влияют растворимость, летучесть, агрегатное состояние.

На роль растворимости в воде указывалось выше.

Показателем растворимости вещества в жирах и липоидах является коэффициент распределения масло/вода. Физико-химическая сущность для этого показателя аналогична коэффициенту λ и имеет следующее выражение:

$$K = \text{конц. в масле} / \text{конц. в воде.}$$

Растворимость влияет не только на скорость проникания веществ, но и на характер действия. Так, установлено, что чем больше растворимость вещества в липоидах, тем ярче выражено его нейротропное, в частности наркотическое, действие: чем выше коэффициент распределения масло/вода, т.е. отношение растворимости в липоидах к растворимости в воде, тем больше связывается яд не с кровью, а с тканями, богатыми липоидами (нервной тканью).

На опасность отравления ядом влияет такое физическое его свойство, как летучесть. Летучесть – максимально достижимая концентрация вещества в воздухе при данной температуре (мг/л, мг/куб.м). Чем она выше, тем большие концентрации вещества могут быть в воздухе, тем оно опаснее.

Агрегатное состояние ядов влияет на характер вредного действия и скорость его проявления. Известно, что металлическая ртуть в виде жидкости не токсична, но очень опасна в виде паров. Скорость развития интоксикации при вдыхании ядовитых аэрозолей возрастает с ростом дисперсности, так как увеличение раздробленности вещества резко увеличивает и его удельную поверхность, что ускоряет растворение и всасывание яда в органах дыхания и крови.

6. Концентрация и продолжительность действия яда. Токсический эффект в значительной мере определяется количеством поступившего в организм яда. Для некоторых веществ имеет значение время воздействия. Определенную роль играет непрерывность или прерывистость действия яда.

При поступлении яда в желудочно-кишечный тракт (а в эксперименте также внутривенно, внутрибрюшинно, внутримышечно, подкожно) количество вещества в организме, т.е. введенную дозу, принято рассчитывать на единицу массы

тела (1 г, 1 кг). При поступлении токсических веществ через органы дыхания уровень содержания определяется концентрацией яда в воздухе в мг/куб.м.

Для оценки опасности химических веществ применяются следующие показатели:

а) *Средняя смертельная доза* при введении в желудок – это доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном введении в желудок – DL50.

Средняя смертельная концентрация в воздухе – это концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при 2-4 часовом ингаляционном воздействии – CL50.

б) *Порог острого действия* – пороговая концентрация или минимально действующая, которая при однократном воздействии вызывает статистически достоверные изменения интегральных показателей животного организма (например, изменения показателей рефлекторной деятельности) - LIMac.

в) *Порог хронического действия* – минимальная (пороговая) концентрация, вызывающая вредное действие в хроническом эксперименте по 4 часа 5 раз в неделю на протяжении 4 месяцев – LIMch.

г) *Зона острого действия* (Sac) – характеризует потенциальную опасность возникновения острых отравлений и является отношением среднесмертельной концентрации к порогу острого действия:

$$Sac = CL50 / LIMac,$$

где CL50- среднесмертельная концентрация; LIMac – порог острого действия.

Чем меньше зона острого действия, тем опаснее вещество, так как даже небольшое повышение концентрации, начиная от пороговой, уже может вызывать крайние формы влияния на организм, т.е. смерть.

д) *Зона хронического действия* – отношение порога острого действия к порогу хронического действия:

$$Sch = LIMac / LIMch,$$

где LIMac – порог острого действия; LIMch – порог хронического действия.

Интервал между LIMac и LIMch удовлетворено характеризует опасность возникновения хронического отравления. Если этот интервал велик, т.е. LIMch слишком мала по сравнению с LIMac, то в животном организме создаются хорошие условия для суммирования эффекта малых концентраций и, следовательно, для развития интоксикации. Иными словами, чем шире зона хронического действия, тем опаснее испытываемое вещество, так как кумулятивные свойства, выра-

жающиеся в накоплении эффекта в хроническом эксперименте, будут выражены сильнее.

Опасность яда – возможность возникновения интоксикации в естественных условиях на производстве зависит не только от токсичности вещества (например, устанавливаемой по величинам DL50 или CL50), но и других его свойств, прежде всего летучести. Малотоксичное, но высоколетучее вещество в условиях производства может оказаться гораздо опаснее, чем высокотоксичное, но малолетучее.

В настоящее время опасность химических веществ часто оценивают по величине КВИО – «*коэффициента возможности ингаляционного отравления*», который равен отношению C_{20}/CL_{50} , где C_{20} - максимально достижимая концентрация вещества при 20 градусах Цельсия, CL_{50} - среднесмертельная концентрация для животных (белых мышей) при двухчасовом воздействии (120 мин). Таким образом, КВИО объединяет два важнейших показателя опасности острого отравления: летучесть вещества и дозу, вызывающую наибольший биологический эффект, т.е. гибель организма.

Токсический эффект зависит не только от дозы и концентрации вещества: имеют значение также время (продолжительность) и периодичность воздействия ядов. В отношении многих веществ, поступающих в организм через дыхательные пути, установлено, что сила токсического действия (W) находится в прямой зависимости от концентрации (c) и времени (t) воздействия, т.е. $W=c \cdot t$. Эта закономерность в большинстве случаев отражает зависимость эффекта от дозы, так как чем больше концентрация яда в воздухе и продолжительнее время действия, тем больше вещества поступает в организм.

7. Комбинированное действие ядов, влияние физических факторов среды.
Изолированное действие ядов на производстве, особенно в химической промышленности, встречается редко; обычно работающие подвергаются одновременному воздействию нескольких веществ, т.е. имеет место комбинированное действие ядов.

Различают несколько видов комбинированного (совместного) действия ядов:

1) *Однородное действие* – компоненты смеси действуют на одни и те же системы в организме, при количественно одинаковой замене их друг другом токсичность смеси не изменяется. В этих случаях говорят о простой аддитивности (от addition – сложение, дополнение) или простом суммировании: суммарный эффект смеси равен сумме эффектов действующих компонентов.

2) *Независимое действие* – компоненты смеси действуют на разные системы, токсические эффекты не связаны друг с другом и в случае их возникновения

(например, гибели), они являются результатом воздействия одного или другого компонента, а не развития комбинационного эффекта.

3) *Положительный синергизм*, или потенцирование (от potent – сильнодействующий), и *отрицательный синергизм* (депотенцирование, антагонизм) – комбинированное действие смеси веществ, которое по своему эффекту в первом случае больше, а во втором – меньше, чем сумма действий отдельных веществ смеси.

Токсический эффект, как отмечалось выше, является результатом взаимодействия яда, организма и условий внешней среды: температуры и влажности воздуха, барометрического давления, ультрафиолетовой радиации, шума и др.

Токсичность ядов в определенном температурном диапазоне является наименьшей, усиливаясь как при повышении, так и при понижении температуры воздуха. Главной причиной этого является изменение функционального состояния организма: нарушение терморегуляции, потеря воды при усиленном потоотделении, изменение обмена веществ и ускорение многих биохимических процессов. Учащение дыхания и усиление кровообращения ведут к увеличению поступления ядов в организм через органы дыхания. Расширение сосудов кожи и слизистых повышает скорость всасывания токсических веществ через кожу и дыхательные пути. В этом же направлении влияет усиленное потоотделение.

Влажность воздуха может увеличивать опасность отравлений, в особенности раздражающими газами. Причина, по-видимому, в усилении процессов гидролиза, повышении задержки ядов на поверхности слизистых оболочек, изменении агрегатного состояния ядов.

Изменение барометрического давления также влияет на токсический эффект. При повышении давления возрастание токсического действия происходит вследствие двух причин: во-первых, усиленного поступления яда вследствие роста парциального давления газов и паров в альвеолярном воздухе и ускоренного перехода их в кровь, во-вторых, изменения многих физиологических функций, в первую очередь дыхания, кровообращения, состояния центральной нервной системы и анализаторов. При понижении барометрического давления первая причина отсутствует, но усиливается влияние второй.

В производственных условиях встречается сочетание действия ядов и ультрафиолетовых лучей (транспортные рабочие, регулировщики, грузчики и др.). Ультрафиолетовые лучи влияют на процессы взаимодействия газов в смесях, например, способствуя образованию смога из выхлопных газов автомашин.

Имеются данные об усилении действия ядов при одновременном влиянии на организм шума и вибрации. Причиной этого, по-видимому, является изменение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

4.4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Предельнодопустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны – концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Предельно допустимые концентрации токсических веществ используются на практике для оценки санитарной обстановки на производстве, эффективности оздоровительных мероприятий, например вентиляции, а также при проектировании новых цехов и пр.

При обосновании ПДК производственных ядов исходят из:

- а) учета физико-химических свойств вещества;
- б) результатов экспериментальных исследований;
- в) данных гигиенических наблюдений на производстве, материалов о состоянии здоровья и заболеваемости рабочих.

Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия (LIMch).

Предельно допустимая концентрация устанавливается на уровне в 2-3 раза и более низком, чем LIMch. Этот коэффициент снижения называется «коэффициентом запаса» («индекс безопасности», «коэффициент прочности»).

Это можно выразить в виде формулы:

$$\text{ПДК} = \text{LIMch} / K,$$

где K – коэффициент запаса.

Величина K тем больше, чем уже зона острого токсического действия, выраженнее кумулятивные свойства, шире зона хронического токсического действия. При обосновании коэффициента запаса учитываются КВИО, возможность кожно-резорбтивного действия: чем они значительнее тем больше избираемый коэффициент запаса.

4.5. Классификация производственных ядов

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на

4 класса опасности: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные (таблица 4.1).

Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

Классификация ядов по их опасности является основной для выбора менее вредных веществ при внедрении их в производство и определения степени строгости в соблюдении гигиенических требований по борьбе с профессиональными отравлениями.

Таблица 4.1

Классификация производственных ядов по степени опасности

| Показатель | Нормы для класса опасности | | | |
|---|----------------------------|------------|--------------|------------|
| | 1-го | 2-го | 3-го | 4-го |
| Предельно-допустимая концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/куб. м | Менее 0,1 | 0,1 – 1,0 | 1,1 – 10,0 | Более 10 |
| Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг - DL50 | »15 | 15 – 150 | 151 – 5000 | »5000 |
| Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг | »100 | 100 – 500 | 501 - 2500 | »2500 |
| Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/куб. м - CL50 | »500 | 500 – 5000 | 5001 – 50000 | »50000 |
| Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО) | Более 300 | 300 – 30 | 29 – 3 | Менее 3 |
| Зона острого действия - Sac | Менее 6,0 | 6,0 – 18,0 | 18,1 – 54,0 | Более 54,0 |
| | Более 10,0 | 10,0 – 5,0 | 4,9 – 2,5 | Менее 2,5 |
| Зона хронического действия - Sch | | | | |

4.6. Общие методы борьбы с профессиональными отравлениями

4.6.1. Устранение яда из технологического процесса

Этот путь является наиболее радикальным. При этом возможна замена токсических веществ менее токсичными или вообще введение новой технологии, исключающей условия для выделения токсических веществ в воздух, например закалка металлов токами высокой частоты вместо свинцовых ванн, запрещение использования свинцовых белил, замена бензола менее токсичными его гомологами

(ксилол, толуол) в обувной, полиграфической и других отраслях промышленности, устранение фосфора из спичечного производства, ртути – из производства фетра и т.п.

4.6.2. Совершенствование технологии и оборудования

Оно возможно как путем введения принципиально новых решений, так и непрерывных процессов и автоматизации. Например, в машиностроительной промышленности вместо пульверизационной окраски станков, машин и др. изделий, при которой воздух интенсивно загрязняется парами растворителей и красочных аэрозолей, внедряется окраска в электростатическом поле, причем это не только облегчает труд, но и значительно уменьшает загрязнение воздуха в рабочей зоне.

К этому методу также относятся: а) автоматизация и механизация производственных процессов; б) герметизация оборудования и контроль за их состоянием.

4.6.3. Гигиенические и санитарно-технические мероприятия

К ним относятся: гигиеническая стандартизация сырья, контроль за состоянием воздушной среды, соблюдение гигиенических требований в условиях повышенной опасности действия ядов (аварийные ситуации, ремонтные работы), профилактика отравлений с помощью планировки и отделки зданий, использование средств индивидуальной защиты, эффективной вентиляции, санитарный инструктаж рабочих.

4.6.4. Законодательные санитарные и лечебно-профилактические мероприятия

В отношении лиц, работающих с ядовитыми веществами, законодательство предусматривает *ограничение рабочего дня, увеличение длительности отпуска, более ранние сроки выхода на пенсию*. На ряд производств, где имеется повышенная опасность отравлений или действия ядов на специфические функции организма, не допускаются женщины и подростки.

В государственном порядке установлены ПДК вредных веществ в рабочей зоне. Они обязательны для администрации предприятий.

Обязательными являются учет и регистрация профессиональных отравлений.

Лечебно-профилактические мероприятия играют важную роль в предупреждении возникновения производственных отравлений. В первую очередь к ним относятся медицинские осмотры рабочих и организация специального питания.

