

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

А.В. БОЯРШИНОВ, А.А. ДИК, В.М. ДМИТРИЕВ,  
Е.А. СЕРГЕЕВА, Л.А. ХАРКЕВИЧ

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

## **Часть 2**

### **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве курса лекций для студентов всех направлений  
бакалавриата и специалитета очной и заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
2012

УДК 613.6(076.6)  
ББК 51.24я7  
Б40

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Природопользование и защита окружающей среды»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

*Н.С. Попов*

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Экология и безопасность жизнедеятельности»  
ФГБОУ ВПО «ТГУ им. Г.Р. Державина»

*Г.К. Гуцин*

Б40      Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2. Производственная санитария : курс лекций / А.В. Бояршинов, А.А. Дик, В.М. Дмитриев, Е.А. Сергеева, Л.А. Харкевич. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 84 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1101-5.

Содержит теоретический материал по организационным и техническим вопросам нормализации воздушной среды производственных помещений. Рассмотрены физиологические основы действия на человека факторов микроклимата и загрязнений воздуха на рабочем месте, меры по улучшению качества воздуха рабочей зоны и защиты человека от воздействия негативных факторов, определённых ГОСТ 12.0.003–74. Разработано в соответствии с положениями рабочей программы учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Предназначено для студентов всех направлений бакалавриата и специалитета очной и заочной форм обучения, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности».

УДК 613.6(076.6)  
ББК 51.24я7

**ISBN 978-5-8265-1101-5**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

## **ВВЕДЕНИЕ**

Производственная санитария (согласно ГОСТ 12.0.002–80) – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие негативных производственных факторов на работающих.

Классификация опасных и вредных производственных факторов приведена в ГОСТ 12.0.003–74.

Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

1. физические;
2. химические;
3. биологические;
4. психофизиологические.

1. Физические опасные и вредные производственные факторы:

- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции; обрывающиеся горные породы;
- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- повышенный уровень вибрации;
- повышенный уровень инфразвуковых колебаний;
- повышенный уровень ультразвука;
- повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная или пониженная ионизация воздуха;
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная напряжённость электрического поля;
- повышенная напряжённость магнитного поля;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещённость рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- пониженная контрастность;
- прямая и отражённая блескость;
- повышенная пульсация светового потока;
- повышенный уровень ультрафиолетовой радиации;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);
- невесомость.

2. Химические опасные и вредные производственные факторы подразделяются:

2.1. по характеру воздействия на организм человека на:

- токсические;
- раздражающие;
- сенсibiliзирующие;
- канцерогенные;
- мутагенные;
- влияющие на репродуктивную функцию;

2.2. по пути проникания в организм человека через:

- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожные покровы и слизистые оболочки.

3. Биологические опасные и вредные производственные факторы включают следующие биологические объекты: патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие) и продукты их жизнедеятельности.

4. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на следующие:

4.1. физические перегрузки:

- статические;
- динамические;

4.2 нервно-психические перегрузки:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

Один и тот же опасный и вредный производственный фактор по природе своего действия может относиться одновременно к различным группам.

#### **Цели и задачи производственной санитарии:**

- оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата в рабочей зоне;
- обеспечение требуемых нормативов естественного и искусственного освещения;
- защита работающих от шума, вибрации, электромагнитных излучений и др.;
- поддержание в соответствии с санитарными требованиями территории предприятия, основных производственных и вспомогательных помещений.

# 1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

## 1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ МИКРОКЛИМАТ

Вследствие биохимических процессов, непрерывно происходящих в тканях и органах, жизнедеятельность человеческого организма постоянно сопровождается образованием тепла.

В состоянии покоя взрослый человек продуцирует 3,35...6,25 кДж (0,8...1,5 ккал) на 1 кг массы тела за 1 ч, что в сутки составит ориентировочно от 7000 до 8000 кДж (ккал).

В зависимости от характера и тяжести выполняемой работы, теплопродукция человека колеблется в широких пределах и при сильной физической нагрузке может достигать 2000 и более кДж за час. Однако если образующееся в организме тепло не будет отдаваться во внешнюю среду, то даже в состоянии покоя это приведёт к повышению температуры тела, и в течение относительно короткого времени она может достичь критической величины (42...44 °С), при которой происходит денатурация белков, неизбежно приводящая к смерти.

Поэтому не случайно одним из важнейших проявлений нормальной физиологии человека является изотермия, состояние, при котором количество тепла, образующегося в организме (теплопродукция), должно быть примерно равно его теплоотдаче.

Это состояние обычно называют гомеостазом и выражают с помощью формулы  $T_{\text{п}} = T_{\text{о}}$ , в которой  $T_{\text{п}}$  – количество теплоты, продуцируемой человеком (теплопродукция), а  $T_{\text{о}}$  – количество теплоты, отдаваемой человеком в окружающую среду (теплоотдача).

Нормальная жизнедеятельность возможна лишь при поддержании стабильной температуры тела в очень небольшом интервале 35...37 °С. Как правило, большая или меньшая температура свидетельствует о наличии заболевания или другого неблагоприятного для здоровья отклонения. Но поддержание такого температурного интервала человеком, не одетым в специальную теплозащитную одежду, возможно лишь в том случае, если окружающая человека температура будет находиться в пределах 15...40 °С.

Для поддержания необходимой комфортной температуры тела в процессе биологической эволюции сформировался довольно сложный, но эффективный механизм физиологической терморегуляции, включающий в себя две основные составляющие – теплопродукцию и теплоотдачу. Возможность и полноценность теплоотдачи во многом зависит от таких гигиенических параметров внешней среды, как температура, влажность и скорость движения воздуха, а также интенсивность теплового излучения человеку. Также на тепловое самочувствие человека оказывает влияние температура поверхностей предметов в его окружении (так называемая

радиационная температура). Совокупность этих показателей получила название «микроклимат».

## Определение параметров микроклимата

**I.** Измерение *температуры* воздуха производят обычно ртутным или спиртовым термометром. Для непрерывной регистрации температуры и её изменения во времени применяют самопишущие приборы – термографы.

**II.** *Относительная влажность* воздуха определяется как отношение абсолютной влажности  $p_n$  (давление водяных паров в воздухе, Па) к максимально возможной  $p_{\max}$  (давление насыщенных водяных паров при данных условиях, Па), выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{p_n}{p_{\max}} \cdot 100\%.$$

Абсолютная влажность воздуха может также определяться как количество водяного пара, содержащегося в 1 кг воздуха при данной температуре и давлении  $A$  (кг влаги/кг возд.); максимальная влажность  $F$  (кг влаги/кг возд.) – как максимальное количество водяного пара, которое может содержаться в 1 кг воздуха при данных условиях.

Выражение для расчета относительной влажности  $\varphi$  в этом случае:

$$\varphi = A/F \cdot 100, \%$$

Относительная влажность измеряется психрометрами, гигрометрами, гигрографами.