Министерством здравоохранения предусмотрена обязательность предвари-

тельных при поступлении на работу и последующих периодических медицинских осмотров рабочих. Цель предварительного осмотра – не допустить к работе с ядами лиц с такими заболеваниями, которые могут обостриться при поступлении в организм даже небольших количеств токсических веществ, а также тех, которые могут способствовать более быстрому возникновению отравления (например, заболевания крови при работе с бензолом, нервные заболевания при работе с марганцем и т.п.). После поступления на работу, связанную с возможностью отравлений, работающие периодически, например раз в год или чаще, подвергаются врачебному осмотру, лабораторным и рентгенологическим исследованиям с целью контроля за их здоровьем и выявления наиболее ранних признаков интоксикации, своевременного прекращения контакта с ядами, оздоровления условий труда.

Для рабочих ряда производств, где возможно влияние ядов, предусмотрено дополнительное и специальное питание. Дополнительное питание в виде 0,5 л молока имеет значение для повышения общей сопротивляемости организма, так как молоко обладает высокой питательной ценностью и содержит полноценные белки, соли, витамины. Под специальным питанием понимают выдачу рабочим некоторых производств таких рационов, которые ведут к активации биохимических процессов в организме, на течение которых тот или иной яд оказывает отрицательное влияние.

4.7. Важнейшие промышленные яды

4.7.1 Свинец – Pb

Свинец — тяжелый металл, плавится при температуре 327 °С и кипит при 1525 °С, но начинает испаряться уже при 400—500 °С. Отравления рабочих могут наблюдаться при добыче свинцовых руд, выплавке свинца, применении свинца и его соединений в производстве белил, сурика, при изготовлении аккумуляторов, кабеля, подшипников, применении свинецсодержащих сплавов в полиграфии и др.

Основным путем поступления свинца в организм в производственных условиях является дыхательный тракт: меньшее значение имеют желудочно-кишечный тракт и кожные покровы. В наибольших количествах свинец накапливается в печени, почках, поджелудочной железе и костях. Выделяется в основном через кишечник и почки, но его можно обнаружить также в слюне, молоке и других экскретах.

Свинец может вызвать медленно развивающееся хроническое отравление, ранние стадии которого протекают почти бессимптомно.

К симптомам интоксикации свинцом относят:

1. *Свинцовая кайма* - узкая, лиловато-аспидного цвета полоска по краю десен. Она обычно локализуется у передних зубов.

2. *Свинцовый колорит* - землисто-бледная окраска кожных покровов, обусловленная спазмом сосудов, а также повышенным количеством порфирина в крови.

При отравлении свинцом поражаются многие органы и системы, но преимущественно система крови, нервная, сердечно-сосудистая, а также желудочно-кишечный тракт и печень.

Изменения нервной системы в начальных стадиях характеризуются астеническим синдромом - жалобами на головную боль, утомляемость, головокружение, раздражительность, ухудшение сна и т. п. При более выраженных стадиях отравления, возможна энцефалопатия с неравномерностью зрачков, тремором, гемипарезами и др. Иногда развивается полиневрит - двигательная форма в виде паралича разгибателей кисти и пальцев рук или чувствительная форма с жалобами на боли в конечностях, болезненностью при пальпации по ходу нервов, торными расстройствами (потливость, снижение кожной температуры, ослабление пульса в области тыльной артерии стопы и др.).

Гематологические сдвиги при свинцовой интоксикации в основном происходят в красной крови.

Поражение желудочно-кишечного тракта проявляется в жалобах на диспепсию (плохой аппетит, тошнота, изжога и др.), изменении секреции, чаще в сторону ее усиления. В наиболее тяжелых случаях возникает свинцовая колика — схваткообразные, очень интенсивные боли в животе, запор, не поддающийся действию слабительных. При этом артериальное давление возрастает до 200 мм рт. ст. и выше, пульс 40÷48 в минуту. Нередко приступ сопровождается тошнотой, рвотой, ознобом, повышением температуры до 37,5÷38°C. Продолжительность колики от нескольких часов до 2÷3 нед.

Поражение печени протекает по типу токсического гепатита,

При хронических отравлениях свинцом поражается сердечно-сосудистая система (атеросклеротические процессы в сосудах, повышение давления, изменение ЭКГ).

Очень редко при свинцовых отравлениях возникают поражения органа зрения: изменение глазного дна, временная потеря зрения, нистагм.

Токсичность свинца в значительной мере связана с его выраженными кумулятивными свойствами, способностью задерживаться в депо, периодически вновь

поступая в кровь и вызывая обострения в течении интоксикации.

ПДК=0,01 мг/м³, класс опасности 1, агрегатное состояние – аэрозоль.

4.7.2. Тетраэтилсвинец – Pb(C₂H₅)₄

Тетраэтилсвинец или ТЭС - металлоорганическое соединение. Это бесцветная маслянистая летучая жидкость с фруктовым запахом, кипит при 200 °С, хорошо растворяется в органических растворителях и жирах. При ее сгорании образуется окись свинца. ТЭС входит в состав этиловой жидкости (50%) и этилированного бензина (0,5-4 мл на 1 л бензина), улучшая качество топлива для двигателей внутреннего сгорания, так как является антидетонатором.

Отравления рабочих возможны в производстве ТЭС, на смесительных станциях (при получении этиловой жидкости, добавлении ТЭС и этиловой жидкости к бензину), при транспортировке, хранении, использовании этиловой жидкости и бензина на нефтебазах, аэродромах, в гаражах и т. п.

ТЭС, легко испаряясь, проникает в организм через дыхательные пути, быстро всасывается через кожу. В виде целостной молекулы он в течение нескольких дней - до 3 суток и более циркулирует в организме, постепенно подвергаясь расщеплению; при этом выделяется свинец, который частично депонируется в паренхиматозных органах и головном мозге, а частично выводится с мочой и калом.

ТЭС является высокотоксичным ядом и может вызывать острые, подострые и хронические отравления.

Клиника острых отравлений весьма характерна. После латентного периода от нескольких часов до нескольких суток болезнь развивается с постепенным нарастанием симптомов. В начальной стадии возникают резкая головная боль, слабость, металлический вкус во рту, нередко появляется эйфория. Часто нарушен сон: он становится прерывистым, сопровождается кошмарными сновидениями, криком, беспокойством. Днем наблюдается состояние подавленности, тревоги, страха. Память снижена.

Обычно развиваются вегетативные расстройства: гипотония, брадикардия, гипотермия, усиленное слюноотечение. Нередки парестезии — ощущение ползания насекомого по телу, зуда, волоса или нити на языке. Объективно наблюдаются тремор пальцев вытянутых рук, нистагм, неуверенная походка, несколько нарушенная речь.

При наиболее легкой астенической форме отравления повышена утомляемость, нарушено внимание, наблюдаются эмоциональная неустойчивость, головные боли, плохой сон. Все эти явления сопровождаются вегетативными расстройствами.

При легких формах острых отравлений состояние больных постепенно улучшается и наступает полное выздоровление. В более тяжелых случаях процесс постепенно прогрессирует с нарастанием психических расстройств и органических поражений нервной системы. В случае выздоровления возможны отдаленные последствия в виде нарушений психики — эмоциональная неустойчивость, ослабление интеллекта и др.

Хронические отравления при длительном воздействии небольших концентраций ТЭС могут долго протекать скрыто и обычно носят легкий характер. В их развитии также различают несколько стадий. Первоначально на фоне вегетативных нарушений (брадикардия, гипотония, гипотермия, повышенная саливация) возникает состояние астении с расстройством сна, эмоциональной неустойчивостью, парестезиями, иногда сексуальными расстройствами. В дальнейшем эти явления нарастают, сменяясь картиной токсического психоза, который нередко возникает на фоне алкогольного опьянения.

Через несколько лет после перенесенной хронической интоксикации возможны отдаленные последствия: состояние астении, нарушенный сон, эмоциональная неуравновешенность, ослабление интеллектуальных функций. У некоторых лиц быстро прогрессирует атеросклероз, иногда развивается тяжелая форма гипертонической болезни.

ПДК=0,005 мг/м³, класс опасности 1, агрегатное состояние – пары.

4.7.3. Ртуть – Hg

Ртуть - жидкий тяжелый металл, кипит при 357 °С, но испаряется уже при комнатных температурах. При разливе образует мелкие капельки, что увеличивает поверхность испарения. Образование паров возрастает с повышением температуры. Пары ртути в 7 раз тяжелее воздуха и при отсутствии конвекционных тепловых токов воздуха скапливаются в нижних зонах помещений.

Отравления рабочих возможны при добыче и выплавке ртути, применении ее при производстве измерительных приборов, ламп, использовании ртутных выпрямителей, насосов, в производстве ртутных соединений, фармацевтических препаратов и др. Как производственный яд наибольшее значение имеют пары ртути, но в промышленности используется также ряд органических и неорганических ее соединений.

В организм пары ртути поступают через дыхательные пути (соли ее могут проникать и через кожные покровы) и длительно циркулируют в нем в виде сложных органических соединений - альбуминатов и др. Ртуть обладает кумуля-

тивными свойствами, накапливаясь в печени, почках, селезенке, мозговой ткани; периодически она из депо вновь поступает в ток крови. Выводится ртуть через почки, кишечник, слюнные, потовые, молочные железы и с желчью.

Острые отравления ртутью в промышленности почти не встречаются - возможны лишь редкие случаи при авариях, чистке котлов и печей на ртутных заводах. Клиническая картина в этих случаях характеризуется появлением головной боли, лихорадочного состояния, металлического вкуса во рту, рвоты, поноса. Через несколько дней развиваются стоматит, изъязвление десен.

Наибольшее значение имеют хронические отравления, которые длительно могут протекать бессимптомно. Различают начальные и выраженные формы интоксикации.

Начальные признаки проявляются в повышенной утомляемости, головных болях, раздражительности, эмоциональной неустойчивости, ухудшении сна. Характерные симптомы — тремор пальцев вытянутых рук, особенно при волнении, а также снижение обоняния. К ранним признакам отравления относится поражение десен: разрыхление, кровоточивость с последующим развитием гингивита или стоматита, иногда язвенного; лабильность пульса (склонность к его учащению), ярко-красный разлитой дермографизм, повышенная потливость.

Наиболее характерно развитие выраженного астеновегетативного синдрома: потеря аппетита, похудание, состояние угнетенности, раздражительность. Беспокоят постоянные головные боли, быстрая утомляемость при обычной работе. Возникает весьма специфичный для отравления ртутью комплекс нервно-психических расстройств в эмоциональной сфере - «ртутный эретизм». Он проявляется в повышенной смущаемости, неуверенности в себе, невозможности продолжать работу в присутствии посторонних лиц из-за сильного волнения. Все это сопровождается резкими вегетативными явлениями - покраснением лица, сердцебиением, потливостью. Тремор рук в этой стадии становится значительным и постоянным, мешая выполнению работы.

При тяжелых формах отравления возможны поражения промежуточного мозга, энцефалопатия, полиневрит. Первые проявляются в виде приступов с полубморочными состояниями, болями в области сердца, тахикардией, похолоданием конечностей бледностью кожи лица, выраженными эмоциональными реакциями. Картина ртутной энцефалопатии выражается в крупноразмашистом дрожании рук, ног, головы, нарушениях походки, речи, измененной психике. При ртутных полиневритах возникают расстройства чувствительности, в легких случаях наблюдаются парестезии, боли в конечностях, в выраженных - возможно поражение локтевого нерва.

При ртутных отравлениях, особенно средней тяжести и тяжелых, происходят изменения внутренних органов: ртутный гингивит и стоматит, гастрит, колит, нарушения сердечной деятельности, обнаруживаемые на ЭКГ. Реже развиваются гепатит и нефрит.

Органические соединения ртути токсичнее неорганических, они легко проникают в мозговую ткань и задерживаются в ней. Возможны подострые и хронические отравления с симптомами преимущественного поражения нервной системы, слизистой оболочки рта, желудочно-кишечного тракта и др. Характерны нарушения сна, головные боли, головокружения, тремор рук, слуховые и зрительные галлюцинации. Наблюдаются жажда, повышенное слюноотечение, снижение гемоглобина в крови, ртуть в моче.

ПДК ртути = 0,01 мг/м³, класс опасности 1, агрегатное состояние – пары.

4.7.4. Марганец – Mn

Марганец - сероватый, хрупкий, химически активный металл, плавится при температуре 1200 °С, кипит при 1900 °С. При высоких температурах образует окислы в виде бурого дыма (MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO).

Влияние марганца на рабочих возможно при добыче и переработке марганцевых руд, в производстве качественных сортов стали (в их состав может входить до 12-13% марганца), сплавов. Соединения марганца применяются также в электротехнической, химической, стекольной промышленности, для получения катализаторов, удобрений и т. п. Марганец может выделяться в воздух в производстве и при применении качественных электродов и плавящих флюсов, при электро-сварке, газорезке марганцовистых сталей и др.