Психрометр Августа (рис. 1.1.1, *а*) состоит из двух одинаковых термометров, прикреплённых к штативу. Ртутный шарик одного из термометров обёрнут смоченной тканью (марлей или батистом), концы которой опущены в сосуд с дистиллированной водой. Вследствие капиллярного эффекта гигроскопическая ткань постоянно остаётся увлажнённой. При испарении воды с поверхности ткани, покрывающей ртутный шарик, температура ртути понижается тем больше, чем ниже влажность воздуха в точке измерения. Разность показаний сухого и смоченного термометров обратно пропорциональна влажности воздуха. Для определения влажности воздуха психрометр помещают в место измерения и через 10 – 15 мин. записывают показания сухого и смоченного термометров (ртутные шарики термометров должны быть защищены от действия лучистой энергии солнечного света и нагревательных приборов). В расчёт вводится поправочный коэффициент на скорость движения воздуха. В аспирационном психрометре Ассмана (рис. 1.1.1, *б*) ртутные шарики термометров защищены от действия лучистой энергии футлярами с двойными стенками. Прибор снабжён вентилятором, обеспечивающим постоянную скорость

движения воздуха у ртутных шариков термометров (2 м/с). Перед определением ткань, покрывающую ртутный шарик смоченного термометра, смачивают дистиллированной водой. Избыток воды удаляют встряхиванием, после чего включают вентилятор и прибор помещают в точку, где необходимо произвести определение. При температуре воздуха 15 – 20° отсчёт показаний термометра производят через 4 мин. При температурах ниже 15° длительность протягивания воздуха увеличивают до 20 – 30 мин. (до тех пор пока не установится постоянная температура смоченного термометра).

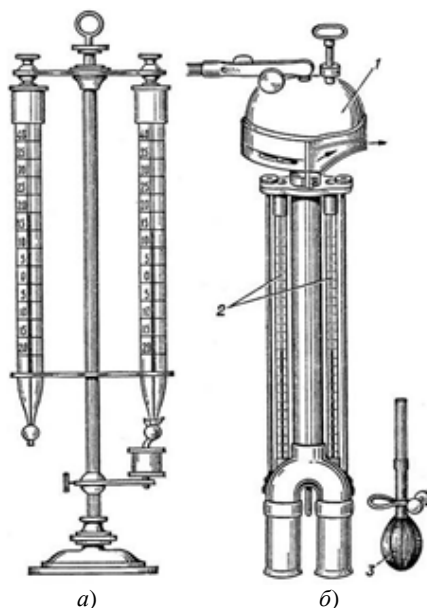
По показаниям сухого и мокрого термометров **относительную влажность воздуха** находят расчётным путём или при помощи специальных психрометрических таблиц и диаграмм.

### 1) Расчёт относительной влажности

Предварительно по психрометрической формуле определяется абсолютная влажность:

$$p_n = P'_{\text{нас}} - A(t - t_m)B, \text{ Па}$$

где  $t$ ,  $t_m$  – температуры, соответственно, сухого и мокрого термометров;  $P'_{\text{нас}}$  – давление насыщенных водяных паров при температуре мокрого



**Рис. 1.1.1. Психрометры:**

$a$  – психрометр Августа;  $b$  – психрометр Ассманна: 1 – вентилятор; 2 – психрометрические термометры; 3 – пипетка для смачивания влажного термометра



термометра;  $B$  – барометрическое давление, Па;  $A$  – коэффициент, учитывающий скорость движения воздуха (при скорости менее 0,5 м/с принимается равным 0,001).

Затем рассчитывается относительная влажность по формуле

$$\varphi = \frac{P_n}{P_{\max}} \cdot 100\%,$$

где  $P_{\max}$  – давление насыщенных водяных паров при температуре сухого термометра.

## 2) Определение относительной влажности по $I$ - $x$ -диаграмме

Диаграмма состояния влажного воздуха в координатах  $I$ - $x$  (энтальпия–влажность) является простой и удобной для графического изображения процессов, происходящих при сушке материалов, вентиляции и кондиционировании воздуха (рис. 1.1.2).

Координатная сетка диаграммы состоит из линий  $x = \text{const}$  (ось абсцисс) и  $I = \text{const}$  (ось ординат), расположенных под углом  $135^\circ$ .

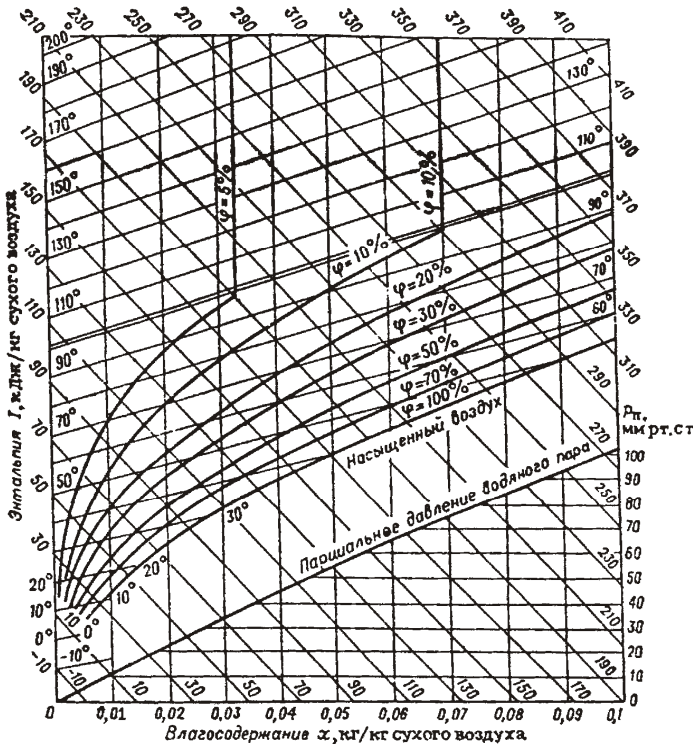
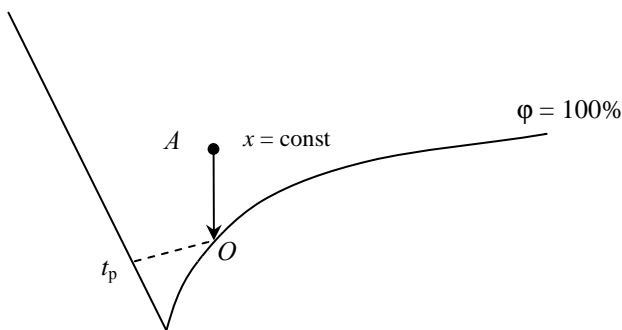


Диаграмма Рамзина для влажного воздуха

Рис. 1.1.2.  $I$ - $x$ -диаграмма состояния влажного воздуха



**Рис. 1.1.3. Определение точки росы**

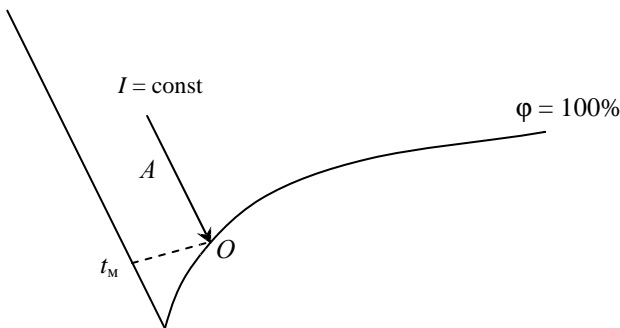
На диаграмму нанесены линии постоянных температур (изотермы)  $t = \text{const}$ , кривые постоянных относительных влажностей  $\phi = \text{const}$ , а также вспомогательная линия для определения парциального давления водяного пара  $p$ .