Поступает марганец в организм, главным образом, ингаляционным путем в виде аэрозолей. Накапливается преимущественно в легких, печени, нервной системе и костях. Выделение из организма происходит через желудочно-кишечный тракт и почки.

В производственных условиях опасность представляют хронические формы отравления марганцем.

Начальные формы интоксикации клинически малосимптомны, жалоб немного и выявляются они лишь при активном опросе. К ним относятся: слабость в конечностях, неловкость в движениях (затруднение подъема на лестницу), тупые головные боли, пониженная работоспособность, сонливость, заторможенность, недостаточная критичность к своему состоянию, слабая мимика, ухудшенная

речь. Характерны симптомы вегетативной дисфункции: повышенная саливация (особенно во сне), потливость.

Выраженная форма хронического отравления - марганцевый паркинсонизм-проявляется характерным синдромом, в котором преобладают явления экстрапирамидной недостаточности с преимущественным поражением ног. Признаки заболевания могут возникнуть внезапно после длительного латентного периода, а затем бурно прогрессируют. Нарушается походка, туловище наклонено вперед, больные ступают на пальцы, равновесие грубо нарушено. Лицо маскообразное, мигание редкое, значительно повышая пластический тонус мышц, нарастающий при пассивных движениях, почерк, как правило, изменен (микрография).

Весьма характерны расстройства эмоциональной сферы: в ответ на любой раздражитель появляется насильственный смех, часто возникает застывшая улыбка, речь нарушена. Нередко отношение к своему состоянию не критичное, отмечается эмоциональная тупость или состояние угнетенности.

Явления паркинсонизма имеют тенденцию к прогрессированию и после прекращения контакта с марганцем, приводя к инвалидизации больных.

ПДК=0,3 мг/м³, класс опасности 2, агрегатное состояние – аэрозоль.

4.7.5. Хлор-, фтор-, серо- и азотосодержащие соединения

К этой группе относятся следующие вещества: хлор Cl, фосген COCl₂, дифосген, хлорпикрин CCl₂NO₂, хлорокись фосфора POCl₃, фтористый водород, сернистый и серный ангидриды SO₂, SO₃, сероводород (H₂S), окись и двуокись азота NO, NO₂, перфторизобутилен (C₄F₈), аммиак NH₃. Вещества являются газами тяжелее воздуха. По растворимости в воде делятся на две группы: хорошо растворимые и плохо растворимые вещества. Применяются в химической, нефтяной, металлургической, бумажной, текстильной промышленности, в производстве пластических масс, в сельском хозяйстве. Проникают в организм ингаляционным путем. Газы, хорошо растворимые в воде: «фтористый водород, хлор, хлорпикрин, серный и сернистый ангидриды, аммиак, сероводород поражают преимущественно верхние и глубокие дыхательные пути.

При остром отравлении возникает: токсический ларингит, бронхит; в более тяжелых случаях - токсический бронхиолит, отек легких, пневмония. Плохо растворимые в воде газы ÷ фосген, дифосген, окислы азота, проникая в глубокие дыхательные пути, вызывают в «их патологические изменения: Токсическое действие характеризуется латентным периодом (различной длительности). Типичными формами интоксикации являются: отек легких, бронхиолит, пневмония,

токсический бронхит. Развитие токсического отека легких включает следующие стадии: период раздражения, период мнимого благополучия, нарастание отека легких, период завершеного отека, обратное развитие отека.

Наиболее токсичными газами являются перфторизобутилен, фтористый водород, фосген, хлор.

ПДК хлора = 1 мг/м^3 , класс опасности 2, агрегатное состояние – газ.

ПДК фтористого водорода = $0,5 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2, агрегатное состояние – газ.

ПДК перфторизобутилена = $0,1 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 1, агрегатное состояние – газ.

ПДК фосгена = $0,5 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2, агрегатное состояние – газ.

4.7.6. Окись углерода – CO

Окись углерода, CO, - бесцветный газ без запаха и вкуса, несколько легче воздуха. Образуется при неполном сгорании угля, нефти и других горючих веществ, работе двигателей внутреннего сгорания. Отравления CO возможны на производстве: в котельных, доменных, мартеновских, литейных цехах, при испытании двигателей, на предприятиях, где проводятся обжиг, сушка, подогрев или используются топливные газы (кирпичные, цементные, керамические заводы), в химической промышленности в случае применения CO в качестве сырья - при получении метилового спирта, ацетона и др., а также в быту.

В организм CO поступает через органы дыхания. Механизм токсического действия CO в основном связан с блокированием гемоглобина, с которым она образует карбоксигемоглобин (COHb), который не переносит кислород к тканям.

При острых отравлениях CO возникает характерная ярко-красная окраска кожи и слизистых оболочек, степень выраженности которой зависит от тяжести отравления. Клиническая картина обусловлена поражением многих органов и систем, но особенно нервной системы. В легких случаях возникают головная боль пульсирующего характера, головокружение, общая слабость, тошнота, рвота, слабость в ногах, учащенное сердцебиение, обморочные состояния при физическом напряжении.

В случаях длительного действия высоких концентраций CO при тяжелых отравлениях может развиваться коматозная форма интоксикации: быстрая потеря сознания, угнетение рефлексов, ригидность мышц, судороги, расстройство сердечной деятельности и дыхания вплоть до паралича дыхательного центра. При выходе из комы наступает двигательное возбуждение (потеря ориентации, агрес-

сивность, попытки бежать), сменяющееся состоянием оглушенности, заторможенности, подавленности. Память нарушена, причем у некоторых больных довольно стойко. Возможны психозы, эпилептические припадки. В отдаленные периоды после тяжелых интоксикаций могут развиваться явления паркинсонизма (амимия, скованность движений и т. п.), реже неврит и полиневрит.

При тяжелых отравлениях наблюдались поражения зрительного тракта – отек сетчатки, кровоизлияния вдоль сосудов, атрофия нерва, что в отдельных случаях может вести к потере зрения. Наблюдаются и трофические поражения кожи и мышц.

Хронические отравления окисью углерода имеют пеструю симптоматику. Часто наблюдается астеновегетативный синдром: головная боль, головокружение, вялость, бессонница. Память, внимание ухудшены, появляется эмоциональная неустойчивость. Описаны и органические поражения центральной нервной системы – изменение походки, вестибулярные нарушения и др. Наблюдается склонность к ангиоспазмам, обморочным состояниям. Характерны изменения в крови: полиглобулия, повышенное содержание железа.

ПДК=20 мг/м³, класс опасности 4, агрегатное состояние – газ.

4.7.7. Ароматические углеводороды

К этой группе веществ относятся: бензол (C₆H₆), толуол (C₆H₅CH₃), ксилол C₆H₄(CH₃)₂ и другие производные. Это летучие жидкости, хорошо растворимые в жирах, липоидах и органических растворителях. Растворимость их в воде очень мала. Применяются в качестве растворителей (красок, лаков), в химической, радиотехнической, резиновой, фармацевтической промышленности. Поступают в организм преимущественно ингаляционным путем, через кожные покровы (бензол). Выделяются через дыхательные пути (с выдыхаемым воздухом), почками, молочными железами. В организме накапливаются во внутренних органах, оказывают токсическое действие на кроветворный аппарат, нервную систему и внутренние органы (печень). Бензол обладает более выраженной токсичностью, чем толуол и ксилол, в организме окисляется в фенол и диоксибензол. Картина острого отравления бензолом характеризуется преимущественно симптомами наркотического и общетоксического действия.

Острые отравления бензолом могут быть легкими, средней тяжести и тяжелыми. Острое легкое отравление характеризуется функциональным расстройством нервной деятельности (слабость, головная боль, тошнота).

Хроническая интоксикация бензолом имеет несколько стадий. Первая

(начальная) - характеризуется изменением системы крови (лейкопения), неврастеническим синдромом (с вегетативной дисфункцией), геморрагическим синдромом. Во второй (умеренно выраженной) стадии присоединяются тромбоцитопения, астеновегетативные изменения (с артериальной гипотонией), явления миокардиострофии, вегетативного полиневрита. В третьей (выраженной) стадии возникают анемия, явления энцефалопатии, токсического гепатита, нефропатии (тематурия).

ПДК=5 мг/м³, класс опасности 2, агрегатное состояние – пары.

4.7.8. Хлорированные углеводороды

К этой группе веществ относятся: четыреххлористый углерод (CCl₄), дихлорэтан (C₂H₄Cl₂), тетрахлорэтан (C₂H₂Cl₄), хлорэтан (C₂H₅Cl), трихлорэтилен (C₂HCl₃), галовакс (C₁₀H₇Cl). Представляют собой летучие жидкости и газы (за исключением галовакса), хорошо растворяются в жирах, плохо растворимы в воде.

Широко применяются при органическом синтезе, а также в различных отраслях промышленности в качестве органических растворителей, диэлектриков. Поступают в организм ингаляционным путем, а также через кожные покровы. Выделяются через дыхательные пути, почками, молочными железами. В организме накапливаются в липоидосодержащих тканях. Хлорированные углеводороды относятся к так называемым гепатотропным ядам, оказывают непосредственное действие на митохондрии печеночных клеток, угнетая окислительные и обменные процессы в них, нарушают внутридольковое кровообращение. Они обладают также наркотическим и раздражающим действием, которое сильнее выражено у производных этана и метана, чем этилена.

Легкое острое отравление характеризуется наркотическим (слабость, тошнота) и раздражающим действием. Могут быть начальные явления токсического гепатита (четырёххлористый углерод, дихлорэтан, галовакс). Тяжелое острое отравление протекает при явлениях токсического гепатита, межжелудочного миокардита и нефрозонефрита. Характерными являются также геморрагический синдром, гематологические изменения (лейкоцитоз), повышение температуры тела, изменение функции центральной и периферической нервной системы (начальные явления полиневрита). Хроническое отравление характеризуется астеновегетативным синдромом, начальными явлениями токсического гепатита.

ПДК дихлорэтана = 10 мг/м³, класс опасности 2, агрегатное состояние – пары и газы.

ТЕМА 5. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

5.1. Метеорологические условия и их особенности

Производственная деятельность может осуществляться на открытом воздухе и в помещениях. На открытом воздухе протекает труд большей части сельскохозяйственных рабочих, строителей, нефтяников, шахтеров и горняков в карьерах, геологов, лесозаготовителей и др. Однако большая часть работ выполняется в помещениях. Сюда относится труд в ведущих отраслях промышленности: машиностроительной, металлургической, текстильной, химической, обувной и многих других. В последние десятилетия в некоторых отраслях промышленности, например в химической, нефтехимической, часть оборудования располагается в помещениях, а другая – на открытом воздухе. Во всех этих случаях в рабочей зоне возникает определенный микроклимат.

Метеорологические условия (микроклимат) на производстве – комплекс физических факторов внешней среды, оказывающих преимущественное влияние на терморегуляцию организма. К ним относятся температура воздуха, его влажность и скорость движения, а также лучистое тепло. По ГОСТ 12.1.005 "Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей".

Благоприятные (комфортные) метеорологические условия на производстве являются важным условием высокопроизводительного труда и профилактики заболеваний. В случае несоблюдения гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность появления травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Температура воздуха – степень его нагретости, которую выражают в градусах. При работах на открытом воздухе она колеблется в зависимости от сезона, погодных условий, времени дня. В помещениях температура воздуха также бывает различной. Причиной нагрева воздуха являются мощные производственные источники (плавильные, нагревательные печи и др.), нагретые обрабатываемые материалы и предметы, работа механизмов и электродвигателей, инсоляция (в южных районах, средней полосе), люди, особенно при физической работе.

Лучистое тепло (инфракрасная радиация) – электромагнитные излучения определенной длины волны (спектра), обладающие тепловыми свойствами. Электромагнитные волны могут иметь различную длину, что определяет их физиче-

ские и биологические свойства. Инфракрасные лучи невидимы, длина волны колеблется от 0,76 до 500 мкм, в гигиенической практике имеет значение более узкая область – до 30-60 мкм.

Величина отдачи тепла излучением в очень большой степени зависит от температуры тела: она прямо пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:

$$\varepsilon = \delta \cdot T^4,$$

где ε - теплоотдача в калориях;

δ – постоянная величина, равная $1,38 \cdot 10^{-12}$ кал/см²·с;

T - абсолютная температура (t + 273°С).

В соответствии с этим законом даже небольшое увеличение температуры тела приводит к значительному росту отдачи тепла излучением. Короткие лучи (до 1,4 мкм) проникают в ткани на глубину нескольких сантиметров, более длинные (1,4 – 8 мкм) поглощаются верхними слоями кожи. Особенно сильно поглощаются лучи с длиной волны 3 и 6 мкм.

При прохождении инфракрасных лучей через воздух он не нагревается. Между двумя телами, имеющими разную температуру нагрева, устанавливается радиационный теплообмен с отдачей тепла от более нагретого тела менее нагретому. В металлургии на долю инфракрасной радиации может приходиться больше ²/₃ общего тепла, поступающего в цех.