Каждая точка диаграммы соответствует определённому состоянию влажного воздуха.

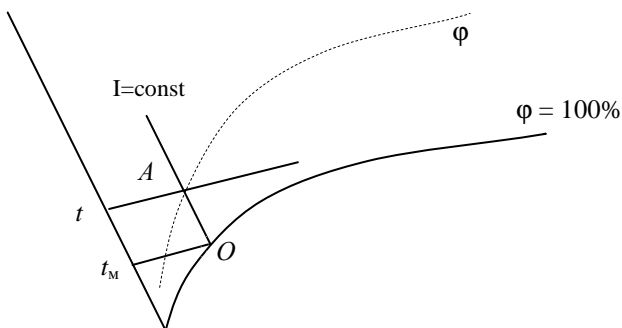
При охлаждении или нагревании влажного воздуха через стенку его влагосодержание  $x$  остаётся постоянным, следовательно, эти процессы на диаграмме представляются вертикальными прямыми (рис.1.1.3). При охлаждении воздух может достигнуть состояния полного насыщения (на рис. 2 точка  $O$  – пересечение прямой  $x = \text{const}$  и линии  $\phi = 1$ ). Это происходит при температуре, соответствующей **точке росы**  $t_p$  (пунктир на рис. 1.1.3). При дальнейшем охлаждении влагосодержание воздуха снижается вследствие конденсации водяных паров.

Если влажный воздух контактирует с влажным материалом или поверхностью жидкости, происходит его охлаждение, так как тепло затрачивается на испарение жидкости, при этом энтальпия воздуха не изменяется ( $I = \text{const}$ ), что обусловлено поступлением в воздух водяных паров, компенсирующих снижение энтальпии (рис. 1.1.4). Изоэнтальпический процесс массообмена может протекать до полного насыщения воздуха водяными парами (на рис. 1.1.4 точка  $O$  – пересечение линий  $I = \text{const}$  и  $\phi = 1$ ). Предел насыщения воздуха наступает при **температуре мокрого термометра**  $t_m$  (пунктир на рис. 1.1.4).

Для определения относительной влажности по  $I$ - $x$ -диаграмме необходимо найти пересечение изотермы  $t = t_m$  и кривой насыщения  $\phi = 100\%$  (точка  $O$  на рис. 1.1.5). Из этой точки провести линию  $I = \text{const}$  до её пересечения с изотермой сухого термометра (точка  $A$  на рис. 1.1.5). Кривая  $\phi = \text{const}$  (пунктир на рис. 1.1.5), на которой лежит точка пересечения, определяет значение относительной влажности.

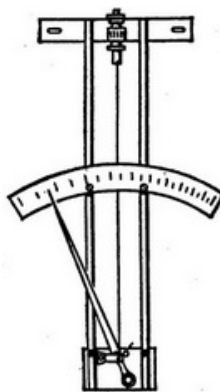


**Рис. 1.1.4** Определение температуры мокрого термометра



**Рис. 1.1.5** Определение относительной влажности по показаниям психрометра с помощью  $I$ - $x$ -диаграммы

В зимний период года единственным прибором для определения влажности атмосферного воздуха является волосяной гигрометр (рис. 1.1.6), так как наблюдения по психрометру прекращаются при температуре воздуха ниже  $-10^\circ$ . Основной частью волосяного гигрометра является обезжиренный человеческий волос, натянутый на рамку так, что верхний конец его закрепляется при помощи подвижного винта, а нижний соединяется с блоком и оттягивается небольшим грузиком, прикреплённым к блоку. С блоком же связана лёгкая стрелка-указатель. При изменении относительной влажности воздуха изменяется длина волоса, и стрелка-указатель



**Рис. 1.1.6.** Волосяной гигрометр

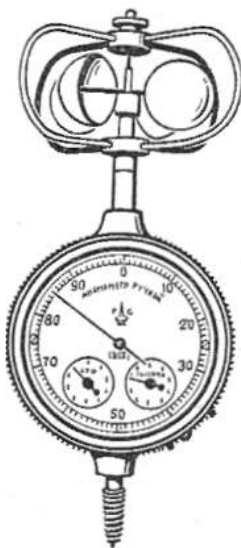


Рис. 1.1.7. Чашечный анемометр

является четырехчашечная вертушка, насаженная на ось и вращающаяся в опорах. По числу оборотов вертушки в единицу времени определяется скорость движения воздуха.

Приёмной частью крыльчатого анемометра (рис. 1.1.8) служит крыльчатка из лёгких металлических лопастей, посаженных на соединённую со счётчиком оборотов горизонтальную ось. Прибор особенно чувствителен и поэтому применяется для измерения скорости воздушных потоков 0,3...5,0 м/с.

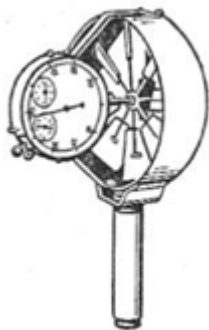


Рис. 1.1.8. Крыльчатый анемометр

перемещается вдоль шкалы, на которой нанесены деления, непосредственно указывающие процент влажности.

Для непрерывной регистрации изменений относительной влажности служит самопишущий гигрометр – гигрограф. Он состоит из воспринимающей части (пучок обезжиренных человеческих волос), системы передаточных рычагов, заканчивающейся стрелкой с пером, и регистрационной части (барабан с лентой, который вращается часовым механизмом). Имеются гигрографы с недельным и суточным заводом.

**III.** Для измерения *скорости движения воздуха* применяют анемометры – крыльчатые и чашечные, а также термоанемометры, трубки Пито–Прандтля и дифференциальные манометры.

Чувствительным элементом **чашечного анемометра** (рис. 1.1.7) явля-

ется четырехчашечная вертушка, насаженная на ось и вращающаяся в опорах. По числу оборотов вертушки в единицу времени определяется скорость движения воздуха.

При работе прибор ориентируется по потоку так, чтобы счётный механизм был позади потока относительно крыльчатки; для преодоления инерции сопротивления прибора достаточно крыльчатке вращаться вхолостую всего 0,5 мин; продолжительность наблюдения ограничивается 2 мин; порядок расчёта средней скорости потока такой же, как для чашечного анемометра.