Биологическое действие лучистого тепла имеет ряд особенностей: прогревание более глубоких слоев кожи, образование в тканях биологически активных веществ, в частности пирогенных, способствующих повышению температуры тела в органах за счет усиления обмена веществ. При инфракрасном облучении кожи, повышается ее температура, изменяется тепловое ощущение. При значительных интенсивностях возникают ощущения жжения, боль. Время переносимости тепловой радиации уменьшается с увеличением длины волны и ее интенсивности.

Сроки переносимости(в секундах) инфракрасной радиации в зависимости от ее интенсивности и длины волны

| Интенсивность радиации, кал/(см ² ·мин) | Длина волны, мкм | |
|--|------------------|-------|
| | 3,6 | 1,07 |
| 2 | 159,0 | 305,0 |
| 4 | 27,3 | 37,9 |
| 6 | 12,9 | 21,2 |
| 8 | 9,5 | 14,5 |

Влияние радиационного тепла различно в зависимости от зоны облучения: наибольший эффект наблюдается при облучении шейной области и верхней половины туловища, наименьший – при облучении ног (области бедра). Выносимость к облучению возрастает с увеличением периода облучения, при котором наблюдаются процессы приспособления (адаптации), сохраняющиеся довольно долго. Молодые рабочие чувствительны, поэтому целесообразно постепенно увеличивать время облучения их на производстве.

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров. Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность. Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40–60%, но в ряде производств (шахты, красильные, ткацкие цеха, кожевенные и др.) имеется повышенная влажность воздуха – до 75 – 85 % и более. В сочетании с низкими температурами повышенная влажность воздуха оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими температурами вызывает напряжение теплорегуляции, способствуя перегреванию.

Движение воздуха на производстве зависит от тепловых токов воздуха, влияния наружного ветра, работы электродвигателей, машин, механизмов. Усиленное движение воздуха в рабочей зоне наблюдается при работах на открытом воздухе, открытии дверей и ворот в цехах с большими тепловыми токами воздуха, при работе вентиляции и др.

5.2. Терморегуляция организма и ее нарушения при работе

Терморегуляция организма – физиологический процесс поддержания температуры тела в определенных границах (36,1 – 37,2°C), что необходимо для сохранения филогенетически установившейся последовательности, взаимосвязанности и скорости биологических процессов. Терморегуляция обеспечивается изменением двух составляющих теплообмен процессов – теплопродукции и теплоотдачи. Из двух способов поддержания теплового равновесия основное назначение имеет регуляция теплоотдачи, так как этот путь регуляции более изменчив и управляем в организме.

Теплопродукция. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени – в поперечнополосатых мышцах и печени. При низких температурах (до 10–15°C) теплообразование возрастает, при средних (от 15 до 25 – 27°C) – сохраняется на одном уровне, а при более высоких сначала несколько снижается (при 25 – 35°C), а затем возрастает (при 40°C и выше). Эти данные показывают, что регуляция теплопродукции положительную роль играет главным образом при низ-

ких температурах воздуха, при высоких же возможность регуляции теплообмена за счет уменьшения продукции тепла ограничена. Теплопродукция возрастает при мышечной работе и тем больше, чем она тяжелее.

Теплоотдача организма осуществляется излучением, конвекцией и испарением. В условиях покоя на долю излучения приходится около 45%, конвекции – 30% и испарения – 25% всего удаляемого организмом тепла. Излучением отдают тепло все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля ($- 273^{\circ}\text{C}$). Поверхность тела человека также является излучателем тепла, но она в свою очередь получает некоторое количество тепла от излучения окружающих предметов. Тепло отдается организмом тогда, когда температура стен, пола, потолка, а также поверхности оборудования и других материалов в помещении ниже температуры наружных слоев одежды (в среднем $27\text{--}28^{\circ}\text{C}$) или открытой поверхности кожи. Если же температура окружающих человека поверхностей высока, то отдача тепла излучением прекращается и, наоборот, происходит восприятие тепла этим путем. Однако инфракрасная радиация от производственных источников не исключает полностью теплоотдачи излучением, так как она приходится не на всю поверхность тела. Отдача тепла излучением – физиологически наименее обременительный для организма путь.

Конвекция – передача тепла через воздушную среду. В пододежном пространстве в условиях неподвижного воздуха прилегающий к коже слой воздуха толщиной 4-8 мм нагревается путем проведения тепла. Нагрев более отдаленных слоев происходит вследствие конвекции, или движения воздуха, при котором происходит смывание теплых слоев более холодными потоками. В случае пребывания в условиях подвижного воздуха толщина указанного пограничного слоя уменьшается до 1 мм и менее, а теплоотдача возрастает в несколько раз.

Отдача тепла конвекцией увеличивается с ростом барометрического давления. Относительно небольшая отдача тепла проведением и конвекцией происходит также через поверхность дыхательных путей, если вдыхаемый воздух имеет более низкую, чем тело температуру. Отдача тепла конвекцией прекращается, если температура окружающего воздуха достигает температуры кожи. В случае, когда она повышается еще больше, происходит не отдача, а восприятие конвекционного тепла.

Испарение – основной путь отдачи тепла при повышенной температуре воздуха, в особенности когда температура воздуха и окружающих предметов близка к температуре кожи, что затрудняет или исключает отдачу тепла излучением или конвекцией. Отдача тепла излучением происходит потому, что при испарении 1 г

воды теряется около 0,6 ккал тепла. Испарение влаги из организма происходит как с поверхности кожи, так и дыхательных путей.

В обычных условиях отдача тепла испарением происходит в результате так называемого неощутимого потения, которое имеет место на большей части поверхности тела в результате диффузии воды без активного участия потовых желез. Исключение составляют поверхность ладоней, подошв и подмышечных впадин, на долю которых приходится 10% поверхности тела, где происходит непрерывное потоотделение. В целом таким путем организм теряет в среднем в сутки около 0,6 л воды.

При пребывании в условиях высокой температуры воздуха и выполнении физической работы наблюдается активное потоотделение, обусловленное усиленной трансудацией жидкости через стенки артериальных сосудов, оплетающих потовую железу, и нервной регуляцией. Количество теряемой организмом жидкости в смену может достигать 10 – 12 л. при интенсивном потоотделении, если пот не успевает испариться, наблюдается его выделение в виде капель. При этом влажный слой на коже не только не способствует отдаче тепла, а, наоборот, задерживает его, создавая условия для перегревания организма. В этом случае потоотделение ведет лишь к потере воды и солей, но не выполняет основной физиологической функции усиления теплоотдачи.

На степень испарения пота большое влияние оказывает движение воздуха, в особенности при низких и высоких температурах. Интенсивность потоотделения зависит от индивидуальных особенностей организма и степени акклиматизации его к данным метеорологическим условиям.

Заметное количество влаги испаряется организмом через дыхательные пути – около 300 – 350 г в сутки, что составляет примерно $\frac{1}{3}$ общих потерь влаги и приводит к отдаче 10 – 20% общего количества теряемого тепла. Испарение через дыхательные пути возрастает с увеличением легочной вентиляции, а также понижением температуры воздуха.

5.3. Влияние производственных метеорологических условий на состояние организма

Значительная выраженность отдельных факторов микроклимата на производстве и тем более в определенных сочетаниях может быть причиной ряда физиологических сдвигов в организме работающих, а иногда патологических состояний и профессиональных заболеваний.

Физиологические сдвиги при действии высокой температуры воздуха наблюдаются во многих системах организма. Окислительные процессы при повышенных температурах несколько снижаются, но в дальнейшем могут возрастать. При высоких температурах, когда теплоотдача затруднена, дыхание может учащаться и становиться поверхностным. Легочная вентиляция вначале несколько возрастает, а в последующем остается без изменений или уменьшается, что соответствует снижению потребления кислорода.

Температура кожи лба обычно колеблется в пределах 30,5 – 32°C. Даже при высоких температурах воздуха температура кожи редко превышает 36 – 37°C, поскольку, когда она достигает 34 – 35°C, возникает сильное потоотделение, ограничивающее дальнейший рост температуры кожи. Тяжелая физиологическая работа ведет к повышению температуры кожи всех участков тела, за исключением конечностей.

Температура тела – важнейший показатель теплообмена организма. Она зависит от скорости потери тепла, изменяющейся в зависимости от температуры и влажности воздуха, его подвижности, наличия излучений, одежды. Выполнение работы средней тяжести и тяжелой сопровождается повышением температуры тела на 0,3-0,5°C. Особого внимания заслуживает повышение температуры тела на 1°C и более, в особенности если оно сопровождается признаками ухудшения самочувствия и нарушения компенсаторных функций организма (вялость, раздражительность, учащение дыхания и пульса).

Водно-солевой и витаминный обмен значительно изменяется при работе в условиях высокой температуры воздуха. Усиленное потоотделение ведет к потере жидкости, солей и водорастворимых витаминов. Частично потери жидкости восполняются усиленным питьем, но при этом масса тела рабочих к концу смены может уменьшаться на 3 – 4 кг и более. В 1 л пота содержится 2,5 – 5,6 г хлорида натрия (NaCl). При тяжелой работе в условиях высокой температуры воздуха может выделиться до 10 – 12 л пота, а с ним до 30 – 40 г NaCl. Всего в организме около 140г NaCl. Потеря 28 – 30 г его ведет к прекращению желудочной секреции, а больших количеств – к мышечным спазмам и судорогам. Потери водорастворимых витаминов (С, В₁, В₂) при сильном потоотделении достигает 15-25% потребной суточной дозы.

Сердечно-сосудистая система при действии высоких температур испытывает большое напряжение; изменяется и состав крови. Это связано с нарушением водного обмена, сгущением и перераспределением крови (усиливается кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки), влиянием повышенной температуры на сердечную мышцу и тонус сосудов. Пульс учащается, особенно при явлениях напря-

жения терморегуляции в условиях выполнения работ средней и большой тяжести. При одной и той же физической нагрузке частота пульса тем больше, чем выше температура воздуха в цехе.

Артериальное давление как систолическое, так в большей степени и диастолическое, при действии высоких температур и тепловой радиации снижается, что является приспособительной реакцией: понижение тонуса периферических сосудов и расширение их русла создают условия для доставки крови к периферии и роста теплоотдачи. В крови наблюдаются изменения, связанные с интенсивным потоотделением: повышение вязкости, содержания гемоглобина и эритроцитов.

Работа в условиях высокой температуры оказывает влияние на функциональное состояние ряда других органов и систем. Отрицательное влияние на центральную нервную систему проявляется в ослаблении внимания, замедлении реакций, ухудшении координации движений, что может быть причиной снижения производительности труда и роста травматизма. Имеются наблюдения, показывающие, что производительность труда шахтеров при высокой температуре воздуха в течение нескольких часов может снизиться до $\frac{1}{5}$ производительности, наблюдаемой в комфортных условиях.

Патологические состояния при действии высоких температур и инфракрасной радиации могут проявиться в виде ряда заболеваний. Опасность их возникновения становится реальной, когда потери пота приближаются к 5 л в смену.

Перегревание (тепловая гипертермия) возникает при избыточном накоплении тепла в организме; основным признаком этого является повышение температуры тела до 38°C и более. При этом наблюдаются гиперемия лица, обильное потоотделение, слабость, головная боль, головокружение, искажение цветового восприятия предметов (окраска в красный, зеленый цвета), тошнота, рвота. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем понижается. В крови увеличивается содержание молочной кислоты и остаточного азота. В тяжелых случаях гипертермия протекает в форме теплового удара, когда температура тела быстро повышается до 40°C и выше, наблюдаются бледность, синюшность, частый малый пульс, падение артериального давления, потеря сознания. Дыхание становится поверхностным, частым (до 50-60 в минуту), временами появляются судороги. При оказании первой помощи необходимо принять быстрые меры к охлаждению организма, чему способствуют покой, свежий воздух в помещении, прохладные душ, ванна.

Судорожная болезнь является следствием нарушения водно-солевого баланса в результате профузного потоотделения при действии высокой температуры воздуха. Признаки заболевания нарастают медленно, температура тела не изме-

нена или слегка повышена. Отмечаются слабость, головная боль; выделение пота отсутствует. Ведущий симптом – резкие болезненные тонические судороги, преимущественно в конечностях. В крови на фоне явлений сгущения (повышенное содержание гемоглобина, эритроцитов, белков плазмы) значительно понижено содержание хлоридов. При оказании первой помощи необходимо внутривенное или подкожное введение физиологического раствора NaCl, лучше в сочетании с глюкозой.

Солнечный удар возникает при интенсивном прямом облучении головы, чаще при работах на открытом воздухе гораздо реже – в помещении. Причина такого состояния – отек оболочек и ткани мозга, гемостаз и геморрагии, т.е. развитие явлений менингита и энцефалита. Температура тела нормальная или слегка повышена. Симптомами солнечного удара являются головная боль, головокружение, беспокойство, шум в ушах, расстройство зрения, тошнота, рвота. В тяжелых случаях могут быть выраженные нервные расстройства: помрачение сознания, судороги, припадки, галлюцинации и др. пульс слабый, учащенный, дыхание также частое и затрудненное. При оказании первой помощи большое значение имеют водные процедуры: прохладный душ и ванна (при отсутствии их – обертывание в мокрую простыню на 10-15 минут), покой в прохладном помещении, обильное питье.