Одним из видов анемометров являются термоанемометры, принцип действия которых связан с использованием конвективного уноса тепла движущейся средой от нагретой поверхности. Чувствительным

элементом такого анемометра (рис. 1.1.9) является нагретая проволока или поверхность, обычно из платины или вольфрама. Нагрев элемента обычно осуществляется проходящим через неё постоянным током или проходящим через неё током с поддержанием постоянной температуры элемента. Иногда можно встретить конструкции с косвенным подогревом измерительной проволоки.

Для определения скорости потока в приборе измеряется конвективный унос тепла от проволоки, который является функцией от скорости движения, омывающей элемент среды.

Трубка Пито–Прандтля (рис. 1.1.10) представляет собой две Г-образные трубки, при этом одна трубка размещена внутри другой. Внутренние полости трубок не сообщаются между собой. Трубка вставляется в трубопровод, изгибом параллельно потоку и желателен, соосно оси трубопровода. Внутренняя трубка имеет торцевое отверстие, в результате чего воспринимает полное давление в трубопроводе, равное сумме динамического (зависимого от скорости потока) и статического давления. Наружная трубка имеет отверстия на боковой поверхности и служит для отбора только статического давления. Довольно часто на производстве трубку Пито–Прандтля называют просто трубкой Пито. Это неправильно, так как с помощью трубки Пито невозможно измерить перепад давлений, а значит и расход, так как она не измеряет статическое давление в трубопроводе отдельно от динамического.

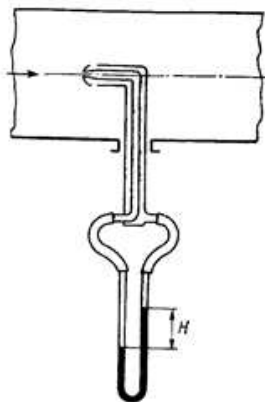
Давление  $P_{\text{внутр}}$ , воспринимаемое внутренней трубкой через отверстие в торце, равно сумме динамического  $P_{\text{дин}}$  и статического  $P_{\text{ст}}$  давлений среды:

$$P_{\text{внутр}} = P_{\text{ст}} + \frac{\rho v^2}{2}.$$

Динамическое давление зависит от плотности измеряемого вещества  $\rho$  и скорости потока вещества  $v$  в трубопроводе. Перепад давлений, измеренный трубкой Пито–Прандтля, будет равен:



**Рис. 1.1.9. Поверхностный чувствительный элемент термоанемометра**

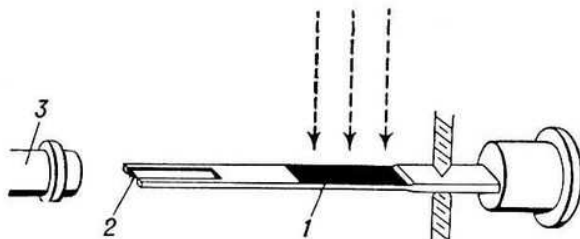


**Рис. 1.1.10. Схема измерения скоростного давления с помощью трубки Пито–Прандтля**

$$\Delta P = P_{\text{внутр}} + P_{\text{наруж}} = P_{\text{ст}} + \frac{\rho v^2}{2} - P_{\text{ст}}.$$

**IV. Интенсивность теплового излучения** определяется актинометрами. Принцип действия актинометра (от актино... и греч. *metréō* – измерять) основан на поглощении падающей радиации (теплового излучения) зачернённой поверхностью и превращении её энергии в теплоту. Актинометр является относительным прибором, так как об интенсивности радиации судят по различным явлениям, сопровождающим нагревание. Например, принцип действия актинометра Михельсона основан на нагревании тепловыми лучами зачернённой биметаллической пластинки *1*, спрессованной из железа и инвара (рис. 1.1.11). При нагревании железо удлиняется, а инвар почти не испытывает теплового расширения, поэтому пластинка изгибается. Величина изгиба служит мерой интенсивности тепловой радиации. С помощью микроскопа *3* наблюдают перемещение кварцевой нити *2*, расположенной на конце пластинки *1*.

В термоэлектрическом актинометре Савинова–Янишевского приёмной частью служит тонкий зачернённый с наружной стороны серебряный диск *1* (рис. 1.1.12), к внутренней стороне которого приклеены центральные спаи *2* термоэлементов, состоящих из зигзагообразно соединённых полосок манганина и константана (так называемые звёздочки Савинова). Периферийные спаи *3* приклеены к медному кольцу в корпусе актинометра. При падении на приёмную поверхность тепловых лучей центральные спаи нагреваются, в то время как периферийные затенены; в результате возникает термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур центральных и периферийных спаев, которая, в свою очередь, пропорциональна измеряемому потоку радиации.



**Рис. 1.1.11. Приёмная часть актинометра Михельсона:**  
*1* – биметаллическая пластинка; *2* – кварцевая нить; *3* – микроскоп

## Механизмы отвода тепла от тела человека

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (термогенезом) в результате жизнедеятельности организма и отдачей этого тепла в окружающую среду. Существует три главных пути теплоотдачи через кожу. Ими являются:

- тепловое (инфракрасное) излучение с поверхности кожи (40...50%);
- непосредственная контактная отдача тепла окружающему воздуху (конвекция) и предметам (кондукция) – 30...40%;
- испарение с кожи (10...20%).

1) Интенсивность отдачи тепла инфракрасным излучением практически полностью зависит от температуры поверхностей предметов, в окружении которых находится человек: поверхность почвы, стен, пола, потолка, мебели, оборудования и т.п. Все предметы, имеющие температуру выше абсолютного нуля, вследствие молекулярных процессов в большем или меньшем количестве выделяют тепло путём инфракрасного излучения. Значительное количество тепла (до 50%) может выделять этим путём и человек. А далее всё зависит от соотношения температур и кожи тела человека и поверхностей предметов. Если температура последних ниже, чем температура тела, тогда человек способен терять часть тепла излучением, и чем ниже температура поверхностей предметов, тем больше теплоотдача излучением. И наоборот, если температура предметов выше температуры тела, отдача тепла излучением становится невозможной, способствуя перегреву тела.

Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения внутренней энергии, которая излучается в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной (ИК) области спектра. Длина волны видимого излучения – 0,38...0,77 мкм, инфракрасного излучения – более 0,77 мкм. Такое излучение называется тепловым, или лучистым теплом.

Воздух диатермичен (прозрачен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух, температура его не повышается. Тепловые лучи поглощаются предметами, нагревают их, нагре-

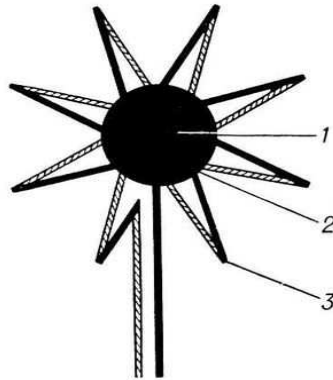


Рис. 1.1.12. Приёмная часть актинометра Савинова-Янишевского

(«звёздочка» Савинова):

- 1 – серебряный диск; 2 – центральные спаи термоэлементов;  
3 – периферийные спаи термоэлементов

тые поверхности становятся излучателями тепла. Воздух, соприкасаясь с нагретыми телами, также нагревается, и температура воздушной среды в производственных помещениях возрастает.

Интенсивность теплового излучения может быть определена по формуле

$$Q = K F \frac{\left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{l^2},$$

где  $Q$  – интенсивность теплового излучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент, учитывающий физические свойства излучающей поверхности, долю облучения, приходящегося на человека, угол падения лучей, приведённую степень черноты излучающей и облучаемой поверхностей, Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>;  $F$  – площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>;  $T_0$  – температура излучающей поверхности, К;  $T_1$  – температура окружающих поверхностей, К;  $l$  – расстояние от излучающей поверхности, м.

Передача тепла ИК-излучением является наиболее эффективным способом теплоотдачи и составляет в комфортных метеоусловиях до 60% общей теплоотдачи. Тело человека излучает в диапазоне длин волн 5...25 мкм с максимумом энергии на длине волны 9,4 мкм.

В производственных условиях, когда работающий окружён предметами, имеющими температуру, отличную от температуры тела человека, соотношение способов теплоотдачи может существенно изменяться. Отдача человеческим телом, тепла во внешнюю среду возможна лишь тогда, когда температура окружающих предметов ниже температуры тела человека. В обратном случае направление потока лучистой энергии меняется на противоположное, и уже тело человека будет получать извне дополнительную тепловую энергию. Воздействие ИК-лучей приводит к перегреву организма и тем быстрее, чем больше мощность излучения, выше температура и влажность воздуха в рабочем помещении, выше интенсивность выполняемой работы.

ИК-излучение, помимо усиления теплового воздействия окружающей среды на организм работающего, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения, важной особенностью ИК-излучения является его способность проникать в живую ткань на разную глубину.

Лучи длинноволнового диапазона (3 мкм...1 мм) задерживаются в поверхностных слоях кожи уже на глубине 0,1...0,2 мм. Поэтому их физиологическое воздействие на организм проявляется главным образом, в повышении температуры кожи и перегреве организма.

Лучи коротковолнового диапазона (0,78...1,4 мкм) обладают способностью проникать в ткани человеческого организма на несколько сантиметров. Такое ИК-излучение легко проникает через кожу и черепную коробку в



мозговую ткань и может воздействовать на клетки головного мозга, вызывая его тяжёлые поражения. В частности, ИК-излучение может привести к возникновению специфического заболевания – теплового удара, проявляющегося в головной боли, головокружении, учащении пульса, ускорении дыхания, падении сердечной деятельности, потере сознания и др.

При облучении коротковолновыми ИК-лучами наблюдается повышение температуры лёгких, почек, мышц и других органов. В крови, лимфе, спинномозговой жидкости появляются специфические биологически активные вещества, наблюдаются нарушения обменных процессов.

2) Конвекция – способ теплоотдачи организма, осуществляемый путём переноса тепла движущимися частицами воздуха (в общем случае – любой подвижной среды). Для рассеяния тепла конвекцией требуется обтекание поверхности тела потоком воздуха с более низкой температурой, чем температура кожи. При этом контактирующий с кожей слой воздуха нагревается, снижает свою плотность, поднимается и замещается более холодным и более плотным воздухом. В условиях, когда температура воздуха равна 20 °С, а относительная влажность – 40...60%, тело взрослого человека рассеивает в окружающую среду путём конвекции около 25...30% тепла (базисная конвекция).

### 1.1.1. Воздействие теплового излучения на человека

Интенсивность теплового излучения, Вт/м <sup>2</sup>	Характер воздействия
До 280	Порог чувствительности
280...560	Переносится в течение рабочего дня, слабое действие без напряжения терморегуляции
560...1050	Терпимо до 3...5 мин, умеренное действие со слабым напряжением терморегуляции
1050...1630	Терпимо до 40...50 с, среднее действие с незначительным напряжением терморегуляции
1630...2090	Терпимо до 20...30 с, действие выше среднего со значительным напряжением терморегуляции
2090...2790	Терпимо до 12...24 с, высокое действие и напряжение терморегуляции
2790...3490	Терпимо до 8...10 с, сильное действие с возможными ожогами кожи
Более 3490	Переносится не более 2...5 с, очень сильное действие системы терморегуляции декомпенсированы, возможен тепловой удар

Теплоотдача конвекцией зависит от температуры воздуха в помещении. Чем ниже температура воздуха, тем больше конвекционная отдача тепла с поверхности кожи. На эту теплопотерю влияет также скорость движения воздуха в помещении и его влажность. При увеличении скорости движения воздушных потоков (ветер, вентиляция) значительно возрастает интенсивность теплоотдачи (форсированная конвекция). Наличие вентиляторных устройств «подгоняет» к телу воздух, температура которого ниже температуры поверхности тела и убыстряет его нагрев. Но если температура воздуха выше температуры поверхности тела, процесс этот малоэффективен.

Примерно аналогично происходит теплоотдача, когда тело соприкасается с поверхностью различных предметов. Этот процесс называется кондуктивной теплоотдачей. Отдача тепла телом человека кондукцией, как правило, невелика и в расчётах не учитывается.

Тепло, передающееся конвекцией ( $Q_k$ ), определяется формулой

$$Q_k = \alpha F (t_T - t_B),$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, который зависит от скорости движения воздуха, его температуры и теплофизических свойств, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $F$  – площадь поверхности тела, м<sup>2</sup>,  $t_T$  – температура наружной поверхности тела человека, °С;  $t_B$  – температура окружающей среды, °С.

Интенсивность конвективной отдачи тепла определяется коэффициентом  $\alpha$ , который характеризует способность окружающей среды отводить тепло.

Если температура окружающей среды выше температуры тела человека, то конвективная теплоотдача направлена к человеку.

3) Потери тепла путём испарения (при испарении 1 г пота теряется 2,50 кДж (0,60 ккал) тепла) происходят по другому механизму. Теплоотдача за счёт испарения влаги  $Q_{исп}$  с поверхности кожи зависит от влажности воздуха, а для открытых участков тела ещё и от скорости его движения. Если относительная влажность воздуха будет равна 100%, то испарение пота станет невозможным. Эффективное испарение пота и хорошее тепловое самочувствие возможно лишь в случае, если образование пота не превысит 250 мл/ч.

**Влияние параметров микроклимата на тепловое самочувствие человека.** В зависимости от особенностей микроклимата помещений и теплового самочувствия человека, пребывающего в этом помещении, различают микроклимат комфортный и дискомфортный. Последний может быть перегретым или охлаждающим.

В обычных условиях, в состоянии покоя или выполнения лёгкой физической работы для здорового человека в повседневной одежде комфортными, обеспечивающими хорошее тепловое самочувствие, показателями микроклимата считаются следующие:

- температура воздуха 17...25 °С;
- относительная влажность воздуха 50...70%;
- скорость движения воздуха 0,2...0,5 м/с;
- температура поверхностей внутренних строительных конструкций и предметов (радиационная температура) 18...20 °С.