Профессиональная катаракта, или "катаракта стеклодувов", может развиваться при длительном воздействии теплового излучения. Иногда выраженная катаракта отсутствует, но обнаруживаются мелкие помутнения хрусталика в виде точек или более крупные в виде полос. Причина профессиональной катаракты – тепловой эффект, причем коротковолновые инфракрасные лучи с длиной волны около 1 мкм более глубоко проникают в глазные среды и сильнее прогревают содержимое передней камеры глаза.

Охлаждение и переохлаждение на производстве возникают в результате действия на организм низких и пониженных температур воздуха, иногда в сочетании с высокой влажностью и большим движением воздуха. В организме имеются механизмы приспособления (адаптации) к действию охлаждающих факторов. В зависимости от степени выраженности их, а также индивидуальных свойств организма, теплозащитных качеств одежды, тяжести работы усиливается теплопродукция и уменьшается (путем сужения сосудов) отдача тепла.

Повышенная влажность при низких температурах, увеличивая теплопроводность воздуха, усиливают его охлаждающие свойства. Подвижность воздуха, имеющего низкую или пониженную температуру, также усиливает отдачу тепла конвекционным путем, способствуя охлаждению и переохлаждению организма.

Местное и общее охлаждение организма является причиной ряда заболеваний: озноблений и отморожений, миозитов, невритов, радикулитов и др. переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям – ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. При этом снижается и общая иммунологическая сопротивляемость организма.

ТЕМА 6. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

В производственных условиях рабочие, инженерно-технический персонал и научные работники могут подвергаться воздействию разных видов лучистой энергии. Она имеет волновую и корпускулярную природу, т.е. представляет собой электромагнитные колебания определенной длины волны или поток частиц.

Электромагнитные волны имеют ту или иную частоту колебаний, которая находится в зависимости от длины волны и может быть определена по формуле:

$$\lambda = \frac{300000}{f},$$

где λ - длина волны в метрах;

f - частота колебаний в килогерцах;

300 000 - скорость распространения света в километрах в секунду.

В зависимости от длины волны излучения относят к разным классам, которые обладают особенностями физического характера и особенностями биологического действия (табл.6.1).

6.1. Электромагнитные волны радиочастот

Электромагнитные волны радиочастот – область излучений, имеющая большой диапазон длин волн: от нескольких километров до десятков и единиц миллиметров (см. табл.6.1). Среди них длинные, средние и короткие волны по частотной характеристике относятся к высоким частотам (ВЧ), ультракороткие волны – к ультравысокой частоте (УВЧ), а более короткие – к сверхвысокой частоте (СВЧ).

Влияние на организм электромагнитных полей радиочастот большой интенсивности связано главным образом с тепловым эффектом. При этом усиливается кровоток в органах, что предохраняет их от чрезмерного местного перегрева тканей. Части тела с недостаточно развитой сетью кровоснабжения (хрусталик глаза,

желчный пузырь, мочевой пузырь) более чувствительны к такому локальному перегреву. Биологическая активность электромагнитных волн радиочастот возрастает с укорочением длины волны и является наиболее высокой в области СВЧ.

Таблица 6.1

Излучения на производстве

| Вид излучения | Длина волны или заряд частиц, частота излучения. | Область применения, условия образования |
|--|---|---|
| 1. | 2. | 3. |
| I. Радиоволны | | |
| Длинные } Средние ВЧ } Короткие } | 10 – 3 км 30 – 100 кГц 3 км – 100 м 100 кГц – 3 МГц 100 – 10 м 3 – 30 МГц | Промышленность: термическая обработка металлов (закалка, плавка) и неметаллов (сушка древесины, сварка пластмасс и др.). Радиовещание, радиосвязь, медицина |
| Ультракороткие } УВЧ | 10 – 1 м 30 МГц – 0,3 ГГц | Радиовещание, радиосвязь, телевидение, медицина |
| Дециметровые } Сантиметровые } СВЧ Миллиметровые } | 1 м – 10 см 0,3 ГГц – 3 ГГц 10 – 1 см 3 – 30 ГГц 1 см – 1 мм 30 – 300 ГГц | Радиолокация, радиоастрономия, радиуправление и др. |
| II. Световые и пограничные с ними лучи. | | |
| Инфракрасные | 346 – 0,76 мкм 867 – 395·10 ³ ГГц | Образуются при плавке металла, наличии открытого пламени, присутствуют в солнечном спектре |
| Видимые | 0,76 – 0,4 мкм 395·10 ³ – 750·10 ³ ГГц | Естественное и искусственное освещение |
| Ультрафиолетовые | 0,4 – 0,2 мкм 750·10 ³ – 1,5·10 ⁶ ГГц | Образуются при сварке, электроплавке металла, присутствуют в солнечном спектре |
| III. Лазерное излучение (монохроматическое) | От ультрафиолетовой до инфракрасной области 346 – 0,2 мкм 867 – 1,5·10 ⁶ ГГц | Промышленность, медицина, работы в разных областях науки и техники. |
| IV. Ионизирующие излучения | 2·10 ⁻³ – 7,1·10 ⁻⁶ мкм | Промышленность: про- |

| | | |
|--|--|-----------------------|
| | | свечивание труб и др. |
|--|--|-----------------------|

Окончание таблицы

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------|---|---|
| Лучи Рентгена | $150 \cdot 10^6 - 42 \cdot 10^9$ ГГц | Работа с радиоактивными веществами в разных областях науки и техники, атомные электростанции, медицина. |
| Гамма-лучи | $7,1 \cdot 10^{-6} - 1,9 \cdot 10^{-6}$ мкм $42 \cdot 10^9 - 158 \cdot 10^9$ ГГц | |
| Альфа-частицы (ионы гелия) | Положительно заряженные | |
| Бета-частицы (электроны) | Отрицательно заряженные | |
| Позитроны | Положительно заряженные частицы | |
| Нейтроны | Не несущие заряда частицы | |

Влияние на сердечнососудистую систему отражают ваготонические реакции. В связи с этим клиническая картина хронического действия характеризуется головной болью, утомляемостью, ухудшением самочувствия, гипотонией, брадикардией, изменением проводимости сердечной мышцы. Эти явления могут быть слабо, умеренно или явно выраженными. Наблюдаются также трофические расстройства: похудание, выпадение волос, ломкость ногтей. Возможны незначительные и нестойкие изменения в крови: умеренный ретикулоцитоз, лейкоцитоз, тромбопения, и др. У женщин могут быть проявления гиперфункции щитовидной железы, а у кормящих матерей – уменьшение лактации. Ранние стадии патологии носят обратимый характер, более выраженные изменения могут вести к стойкому снижению трудоспособности. Интенсивное облучение вызывает нагрев хрусталика и развитие катаракты.

Работа в условиях влияния электромагнитных полей противопоказана лицам, страдающим гипертонической болезнью, стенокардией, гипотонией, органическими заболеваниями центральной нервной системы, катарактой.

6.2. Световые и пограничные с ними лучи

Наряду с видимым спектром лучей, создающим естественное и искусственное освещение, в производственных условиях возможно влияние на рабочих и пограничных с ними по длине волны лучей – инфракрасных и ультрафиолетовых (см. табл.6.1). Инфракрасное излучение (тепловая радиация) – условия его образования и влияние на организм – рассмотрены в теме 5.

Ультрафиолетовые лучи (УФЛ) в умеренных дозах оказывают положительное влияние на организм: улучшают обмен веществ, усиливают иммунобиологическую сопротивляемость, стимулируют образование в коже витамина D. Известно антирахитическое и бактерицидное их действие.

К производственным вредностям относятся УФЛ, которые могут влиять на рабочих, занятых электросваркой, а также на лиц, обслуживающих ртутно - кварцевые лампы. Облучение кожи может вызвать дерматит с явлениями отека, жжения, зуда, иногда сопровождающимися общими симптомами: повышением температуры тела, появлением головной боли и др.

УФЛ являются причиной профессионального заболевания глаз у электросварщиков - электроофтальмии. Заболевание возникает обычно через несколько часов после работы и выражается в покраснении и припухлости век, ощущении рези и песка в глазах; характерны спазм век, светобоязнь. При обследовании часто обнаруживается поражение роговицы (вздутие эпителия) в виде мелких пузырьков.

Видимые лучи создающие естественное и искусственное освещение - необходимый компонент жизнедеятельности человека как в быту, так и на производстве. Недостаточные уровни освещенности, некачественное освещение может привести к:

1. снижению работоспособности;
2. профессиональным заболеваниям (близорукость и т.д.);
3. травматизму.

6.3. Ионизирующие излучения

К ионизирующим излучениям относятся рентгеновские и гамма-лучи, являющиеся электромагнитными колебаниями с очень небольшой длиной волны, а также альфа- и бета-частицы, позитроны и нейтроны – частицы с положительным или отрицательным зарядом или не несущие его. Все эти виды излучений наблюдаются при естественном самопроизвольном распаде ядер некоторых так называемых радиоактивных элементов (радий, торий и др.) или могут быть получены искусственно, например рентгеновские лучи, позитроны.

Основным свойством радиоактивных лучей является ионизирующее действие: при прохождении их в тканях нейтральные атомы или молекулы приобретают положительный или отрицательный заряд и превращаются в ионы. Наибольшую плотность ионизации вызывают α -лучи, представляющие собой

положительно заряженные ядра гелия. β -лучи - поток электронов, который выбрасывается из атомных ядер и может нести большую или меньшую энергию, но ионизирующие свойства их выражены слабее, чем у α -лучей. Позитронные частицы отличаются от β -лучей только положительным знаком заряда. γ -лучи и рентгеновские лучи обладают наименьшей плотностью ионизации, но наибольшей проникающей способностью.

Ионизирующие излучения могут оказывать влияние на организм как при внешнем, так и внутреннем облучении. При внешнем облучении возможно попадание лучей на кожу или более глубокое прохождение их в ткани, что зависит от проникающей способности. Например, α -лучи, хотя и обладают большой ионизирующей способностью, при внешнем облучении почти не проникают в ткани (0,02 ÷ 0,06 мм). Большой проникающей способностью обладают β -лучи, но особенно γ - и рентгеновские лучи. Эти лучи даже в таких материалах, как свинец, бетон, вода, которые хорошо их поглощают и применяются для защиты от ионизирующих излучений, могут проходить расстояние в десятки сантиметров. По мере удаления от источника интенсивность излучения падает прямо пропорционально квадрату расстояния.

Очень большой проникающей способностью обладает нейтронное излучение: проходя через ткани, нейтроны вызывают образование в них радиоактивных веществ - так называемую наведенную активность.

Внутреннее облучение наблюдается при попадании радиоактивных веществ в органы дыхания, желудочно-кишечный тракт или при всасывании через поврежденную кожу. При внутреннем облучении наиболее опасны α -излучатели, меньше - β - и γ -излучатели. Попадая в легкие при вдыхании радиоактивных газов и пылей или в пищеварительный тракт, такие вещества не только облучают эти органы и близ лежащие ткани, но всасываются и распространяются по организму с током крови. При этом некоторые из них, например радиоактивный натрий, распространяются в организме равномерно, другие накапливаются в определенных, так называемых критических, органах и тканях: радиоактивный йод - в щитовидной железе, радий и стронций - в костях и т. д. Длительность задержки радиоактивных веществ в организме зависит от скорости выведения и распада. Например, активность излучений такого радиоактивного газа, как торон, уменьшается вдвое в течение минуты, а такого элемента, как радий - за период около 1600 лет.

Радиоактивные вещества выводятся из организма главным образом через желудочно-кишечный тракт, почки и легкие (газообразные соединения). Некоторые соединения могут выделяться через кожу, слизистую оболочку рта, частично с потом и молоком. В первые дни после поступления в организм радиоактивные вещества выводятся быстрее; в дальнейшем этот процесс замедляется.

Биологическое действие ионизирующей радиации связано с тем, что в облучаемых жидкостях и тканях происходит ионизация: некоторые атомы и молекулы теряют электроны и становятся положительно заряженными, другие соединяются с электронами и приобретают отрицательный заряд. Основную роль играет ионизация молекул воды с образованием свободных радикалов H , OH , H_2O_2 , HO_2 . Взаимодействие их друг с другом и тканями ведет к возникновению перекисей и других биологически активных продуктов, которые являются сильными окислителями и ядовитыми для тканей веществами. Свободные радикалы действуют на сульфгидрильные группы (SH) белков и инактивируют их. Ионизирующая радиация также непосредственно влияет на белки и липоиды, вызывая их денатурацию.

Действие ионизирующих излучений может вызывать местные и общие поражения. Местные поражения кожи бывают главным образом в форме ожогов (острое действие), дерматитов и других форм. Иногда возникают доброкачественные новообразования, но возможно развитие кожного рака.

Длительное действие ионизирующей радиации на хрусталик может вызвать катаракту.

Общие поражения протекают в виде острой и хронической лучевой болезни. Для острой формы характерны общетоксические симптомы (слабость, тошнота и др.) и специфическое поражение кроветворных органов, желудочно-кишечного тракта, нервной системы и др. Для ранних стадий хронической формы характерны нарастающая астения, угнетение белого, а затем и красного кровяного ростка (лейкопения, тромбоцитопения, эритропения), повышенная кровоточивость. Вдыхание радиоактивной пыли может вызвать пневмосклероз, а иногда рак бронхов и легкого. Наблюдаются случаи развития лейкоза.

Ионизирующая радиация оказывает угнетающее действие на генеративную функцию мужского и женского организма и может отрицательно влиять на потомство.

ТЕМА 7. ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

7.1. Функциональная схема и некоторые характеристики лазеров.

Лазеры используются для обработки материалов, для получения высокотемпературной плазмы, для целей связи, в физических исследованиях, в медицине, в оборонной технике.

Вместе с тем возможность огромной концентрации энергии вплоть до значений 10^{14} - 10^{15} Вт/см² (в импульсе длительного порядка 30 нс) является источником серьёзной опасности для людей, работающих с лазерами. Такие большие плотности потока мощности не встречаются нигде в природе. Для сравнения укажем, что плотность мощности излучения на поверхности Солнца составляет примерно 10^8 Вт/см² (постоянное излучение). Лазерное излучение может вызвать серьёзные ожоги, а при поражении глаз привести к слепоте. Поэтому вопросам техники безопасности при работе с лазерами должно уделяться большое внимание.

Любой оптический квантовый генератор (лазер) состоит из трех главных элементов: активного вещества, источника накачки, приводящего активное вещество в возбуждённое состояние, и оптического резонатора, состоящего из двух параллельных друг другу зеркал (рис. 7.1). Главным элементом лазера является активное вещество, которое в возбуждённом состоянии имеет отрицательную проводимость, получающуюся вследствие инверсной населённости энергетических уровней.

Наличие резонатора способствует созданию положительной обратной связи и поддержанию режима генерации. Одновременное синфазное излучение

многих атомов приводит к возникновению монохроматического узконаправленного излучения всего лазера

Для вывода этого

излучения наружу одно из зеркал резонатора делается полупрозрачным.

Различные типы лазеров отличаются друг от друга видом применяемого активного вещества.

В качестве активного вещества могут использоваться кристаллы рубина, специальные виды стекол (твердотельные лазеры), полупроводники (полупроводниковые лазеры), различные газы или смеси газов (газовые лазеры) или жид-

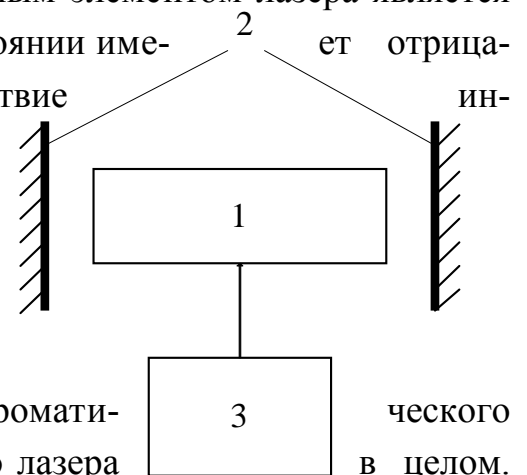


Рис. 7.1. Схема лазера: 1 - рабочее (активное) вещество; 2 - резонатор; 3 - источник накачки

кости (жидкостные лазеры). Все эти типы лазеров различаются по конструкции и параметрам излучения.

В качестве примера приведём параметры резания материалов лучами лазеров (таблица 7.1).

Таблица 7.1

| Материал | Глубина резания, мм | Скорость, резания, мм/мин | Ширина разреза, мм | Мощность излучения, кВт |
|-------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| Алюминий | 12,7 | 2286 | 1,02 | 15 |
| Нержавеющая сталь | 6,3 | 1270 | 1,02 | 20 |
| Фанера | 25,4 | 1524 | 1,52 | 8 |
| Стекло | 9,5 | 1524 | 1,02 | 20 |
| Бетон | 38,1 | 51 | 6,30 | 8 |

В импульсном режиме работы лазеров, в особенности в режиме модуляции добротности, возникают большие импульсные значения плотности мощности излучения и напряжения электрического поля. При этом большую роль играет ударная волна, возникающая вследствие взрывного расширения испаряющегося материала, давления излучения и электрострикционного эффекта, т.е. смещения частиц материала под действием электрического поля.

7.2. Основные закономерности поглощения лазерного излучения живой тканью

При воздействии лазерного излучения на организм происходит большое число различных биологических реакций, идущих параллельно и приводящих часто к совершенно противоположным эффектам, что создаёт большие трудности при изучении этих реакций. Распад одних крупных молекул и синтез других, окисление продуктов обмена, изменение скорости реакции, нарушение привычной цепочки биологических процессов, сдвиги в кислотно-щелочном равновесии тканей и органов и многое другое составляют сущность биологического действия лазерного излучения.

Лазерное излучение является для живого организма непривычным раздражителем, не встречающемся в естественных условиях. Лазерное излучение вызывает в биологических тканях различные эффекты, главным из которых являются термический, ударный и электрострикционный.

Термический эффект вызывается поглощением лазерного излучения облучаемой тканью. Каждое из веществ, составляющих организм: белки, ферменты, гормоны, пигменты – имеет свои, только ему присущие характеристики поглощения излучения. Поэтому лазерное излучение действует по-разному на различные ткани и органы человека. Максимальному разрушению подвергаются ткани, содержащие красящее вещество – меланин. Лишённые этого пигмента ткани разрушаются в меньшей степени.

Из всех компонентов клетки наиболее чувствительны к термическому действию лазерного излучения. Они разрушаются первыми. При этом нарушаются все биохимические реакции, протекающие в клетке, и клетка гибнет.

Электрическое поле лазерного излучения большой мощности приводит к образованию в тканях свободных радикалов, т.е. молекул, содержащих неспаренный электрон. Свободные радикалы обладают большой химической активностью; они входят в состав ферментов, ускоряющих обменные процессы в организме. Накопление большого количества свободных радикалов в тканях организма является одной из причин ухудшения состояния здоровья человека, подвергнутого лазерному облучению. Предполагают, что свободные радикалы являются причиной изменения наследственности (мутации).

При воздействии на ткани организма излучения большой мощности наблюдалось изменение состава крови подопытных животных. Изменяется артериальное давление, причём интенсивность и стойкость таких изменений зависят, в частности, от состояния центральной нервной системы. Известны случаи изменения поведения животных. После облучения они становились возбуждёнными и агрессивными.

Наблюдения за состоянием здоровья лиц, работающих с лазерами, показали, что их излучение вызывает различные, функциональные нарушения в организме в первую очередь в нервной системе и сердечно-сосудистой системе. Это проявляется в изменении артериального давления, появлении раздражительности, повышенной потливости, появлении головной боли, повышенной утомляемости, боли в глазах, беспокойного сна. Канцерогенного действия лазерного излучения не обнаружено.

В зависимости от режима работы лазера в каждом конкретном случае преобладает тот или иной эффект.

При действии на ткани излучения лазеров в непрерывном режиме преобладает термический эффект. Другие эффекты существенного значения не имеют.

При работе лазеров в импульсном режиме (режиме свободной генерации) преобладает тот же термический эффект. За время импульса тепло из очага пора-

жения не успевает передаться в соседние ткани. Поэтому поражение носит взрывной характер с быстрым повышением температуры и кипением жидкой фазы клеточных элементов. Границы очага поражения при этом резко очерчены.

При воздействии излучения лазеров, работающих в режиме модуляции добротности, существенную роль начинают играть значительные перепады давления и возникающие при этом ударные волны.

Лазерное излучение может поражать различные органы человека, однако наиболее, уязвимыми являются незащищённые части тела – глаза и кожа. Рассмотрим воздействие лазерного излучения на эти части тела более подробно.

7.3. Действие лазерного излучения на глаза

Глаза являются наиболее, уязвимым органом человека, так как обладают способностью фокусировать лазерное излучение.

Излучение ультрафиолетового диапазона (6-380 нм) интенсивно поглощается роговицей и хрусталиком глаза и до сетчатки не доходит. Поэтому поражение глаз мощным ультрафиолетовым излучением носит характер поверхностных ожогов. При этом обычно поражаются роговица и конъюктива, поглощение основную часть энергии ультрафиолетового излучения. В результате поражения возникает воспалительный процесс (фотокератоконъюктивит), сопровождающийся сильным жжением в глазах. Примером фотокератоконъюктивита является «снежная слепота», возникающая вследствие пребывания на снегу в высокогорье без защитных очков. В этом случае поражающим фактором является сильное ультрафиолетовое излучение Солнца.

Наибольшее поражение роговицы происходит при длине волны излучения 288 нм, когда происходит резонансное поглощение ультрафиолетового излучения. Пороговая энергия, вызывающая при этом поражение роговицы, составляет около 10^{-6} Дж/см².

При длине волны излучения менее 320 нм практически вся энергия поглощается в роговице. При длине волны 320-400 нм часть энергии проникает в хрусталик и может вызывать в нём нежелательные изменения. Например, излучение с длиной волны 360 нм может возбуждать в хрусталике флуорисценцию, вызывая при этом диффузное помутнение, способное понижать остроту зрения и приводить к некоторому утомлению глаз.

Излучение видимого диапазона свободно проходит через оптические ткани глаза (роговицу, хрусталик, стекловидное тело) и фокусируется на поверхности сетчатки. При этом за счёт фокусировки плотность потока мощности на сетчатке

может быть на 4-5 порядков выше, чем на роговице глаза. Поэтому диапазон видимого света является наиболее опасным для глаз с точки зрения лазерного поражения.

Характер поражения сетчатки глаза сфокусированным лазерным излучением определяется плотностью энергии на поверхности сетчатки. При относительно небольших энергиях лазера наблюдается явление «вспышечной слепоты», когда под действием излучения обесцвечиваются (отбеливаются) зрительные пигменты. При этом глаз на некоторое время теряет способность различать предметы.

При плотности энергии излучения на сетчатке более 2 Дж/см^2 (при импульсной работе) происходит ожог сетчатки. Пораженный участок имеет при этом вид маленького белого пятна с пигментированным ободком; чувствительность поражённого места к свету полностью утрачивается. Степень потери зрения глазом зависит от места расположения ожога. Если ожог произошёл в периферической части сетчатки, степень потери зрения невелика; при ожоге центральной ямки потеря зрения достигает 70-90%.

Энергия лазерного луча, попадающая в глаз, зависит от мощности лазера, размера лазерного пучка и диаметра зрачка глаза. В зависимости от освещённости окружающих предметов диаметр зрачка изменяется в пределах от 1,6-2 до 7-8 мм. При этом энергия лазерного луча, попадающая в глаз, изменяется в 15-20 раз. Поэтому лазерное излучение представляет большую опасность в затемнённых помещениях (в них диаметр зрачка увеличивается).

Лазерное излучение ближней части инфракрасного диапазона с длиной волны от 0,8 до 1,4 мкм довольно хорошо проходит через оптическую систему глаза, при этом возможен ожог сетчатки. Поражение глаза излучением этого диапазона имеет такой же характер, как поражение видимым светом, только при несколько больших уровнях мощности, так как коэффициент поглощения излучения сетчаткой глаза уменьшается с ростом длины волны. В диапазоне волн 1,3 - 1,7 мкм начинается интенсивное поглощение излучения тканями, содержащими воду, в том числе роговицей, хрусталиком и жидкостью в передней камере глаза, расположенной между роговицей и хрусталиком. Излучение не доходит до сетчатой оболочки, а поглощается роговицей, хрусталиком и радужной оболочкой. Вследствие наличия пигмента радужная оболочка глаза интенсивно поглощает инфракрасное излучение в диапазоне от 0,8 до 1,7 мкм, особенно в интервале длин волн 0,8-1,3 мкм, где роговица практически прозрачна. Поглощение излучения радужной оболочкой приводит к её термическому ожогу, который происходит при плотности энергии излучения, превышающей 4 Дж/см^2 . Тепло выделяющееся при нагревании радужной оболочки, передаётся соседним тканям, в том

числе хрусталику, что приводит к его помутнению. Кроме того, к помутнению хрусталика может привести его нагревание мощным лазерным излучением в диапазоне волн 1,2-1,7 мкм.

Инфракрасное излучение с длиной волны более 1,7 мкм полностью поглощается роговицей и в ткани, расположенные глубже, не проникает. Лазерное излучение этого диапазона менее опасно для глаз; возникающее под действием такого излучения поражение глаз носит исключительно поверхностный характер.

Для длины волны 10,6 мкм (лазер на углекислом газе) около 70% энергии излучения поглощается слезной жидкостью, остальные 30% полностью поглощаются слоем роговицы толщиной 35 мкм.