В условиях такого микроклимата большинство людей испытывает тепловой комфорт без выраженного напряжения физиологических механизмов приспособления. Однако следует иметь в виду, что даже относительно небольшое повышение температуры воздуха (26...29 °С и более) некоторыми людьми, страдающими различными заболеваниями (сердечно-сосудистыми, эндокринными и др.) с явлениями кислородной недостаточности (гипоксии) может восприниматься как дискомфортное.

Внешняя температура влияет на интенсивность обменных процессов в организме. При низких температурах они усиливаются, вследствие компенсаторного увеличения теплопродукции. При высоких – первоначально снижаются (что само по себе плохо при различных обменных заболеваниях, например, при сахарном диабете). По мере дальнейшего повышения температуры постепенно теряются компенсаторно-регуляторные возможности организма, нарушаются метаболические процессы, происходит распад белков и др.

Температура воздуха (тепловой микроклимат) оказывает влияние и на многие другие физиологические функции. В зависимости от особенностей микроклимата может увеличиваться (или уменьшаться) артериальное давление, частота сердечных сокращений, частота и глубина дыхания, скорость зрительно-моторных реакций, ухудшаются различие цветовых оттенков, логическое мышление, нарушаются нормальные ритмы энцефалограммы и др.

Если внешние микроклиматические показатели приобретают выраженный перегревный или охлаждающий характер, они могут стать причиной острых и хронических заболеваний.

При сильном перегреве могут возникнуть такие виды патологии:

1. Острый перегрев (острая гипертермия). Температура тела повышается до 38 и более °С, потоотделение увеличивается до 200 и более мл/час, частота сердечных сокращений возрастает до 100 и более в минуту, дыхательных движений до 25 и более в минуту. Отмечается сильное головокружение, нарушение зрительного восприятия, слабость, резкое снижение работоспособности, общее плохое самочувствие.

2. Тепловой удар (гиперпиретическая форма перегрева). Возникает в условиях, когда резко снижена или вовсе невозможна отдача тепла испарением (при сочетании высокой влажности и высокой температуры воздуха).

3. Судорожная форма перегрева. Возникает вследствие больших потерь минеральных солей при сильном испарении пота, что приводит к нарушению электролитного баланса и острой мышечной дистрофии.

4. Хронический перегрев. К этой форме тепловой патологии приводит длительное пребывание (работа) в условиях сочетания температуры воздуха более 25...28 °С, относительной влажности более 80% и низкой (менее 0,1...0,2 м/с) скорости движения воздуха, радиационной температуре выше 23...24 °С. Такой длительный перегрев обуславливает ухудшение течения сердечно-сосудистых, эндокринных, аллергических и многих других заболеваний, чаще возникают их обострения, ослабляется природный иммунитет, снижается умственная и физическая работоспособность, быстрее наступают утомление и переутомление.

Неблагоприятно влияет на здоровье и охлаждение. Оно может привести к острым простудно-воспалительным заболеваниям, ангине, невралгиям, мышечным болям, отиту, воспалению мочевого пузыря, заболеваниям почек, к обострениям аллергических, лёгочных, сосудистых и других заболеваний.

Комфортность – оптимальное сочетание основных параметров микроклимата: температуры, относительной влажности и подвижности воздуха. В таких условиях человеческий организм не нуждается в напряжении механизмов внутренней терморегуляции.

В жилых помещениях, расположенных в умеренной климатической зоне России, рекомендуются такие показатели комфортного микроклимата: температура воздуха в пределах 18...23 °С, перепад температуры по вертикали не более 2...3 °С, по горизонтали до 2, разница между температурой воздуха и температурами поверхности внутренних ограждающих поверхностей не более 5°, скорость движения воздуха 0,1...0,2 м/с, относительная влажность 45...65%. Если используется лучистая система панельного отопления, желательная температура стеновых панелей в зимнее время – 30...35 °С. Поскольку теплоотдача осуществляется несколькими путями, а интенсивность её зависит от различных показателей микроклимата, можно сделать очень важный вывод. Регулируя отдельные показатели микроклимата, уменьшая или увеличивая тот или иной вид теплоотдачи, в ряде случаев можно обеспечить комфортное тепловое самочувствие человека даже тогда, когда один или два микроклиматических показателя выходят за пределы нормы. Например, если высокая температура воздуха (разумеется, в относительно небольших пределах отклонения от нормы) затрудняет отдачу тепла конвекцией, то тепловой комфорт иногда удаётся обеспечить, увеличивая теплоотдачу другими путями: повышая скорость движения воздуха и снижая его влажность. Такое взаимокompенсирующее действие параметров микроклимата оценивается так называемыми эффективной и эффективной-эквивалентной температурой. Эффективной называется температура,

которую ощущает человек при определённой относительной влажности неподвижного воздуха в помещении. Эффективно-эквивалентная – это температура, которая ощущается человеком в условиях определённой относительной влажности воздуха при его движении с различной скоростью. Суть понятия эффективно-эквивалентной температуры в том, что одинаковое тепловое самочувствие (одинаковый эффект теплового воздействия на человека) может быть при различных сочетаниях показателей микроклимата.

При сочетании температуры воздуха 25,0 °С, его относительной влажности 50% и скорости движения воздуха 0,5 м/с тепловое самочувствие человека можно считать нормальным. Оказывается, что примерно такое же самочувствие может быть и при температуре воздуха большей (31 °С), и при меньшей (18,8 °С). Для этого в первом случае надо увеличить теплоотдачу за счёт испарения, во втором – уменьшить её.

Теплоощущение человека при температуре воздуха 22 °С, относительной влажности 78%, скорости его движения 0,5 м/с, средневзвешенной радиационной температуре 20 °С, может быть таким же, как и при температуре воздуха 26 °С, но иных других показателях микроклимата, которые позволяют увеличить теплоотдачу инфракрасным излучением и испарением.

Согласно определению  $t_{эо}$ , самочувствие человека будет одинаковым при следующих параметрах воздуха:

$$t_{в} = 16 \text{ °С}; \varphi = 100\%; v = 0 \text{ м/с};$$

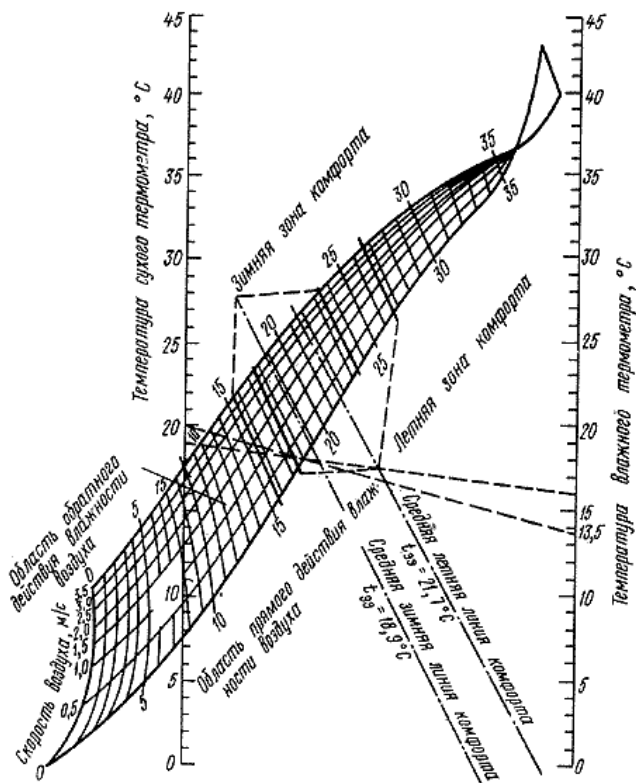
$$t_{в} = 21,5 \text{ °С}; \varphi = 30\%; v = 0,5 \text{ м/с};$$