7.4. Воздействие лазерного излучения на кожу

Кожа человека поражается лазерным излучением в значительно меньшей степени, чем глаза, тем не менее поражения кожи встречаются довольно часто, так как кожа является практически незащищённым органом человека. Облучение кожи наблюдается обычно на лице вокруг защитных очков, на внешней поверхности рук, выше линии воротника, т.е. на тех же поверхностях, которые подвергаются и солнечному облучению.

Наиболее сильно действует на кожу излучение ультрафиолетового диапазона.

Относительно небольшие дозы ультрафиолетового облучения вызывают покраснение кожи (эритемный эффект), исчезающее на следующие сутки. Минимальная эритемная доза облучения составляет для разных людей от 8 до 30 Дж/см². Максимальный эритемный эффект наблюдается при длине волны излучения 260 нм.

Излучение видимого и инфракрасного диапазонов приводит в основном к нагреванию кожи и может привести к ожогам. Ожоги, вызванные лазерным излучением, имеют резко очерченные границы и напоминают обычные термические ожоги.

Характер воздействия лазерного излучения сильно зависит от степени пигментации кожи. Изменения в пигментированной коже в 10-12 раз превышают изменения в непигментированной коже. Это связано с тем, что красящий пигмент меланин интенсивно поглощает излучение видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Кожа человека достаточно хорошо противостоит непрерывному инфракрасному облучению, так как она способна рассеивать тепло благодаря кровообращению и понижать температуру вследствие испарения влаги с поверхности. Им-

пульсное излучение и особенно излучение лазеров в режиме модуляции добротности более опасно для кожи, так как тепло не успевает распространиться в соседние ткани. При этом возникают ожоги с резко очерченными границами, очаги ограниченного омертвления (некроза) ткани, пузырьки, наполненные серозной жидкостью – результат нарушения целостности стенок капилляра.

При воздействии излучения импульсных лазеров с энергией от 3 до 100 Дж на коже возникают кровоизлияния различных размеров, начиная от мелких точечных до довольно обширных диаметром около 20 мм. Если энергия излучения лазера менее 3 Дж, то структурных изменений в коже не наблюдается, а происходит нарушение деятельности ферментов, входящих в состав стенок капилляров. Это понижает антимикробную сопротивляемость кожи и повышает её чувствительность к другим воздействиям: повышенной температуре, раздражающему действию различных химических реактивов, ухудшает питание кожи.

Нарушение деятельности ферментов в коже может приводить к образованию токсичных веществ, которые, распространяясь по всему организму, ухудшают общее состояние человека, вызывают чувство разбитости, раздражительность, головную боль. Эти неприятные явления могут сохраняться в течение нескольких часов после окончания рабочего дня.

7.5. Побочные биологические явления, возникающие при работе лазерных установок

Лазерное излучение является не единственной опасностью, существующей при работе лазерных установок. Для накачки твердотельных и жидкостных лазеров используются лампы-вспышки, энергия излучения которых на порядок превышает энергию излучения лазера. Свет этих ламп представляет опасность для зрения человека.

Ещё большую опасность представляет для жизни человека высокое напряжение, применяемое во многих лазерных установках. Высокое напряжение используется для питания импульсных ламп накачки и для возбуждения разряда в импульсных лазерах. Потенциальная опасность высокого напряжения для жизни человека значительно больше, чем самого излучения лазера.

Другая серьёзная опасность-возможность воспламенения материалов, соприкасающихся с лазерным излучением. Опасность возникновения пожаров особенно велика при работе мощных лазеров на углекислом газе.

При работе жидкостных лазеров, а также при воздействии лазерного излучения на некоторые материалы могут образовываться токсичные вещества. Силь-

ным токсичным действием обладают продукты реакции в химических лазерах, содержащие фтор и хлор. Токсичные газы могут образовываться при обработке некоторых материалов лазерным лучом.

При разряде конденсаторных батарей, питающих лампы накачки, происходят ионизация воздуха и образование озона. Озон в небольшой концентрации полезен для организма человека, однако при работе мощных лазеров концентрация озона может оказаться чрезмерной и вызвать явления интоксикации.

Для охлаждения полупроводниковых лазеров используется жидкий азот. Азот не опасен для здоровья человека, однако при интенсивном испарении жидкого азота увеличивается содержание азота в воздухе в помещении, где находится лазер, а относительное содержание кислорода уменьшается.

Во время работы лазера непосредственно возле него создаётся сверхвысоко-частотное электромагнитное поле. При использовании мощных лазерных установок могут возникнуть поражения, характерные для электромагнитных волн сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

В лазерах с модуляцией добротности используются вращающиеся зеркала и акустические затворы, которые в процессе работы создают интенсивный акустический шум. Этот шум оказывает неблагоприятное влияние на обслуживающий персонал, вызывая нервно-эмоциональное напряжение и общее утомление человека.

7.6. Меры обеспечения безопасности при работе с лазерами

Меры по обеспечению безопасности труда при эксплуатации лазерных установок можно подразделить на три группы:

- технические мероприятия, направленные на то, чтобы лазерные установки были предельно безопасными для обслуживающего персонала;
- индивидуальные средства защиты;
- организационные мероприятия по обеспечению безопасности при работе с лазерами.

Основным поражающим фактором при работе с лазерными установками является лазерное излучение.

Должна быть исключена всякая возможность попадания прямого луча на человека. Это особенно важно при эксплуатации мощных лазеров. Для этого на всём пути от лазера до мишени луч должен быть огорожен экранами, блендами и другими непрозрачными предметами. На конечном участке лазерного луча рекомендуется устанавливать мишень.

Не рекомендуется работать с мощными лазерными установками при наличии в воздухе большого количества пыли, дыма или тумана; работа в этих условиях допускается только при наличии у персонала защитных очков.

Для уменьшения интенсивности рассеянного лазерного излучения все элементы конструкции, кожухи приборов, стены помещения рекомендуется окрашивать в тёмные цвета, поверхность их должна быть матовой. Помещение, где работает лазерная установка, должно быть хорошо освещено. В этих условиях размеры зрачка глаза наибольшие, что способствует уменьшению энергии излучения, которая может случайно попасть в глаз.

При проведении экспериментов с лазерами запрещается вводить блестящие предметы в зону луча. Категорически запрещается смотреть на мишень или обрабатываемый материал без защитных очков.

Источником поражения кроме лазерного излучения может быть излучение импульсных ламп накачки. Для защиты от излучения импульсных ламп их следует тщательно экранировать светонепроницаемыми кожухами.

При работе с лазерами следует всегда соблюдать правила пожарной безопасности. Даже при работе с маломощными лазерами существует опасность возникновения пожаров и взрывов при взаимодействии лазерного луча с некоторыми растворителями.

При работе лазеров и обработке материалов лазерным лучом могут образовываться токсичные вещества. Для предотвращения отравления персонала должна быть предусмотрена хорошая вентиляция помещения.

В лазерных установках могут использоваться высокие напряжения до нескольких киловольт. Меры защиты от поражения электрическим током аналогичны тем, которые приняты при эксплуатации обычных высоковольтных установок.

К индивидуальным средствам защиты от лазерного излучения относятся защитные очки, специальная одежда и перчатки, а также кремы для защиты кожи лица и рук.

Светофильтры для защитных очков бывают трёх типов:

- а) поглощающие стёкла или пластмассы;
- б) многослойные диэлектрические тонкоплёночные отражатели;
- в) комбинированные, состоящие из поглощающих стёкол и диэлектрических тонкоплёночных отражателей.

При работе с мощными лазерами приходится принимать специальные меры защиты кожи рук и лица. Хорошими защитными свойствами обладает белый фетр толщиной 2-3 мм, который хорошо выдерживает плотность излучения до 100 Дж/см². Для защиты рук можно применять обычные кожаные перчатки, которые

уменьшают опасность поражения кожи в 100 раз. Кроме того, для защиты кожи применяются кремы с двуокисью титана и двуокисью цинка.

Для обеспечения безопасной работы персонала большое значение имеют организационные мероприятия, включающие создание необходимых условий для работы персонала, разработку правил техники безопасности и контроль, за их выполнением, ознакомление персонала с особенностями биологического действия лазерного излучения и обучение пользованию индивидуальными средствами защиты от него.

Помещение, в котором работает лазерная установка, должна иметь хорошее естественное освещение. Если при включении установки возможно образование озона, окислов азота и других токсичных газов и паров, в помещении должна быть оборудована приточно-вытяжная вентиляция.

В помещениях, где работают импульсные лазеры большой мощности, должна быть установлена сигнализация, автоматически включающаяся во время заряда конденсаторных батарей.

В помещении с работающей лазерной установкой не должны допускаться посторонние лица.

ТЕМА 8. ШУМ, УЛЬТРАЗВУК, ВИБРАЦИЯ

Некоторые особенности воздействия шума и вибрации, их количественные характеристики были приведены в темах 2 и 3. Ниже более подробно рассмотрим воздействие шума, ультразвука и вибрации на организм человека.

8.1. Шум и его влияние на организм человека

Шум – совокупность звуков различной силы и высоты, беспорядочно изменяющихся во времени и вызывающих неприятные субъективные ощущения.

Бесшумных производств практически не существует, однако шум как профессиональная вредность приобретает особое значение в случаях его высокой интенсивности. Это наблюдается в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте. В индустриальных городах число профессий, труд которых сопровождается влиянием сильного шума, исчисляется многими сотнями.

Влияние шума на организм нередко сочетается с другими производственными вредностями: неблагоприятным микроклиматом, токсическими веществами, ультразвуком и особенно часто с вибрацией.

Вредное действие шума может проявиться в потере слуха, проявлении общих реакций с участием нервной, сердечнососудистой и других систем организма, снижении производительности труда, повышении частоты производственных травм.

Действие шума на слух вызывает развитие тугоухости той или иной степени выраженности, а иногда и полной глухоты. Чаще изменения слуха развиваются исподволь в течение 3- 5 лет и более. Иногда рабочие обращаются с жалобами на трудность восприятия шепотной речи, плохую слышимость высокого голоса. Некоторые лица засыпают с трудом из-за звона или писка в ушах. При значительной потере слуха пострадавший плохо слышит свой собственный голос, который несколько изменяется. Потеря слуха развивается не у всех рабочих и у разных лиц в различной степени. Встречаются лица с повышенной чувствительностью к шуму. Женщины более чувствительны к его воздействию.

При медицинском осмотре выявляется понижение слуха на восприятие шепотной речи и потеря остроты слуха, устанавливаемая с помощью камертонов или аудиометра – прибора для определения порогов слуховой чувствительности в диапазоне низких, средних и высоких частот. В ранних стадиях ухудшается восприятие высоких тонов, особенно с частотой 4000 Гц. Этим объясняется и то, что рабочие плохо слышат шепотную речь, которая состоит из высоких тонов.

Чаще изменение слуха возникает при действии высокочастотного шума, но низко- и среднечастотный шум большой интенсивности также ведет к профессиональной глухоте.

Для профессиональной потери слуха характерно медленное развитие процесса и постепенное прогрессирование с возрастом и стажем.

Патогенез профессиональной тугоухости связан с процессом утомления и переутомления слухового анализатора. При действии шума вначале возникает слуховая адаптация – процесс приспособления уха к интенсивным звукам. Адаптация проявляется в кратковременном и неглубоком падении слуховой чувствительности, которая быстро и полно восстанавливается после прекращения действия раздражителя. Если влияние шума продолжительно и интенсивность его велика, наступает слуховое утомление. При этом чувствительность слуха значительно снижается (на 30-50 дБ и более), особенно к высоким частотам, а процесс восстановления протекает неравномерно во времени и продолжается десятки минут, иногда несколько часов и дней. Утомление слуха, повторяясь из дня в день, приводит к тому, что восстановление слуха оказывается неполным к периоду следующего воздействия. Это свидетельствует уже о состоянии переутомления, которое предшествует патологии и со временем ведет к дегенерации внутреннего уха, являющейся анатомической основой профессиональной глухоты.

Для оценки степени слухового утомления используют такой показатель, как «временный сдвиг порога слышимости» (ВСП). ВСП обычно означает потерю слуха в течение одного дня с восстановлением его большей частью спустя 1-2 часа после прекращения действия шума. Окончательное и полное восстановление слуховой чувствительности должно произойти в срок менее 10 дней. Величина ВСП при повторных воздействиях шума более или менее постоянна. С увеличением силы шума и времени его действия ВСП возрастает. Наличие перерывов в действии шума ведет к уменьшению ВСП. Так, поминутно прерывающийся шум частотой 4000 Гц вызывает ВСП лишь на половину той величины, которую вызвал бы тот же шум при непрерывном действии. На этом основано требование достаточных перерывов между проведением работ, связанных с действием интенсивного шума. Если через 2 мин. после прекращения воздействия шума ВСП составляет более 50 дБ, процесс восстановления затягивается на несколько дней, а у некоторых лиц изменение слуха может стать постоянным. Показателями слухового утомления являются как величина ВСП, так и разность между определяемыми величинами ВСП при повторных воздействиях шума.

При внезапном действии очень сильного шума интенсивностью до 150-160 дБ, например, при взрыве, выстреле, возможно травматическое повреждение слуха с разрывом барабанной перепонки, смещением слуховых косточек среднего уха, поражением внутреннего уха, что сопровождается кровотечением и резкой болью. Иногда после этого слух может частично или полностью восстановиться, но такие лица более чувствительны к вредному действию шума. Его неблагоприятное влияние более выражено и при таких заболеваниях, как отосклероз, неврит слухового нерва, часто обостряющиеся воспалительные заболевания среднего уха, сопровождающиеся прогрессирующим ухудшением слуха. Поэтому лицам с указанными заболеваниями работа в шумных цехах противопоказана.

Общее действие шума на организм наиболее выражено в отношении нервной и сердечнососудистой систем.

В проявлениях действия шума на нервную систему преобладают признаки астеновегетативных нарушений. Шум может оказывать раздражающее действие, вызывать жалобы на головную боль, повышенную утомляемость, нарушение сна, снижение памяти. У некоторых лиц появляются непереносимость к шуму, чувство «сдирания кожи», «распирания» головы, боль в горле при разговоре, повышенная потливость.

При длительном стаже работы или у особо чувствительных лиц могут развиваться тремор век и пальцев рук, снижение роговичного и брюшного рефлексов, изменение чувствительности в дистальных отделах рук и ног, изменение дермо-

графизма, снижение вибрационной чувствительности. У части работающих могут быть выявлены изменения ЭЭГ.

Реакция сердечнососудистой системы на действие шума выражается в жалобах на колющие и ноющие боли в области сердца, урежении пульса, изменении тонуса сосудов в разных отрезках артериального русла, спазме капилляров, что может быть причиной неравномерности кожных температур на правой и левой половинах тела. В зависимости от индивидуальной чувствительности разных лиц возможны гипотония или гипертонические состояния.

Снижение производительности труда и повышенный травматизм среди рабочих шумных цехов обусловлены неблагоприятным влиянием шума на нервную систему, функциональное состояние двигательного и других анализаторов. При этом нарушается концентрация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов, раньше возникает чувство усталости и развиваются признаки утомления.

8.2. Ультразвук и его влияние на организм человека

Ультразвуки – механические колебания упругой среды, имеющие одинаковую со звуками физическую природу, но превышающие верхний порог слышимой частоты (свыше 20 кГц). Низкочастотные ультразвуки (частота – десятки килогерц) обладают способностью распространяться в воздухе, высокочастотные (частота – сотни килогерц) – быстро затухают. В упругих средах – воде, металле и др. – ультразвук хорошо распространяется, причем на скорость распространения существенное влияние оказывает температура этих сред.

Ультразвук часто встречается в природе, сопровождая шелест листьев, шум морского прибоя и др. В животном мире с его помощью выполняется ряд жизненно важных функций: эхолокация летучих мышей сигналы насекомых и др.

В механизме действия ультразвука на неживые и живые объекты имеют место механический, термический и физико-химический эффекты. Механический эффект обусловлен природой ультразвука (сжатие – растяжение), термический – переходом механической энергии в тепловую, что особенно усиливается на границе раздела двух сред: твердое тело – жидкость, жидкость – газы и др. Физико-химические эффекты связаны с тем, что при распространении ультразвука в жидкостях возникает так называемая кавитация – появление зон сжатия и разрыва вследствие движения упругих волн, которое вызывает образование пузырьков, заполненных парами жидкости и растворенным в ней газом. При прохождении волн они исчезают: при этом повышается температура и развивается давление (до

миллионов атмосфер). Это сопровождается возникновением электрических зарядов, люминесцентным свечением, ионизацией. В воде образуются гидроксильные радикалы, атомарный водород ($\text{H}_2\text{O} - \text{HO} + \text{H}$). При контактном озвучивании ультразвук вызывает инактивацию ферментов, распад белков, ускорение химических реакций, а при больших энергиях – ожоги и гибель живых организмов.

Ультразвук нашел широкое применение в медицине для диагностики и лечения многих заболеваний. В технике и промышленности высокочастотный ультразвук используют для дефектоскопии отливок, сварных швов, пластмасс и физико-химических исследований веществ – определения плотности, упругости, структуры и др. Низкочастотный ультразвук применяют для промывки, обезжиривания, эмульгации, измельчения твердых веществ в жидкостях, для резания, сварки металла, дробления, сверления хрупких материалов и т.п. Промышленные установки работают преимущественно на частотах 16-44 кГц (реже до 80).

В производственных условиях кратковременное и периодическое контактное воздействие ультразвука имеет место при удержании инструмента, обрабатываемой детали, загрузке изделий в ванны, выгрузке их и других операциях. При систематическом продолжительном контакте с источниками ультразвука у медицинских работников наблюдались профессиональные заболевания – парезы кистей и предплечий.

Изменения в состоянии здоровья работающих при воздушном пути передачи ультразвука являются следствием одновременного действия ультразвука и шума, интенсивность которого в области частот 8 – 16 кГц может достигать 100 дБ и более. При ультразвуковой очистке деталей воздушная среда нередко загрязнена токсическими веществами – парами бензина, ацетона, толуола и др. Нарушения здоровья проявляются преимущественно в форме астено-вегетативных реакций с жалобами на головную боль, расстройство сна, раздражительность, утомляемость и объективными признаками снижения слуха, вестибулярных нарушений и др.

8.3. Вибрация и её влияние на организм человека

Вибрация как производственная вредность представляет собой механические колебательные движения, непосредственной передаваемые телу человека или отдельным его участкам. Вследствие механизации многих видов работ и использования пневматических и электрических инструментов значение её резко возросло, и в настоящее время вибрационная болезнь среди профессиональных заболеваний занимает одно из первых мест.

В отношении опасности вибрационной болезни наибольшее значение имеет

вибрация с частотой 16-250 Гц.

Принято различать *местную (локальную)* и *общую вибрацию*: первая передается на руки или другие ограниченные участки тела, вторая – всему организму (пребывание на колеблющейся платформе, сиденьи).

Действие вибрации на рабочих нередко сочетается с влиянием других производственных вредностей: шума, охлаждающего микроклимата, неудобного положения тела.

Влияние вибрации на организм. Вибрация в зависимости от её параметров (частота, амплитуда) может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на отдельные ткани и организм в целом. С физиотерапевтической целью вибрацию используют для улучшения трофики, кровообращения в тканях при лечении некоторых заболеваний. Однако производственная вибрация, передаваясь здоровым тканям и органам и имея значительную амплитуду и продолжительность действия, оказывается вредно влияющим фактором.

Вибрация вызывает прежде всего нейротрофические и гемодинамические нарушения. В сосудах мелкого калибра (капилляры, артериолы) возникают спастико-атонические состояния, возрастает их проницаемость, нарушается нервная регуляция. Изменяется вибрационная, температурная и болевая чувствительность кожи. При работе с ручным механизированным инструментом может возникнуть симптом «мёртвого пальца»: потеря чувствительности, побеление пальцев, кистей рук. Рабочие жалуются на зябкость рук, ноющие боли в них после работы и по ночам. Кожные покровы между приступами имеют мраморный вид, цианотичны. В некоторых случаях обнаруживаются отеки, изменение кожи на кистях (трещины, огрубение), гипергидроз ладоней. Характерны костно-суставные и мышечные изменения. Дистрофические процессы вызывают изменение структуры костей (остеопороз, разрастания и др.), атрофию мышц. Возможна деформация кистевого, локтевого, плечевого суставов с нарушением опорно-двигательной функции.

Заболевание носит общий характер, о чем свидетельствуют быстрая утомляемость, головные боли, головокружение, повышенная возбудимость. Возможны жалобы на боли в области сердца и желудка, повышенную жажду: похудание, бессонницу. Астено-вегетативный синдром сопровождается сердечно-сосудистыми нарушениями: гипотонией, брадикардией, изменениями ЭКГ. При врачебном осмотре могут быть выявлены изменения кожной чувствительности, тремор рук, языка и век.

При воздействии общей вибрации более выражены изменения со стороны центральной нервной системы: жалобы на головокружение, шум в ушах, сонливость, боли в икроножных мышцах. Объективно выявляются изменения ЭЭГ,

условных и безусловных рефлексов, ухудшение памяти, нарушение координации движений. Наблюдается возрастание энергозатрат и похудание. Чаще, чем при действии локальной вибрации, выявляются вестибулярные расстройства. В сочетании с шумом вибрация ведет к изменению слуха. При этом характерно ухудшение восприятия звуков не только высоких, но и низких частот. Иногда выявляются зрительные расстройства: изменение цветоощущения, границ поля зрения, снижение остроты зрения. Со стороны сердечно-сосудистой системы наблюдается неустойчивость артериального давления, преобладание гипертонических явлений, а иногда резкое падение артериального давления к концу работы. Возможны случаи спазма коронарных сосудов, развития миокардиодистрофии. Поражения костно-суставного аппарата преимущественно локализуются в ногах и позвоночнике. Действие общей вибрации может способствовать расстройствам функционального состояния внутренних органов, появлению болей в желудке, отсутствию аппетита, тошноте, частому мочеиспусканию. Патологические изменения в органах малого таза могут сопровождаться у мужчин импотенцией, у женщин – нарушением менструального цикла, опущением органов малого таза, повышенной гинекологической заболеваемостью.

Начальные формы вибрационной болезни легче поддаются обратному развитию после временного прекращения контакта с источниками вибрации, внедрения рационального режима труда, использования массажа, водных процедур и др. В более поздних стадиях болезни необходимо длительное лечение и полное устранение действия вибрации во время работы.

Теоретически, казалось бы, безразлично, каким инструментом вызывается вибрация: при прочих равных условиях основную роль играют её параметры. В принципе так дело и обстоит, но это верно лишь «при прочих равных условиях». В действительности же характер профессии определяет некоторые особенности в протекании болезни, например, более остро развивается какой-либо локальный процесс. Так, как отмечают исследователи Японии, у шоферов грузовых машин широко распространены желудочные заболевания. Известно также, что у водителей трелёвочных тракторов на лесозаготовках симптомы вибрационной болезни сопровождаются радикулитом. У пилотов, особенно работающих на вертолетах, часто наблюдается потеря остроты зрения. Как показано в специальных исследованиях, однократная, причём кратковременная – порядка 20-30 мин. вибрация, увеличивает время решения элементарных задач, т.е. ухудшает внимание и умственную деятельность, при этом до 30 % решений оказывается ошибочным.

В исследованиях была выявлена очень важная биологическая закономерность. Оказывается, что ослабление внимания наблюдается только при опреде-

лённых частотах порядка 10-12 Гц, другие же частоты, выше и ниже, но с тем же ускорением, подобных изменений не вызывают. Эта закономерность даёт ключ к выяснению особенностей заболеваний вибрационной болезнью, связанных с той или иной производственной деятельностью. Каждая машина или агрегат генерирует наряду с массой побочных частот (гармоник) одну основную для данной машины. Эта частота и определяет специфику заболеваний.

Если вибрация частотой выше 15 Гц (особенно частотой 60-90 Гц) воздействует на человека вдоль его туловища в направлении вертикальной оси, то острота зрения снижается, способность следить за колебательными движениями объекта утрачивается уже на частотах 1-2 Гц и почти исчезает при 4 Гц. Из этого простого примера видно, какую опасность представляет транспортная вибрация: шоферы, летчики, водители других транспортных средств перестают различать движущиеся объекты.

Частота вибрации, вызванная неровностями дороги и несовершенством наземного транспорта, лежит в диапазоне до 15 Гц, т.е. представляет собой реальную опасность и может послужить причиной аварий.

Вибрация нарушает речь человека. При частотах от 4 до 10 Гц речь искажается, а иногда прерывается. Для сохранения отчетливой и правильной речи нужна специальная тренировка, так как разборчивую речь трудно поддерживать при уровне вибрации 0,3 дБ. Легко понять, как это отражается на связи летчиков и космонавтов с наземными пунктами управления.

У летчиков, шоферов, машинистов возникают те же признаки вибрационной болезни, что и у рабочих. Особенно тяжелыми бывают заболевания у пилотов вертолётов. В полёте возникают низкочастотные колебания, которые плохо гасятся телом человека и разрушающе действуют на весь организм, прежде всего на нервную систему. Нарушения нервной и сердечно-сосудистой деятельности у лётчиков встречаются почти в 4 раза чаще, чем у представителей других профессий, и вибрация здесь играет немалую роль.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Медико-библиографические основы взаимодействия человека со средой обитания: Учеб.пособ./Л.Л.Морозова; Под ред. С.В.Белова. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумна,1997.49с.

2.Гигиена труда и промышленная санитарная: Монография/ А.А. Каспаров. М.: Медицина, 1977.384с.

- 3.Справочник по инженерной психологии/ Под ред. Б.Ф.Ломова.М.: Машиностроение,1982. 386с.
- 4.Вибрация в технике и человек / Ф.М.Диментберг, К.В.Фролов. М.: Знание, 1987.160с.
- 5.Окно в мир звука / Б.П.Расторгуев.М.: Знание, 1987.144с.