$$t_{в} = 19,5 \text{ °С}; \varphi = 55\%; v = 0,5 \text{ м/с и т.д.}$$

Существуют специальные справочные таблицы эквивалентно-эффективных температур, показывающие, при каких значениях температуры воздуха, его влажности, скорости движения могут быть обеспечены теплоощущения, соответствующие той или иной эквивалентной температуре (рис. 1.1.13).

Эквивалентно-эффективная шкала, приведённая на рис. 1.1.13, даёт лишь приближённое представление о комфорте, так как она не учитывает роль адаптации организма, климатических особенностей внешних (наружных) параметров макроклимата, влияние теплообмена между телом человека и поверхностями помещения, т.е. теплообмен излучением. Этот недостаток учитывается характеристикой микроклимата методом результирующей температуры  $T_p$ , предложенной французским учёным Миссенаром.

Под микроклиматом помещений (в градусах результирующих температур) понимается температура, эквивалентная по тепловым ощущениям среды, соответствующим значениям температур воздуха по сухому термометру  $t_c$ , относительной влажности  $\varphi$ , скорости движения воздуха  $v$  и средней радиационной температуре  $t_{в}$  ограждения, т.е.  $T_p = f(t_{в}, \varphi, v; t_{в})$ . Однако и метод результирующей температуры не характеризует метеорологические условия в полном соответствии с тепловыми ощущениями человека.



**Рис. 1.1.13. Номограмма эквивалентно-эффективных температур**

Существует много достаточно сложных объективных (инструментальных) и субъективных методов оценки теплового состояния человека. Один из простейших и наиболее доступных – сравнение температуры поверхности кожи лба и кисти. В условиях теплового комфорта у здорового взрослого человека температура кожи лба составляет 32,5...33,5 °С, температура кожи кисти 29...30 °С, разница между ними 3...4 °С. Поскольку поверхность руки охлаждается быстрее, чем поверхность кожи лба, при снижении внешней температуры воздуха рука охлаждается быстрее, и разница температур возрастает. При повышении внешней температуры – уменьшается. Так, при температуре воздуха 10 °С, температура кожи лба составляет 31,2 °С, температура кисти руки 24,2 °С, а разница между ними более 6 °С (человек оценивает такой микроклимат, как холодный). При температуре воздуха 35 °С, эти показатели будут, соответственно, 35,8, 35,6 и менее 1,5, теплоощущения при них оцениваются как «очень

жарко». О тепловом состоянии человека можно также судить по количеству влагопотерь с кожи. При тепловом комфорте оно находится в пределах 40...60 г/ч, умеренного перегрева 150...400 г/ч, очень сильного перегрева – 450 и более г/ч.

Имеется зависимость между объективными показателями теплового состояния человека и его теплоощущениями. Так, например, если теплоощущения оцениваются как «очень жарко», объективные показатели будут таковы: средневзвешенная температура тела более 36,6 °С, влагопотери – более 500 г/ч, кожа резко покраснела, на венах лица и конечностей набухание, обильное потоотделение, резко снижается работоспособность, точность производственных операций, продолжительность выполнения квалифицированной работы (до 0,5% часа). Если же теплоощущения оцениваются как «очень холодно», средневзвешенная температура кожи снижается до 28 °С и менее, влагопотери испарением практически отсутствуют, кожа и слизистые оболочки приобретают синюшный оттенок, дрожание, озноб, затруднены производственные операции и резко (до 0,5% часа) снижена их продолжительность.

**Нормирование параметров микроклимата.** Оптимальные параметры микроклимата – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата – сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата устанавливаются с учётом тяжести выполняемой работы и периодов года. Работы, характеризующиеся энергозатратами организма, по своей тяжести подразделяются на следующие категории:

- лёгкие физические работы (категория I) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет до 120 ккал/ч (категория Ia) и 120...150 ккал/ч (категория Ib). К категории Ia относятся работы, производимые сидя и не требующие физического напряжения. К категории Ib относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением;
- физические работы средней тяжести (категория II) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет 150...200 ккал/ч (категория IIa) и 200...250 ккал/ч (категория IIб). К категории IIa относятся

работы, связанные с ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определённого физического напряжения. К категории Пб относятся работы, выполняемые стоя, связанные с ходьбой, переноской небольших (до 10 кг) тяжестей и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением;

- тяжёлые физические работы (категория П) связаны с постоянным передвижением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требуют больших физических усилий; энергозатраты более 250 ккал/ч.

Периоды года подразделяются в зависимости от среднесуточной температуры наружного воздуха: если эта температура равна +10 °С и выше – тёплый период, менее + 10 °С – холодный.

**Барометрическое давление.** Атмосферное (барометрическое) давление не является параметром микроклимата, так как человек в процессе эволюции адаптировался к его умеренным колебаниям. На поверхности земли колебания атмосферного давления связаны с погодными условиями и не превышают 4...10 мм рт. ст. Однако возможны существенные повышения и понижения атмосферного давления, способные привести к неблагоприятным изменениям в организме.

Воздух обладает массой и весом, гравитационное поле делает воздушные массы у поверхности земли наиболее плотными и, следовательно, воздух обладает наибольшим давлением. С поднятием на высоту плотность и давление воздуха уменьшаются. Если на уровне моря 1 м<sup>3</sup> воздуха весит 1293 г, то на высоте 20 км его вес составляет лишь 64 г, т. е. при одинаковом процентном содержании кислорода его весовая концентрация на высоте 20 км примерно в 20 раз меньше, чем на уровне моря.

Пониженное атмосферное давление способствует развитию у людей симптомокомплекса, известного под названием высотной болезни. Высотная болезнь может возникать при быстром подъёме на высоту и, как правило, встречается у лётчиков и альпинистов в случае отсутствия мер, предохраняющих от влияния пониженного атмосферного давления. В лёгочной ткани происходит обмен газов крови и альвеолярного воздуха. Диффундируя через мембраны, газы стремятся к состоянию равновесия, переходя из области высокого давления в область низкого давления.

Высотная болезнь возникает в результате понижения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, что приводит к кислородному голоданию тканей.

По мере падения парциального давления кислорода уменьшается насыщенность кислородом гемоглобина с нарушением снабжения клеток кислородом.

Резерв кислорода в организме не превышает 0,9 л и определяется количеством растворённого в плазме крови кислорода. Этого резерва достаточно лишь на 5...6 мин жизни, после чего стремительно развиваются явления кислородной недостаточности. К кислородному голоданию наи-





более чувствительны мозговые клетки, так как кора головного мозга потребляет кислорода в 30 раз больше на единицу массы, чем все другие ткани. Мозговые клетки гибнут раньше, чем падает тонус грудных мышц, когда ещё возможны дыхательные движения. Первые симптомы кислородной недостаточности определяются при подъёме на высоту 3000 м без кислородного прибора.

В процессе постепенной адаптации к пониженному атмосферному давлению в организме развиваются компенсаторно-приспособительные механизмы (увеличение числа эритроцитов, повышение уровня гемоглобина, изменение окислительных процессов в организме и т.д.), позволяющие сохранить здоровье и работоспособность, что можно наблюдать у жителей высокогорных районов Дагестана, Памира, Перу, где селения располагаются на высоте 2500...4500 м над уровнем моря.

Повышенное атмосферное давление является основным негативным производственным фактором при строительстве подводных тоннелей, метро, при проведении водолазных работ и т. д.

Для проведения работ под водой или под землей в грунтах, насыщенных водой, сооружаются особые рабочие камеры – кессоны. Кессон заполняется сжатым воздухом, который вытесняет воду из рабочего пространства. На давление столба в 10 м в кессоне повышается давление на 1 атм сверх обычного атмосферного (1 ати). В производственных условиях, в зависимости от заглубления кессона, добавочное давление составляет от 0,2 до 4 атм. При работе в кессонах, отмечают 3 периода: период компрессии, т.е. период опускания в кессон, когда происходит постепенное нарастание давления сверх обычного, период работы в кессоне в условиях повышенного давления и период декомпрессии, когда происходит подъём рабочих на поверхность земли, т.е. выход из зоны повышенного в зону нормального атмосферного давления. Период компрессии и второй период пребывания рабочих в кессонах или водолазов под водой (в условиях повышенного атмосферного давления), при соблюдении правил безопасности переносятся без каких-либо выраженных неприятных ощущений. В зоне повышенного атмосферного давления происходит насыщение крови и тканей организма газами воздуха, главным образом, азотом. Это насыщение продолжается до уравнивания парциального давления азота в окружающем воздухе с парциальным давлением азота в тканях.

Быстрее всего насыщается кровь, медленнее жировая ткань. В то же время жировая ткань насыщается азотом в 5 раз больше, чем кровь или другие ткани. Общее количество азота, растворённого в организме при повышенном атмосферном давлении, может достигать 4...6 л против литра растворённого при нормальном давлении.

При быстром переходе из зоны повышенного атмосферного давления в зону нормального нарушаются процессы десатурации (удаления) азота

из тканей и жидкостей организма. Скорость десатурации азота из различных тканей не одинакова, например, слабоваскуляризованная (практически лишённая кровеносных сосудов) жировая ткань медленно отдаёт азот.

При быстрой декомпрессии создаётся большая разница между парциальным давлением азота в альвеолярном воздухе и парциальным давлением азота, растворённого в тканях организма. Азот не успевает выделиться через лёгкие и остаётся в крови и тканях в виде пузырьков. Опасность газовой эмболии возникает тогда, когда парциальное давление азота в тканях будет выше парциального давления азота в альвеолярном воздухе более чем в 2 раза. Газовая эмболия приводит к тяжёлому профессиональному заболеванию – кессонной болезни. Тяжесть и симптоматика кессонной болезни определяются локализацией и массивностью закупорки сосудов газовыми эмболами. В результате медленной десатурации жировой ткани чаще поражаются ткани с большим содержанием липидных соединений – центральная и периферическая нервная система, подкожная жировая клетчатка, костный мозг, суставы.

Разработаны разнообразные инженерно-технические, санитарно-гигиенические и лечебные мероприятия, предупреждающие возникновение кессонной болезни. В медицинской практике стали использовать гипербарическую оксигенацию для лечения некоторых заболеваний хирургического и терапевтического профиля. В специальных барокамерах создаётся повышенное барометрическое давление, способствующее быстрому насыщению тканей больного кислородом, что даёт лечебный эффект.

Разработаны гигиенические требования к режиму и условиям работы в таких операционных, правила декомпрессии, имеется перечень противопоказаний для медицинского персонала к работе в барокамерах операционных по состоянию здоровья. Метод гипербарической оксигенации совершенствуется, его возможности расширяются.

## 1.2. ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА

### **Специфика и механизм действия токсичных веществ**

**Токсичными** (ядовитыми) называются такие вещества, которые, поступая в организм человека, вызывают заметные физиологические изменения его отдельных систем и органов, и тем самым приводят к нарушению его нормальной жизнедеятельности.

При неправильной организации труда и производства, несоблюдении соответствующих профилактических мероприятий токсические химические вещества могут оказывать вредное влияние на здоровье работающих, понижать их работоспособность, приводить к острым или хроническим отравлениям и профессиональным заболеваниям.

При определённых условиях многие вещества и продукты, используемые в химической промышленности, могут оказывать токсическое действие.

Условно, по характеру действия на отдельные ткани и системы организма, токсичные вещества делят на следующие группы:

- нервные (нейротропные) яды;
- яды крови, реагирующие с гемоглобином крови, нарушающие костно-мозговое кроветворение, разрушающие форменные элементы крови;
- печёночные (гепатотропные) яды;
- ферментные яды;
- канцерогены;
- яды, раздражающие органы дыхания;
- яды, прижигающие и раздражающие кожу и слизистые оболочки.

**Нейротропные яды.** По приведённой классификации алифатические и ароматические углеводороды (**бензин, уайт-спирит**, предельные и непредельные углеводородные газы, ароматические продукты), **спирты, эфиры** являются **нервными ядами**, оказывающими наркотическое действие и поражающими главным образом *центральную нервную систему*. Они повышают возбудимость, вызывают головокружение, сердцебиение, общую слабость организма, нередко заканчивающуюся потерей сознания. Признаками отравления нервными ядами являются дрожание рук, век, мышечные судороги. Во многих случаях поражается мозг, причём воздействию проявляется подобно опьянению. Речь становится всё более неразборчивой, появляется неуверенность движений, усиливается сонливость. Большой впадает в бессознательное состояние, в случае достаточно сильного и длительного воздействия наступает смерть. Способность наркотических веществ вызывать подобные симптомы достаточно сильно варьирует. Одни, подобно хлороформу, действуют очень быстро, другие, например уайт-спирит, обладают замедленным действием. Некоторые, например, эфир, очень летучи и быстро создают высокую концентрацию, другие, такие как перхлорэтилен и трихлорэтан, не столь летучи и долго аккумулируются, прежде чем достигают наркотических концентраций. При длительном воздействии на организм нервных ядов могут возникнуть хронические отравления, сопровождающиеся тяжёлым нервным расстройством. Жидкие углеводороды, попадая на кожу, обезжиривают и сушат её, вызывают различные кожные заболевания (экземы, дерматиты).

К наиболее сильным нервным ядам, проявляющим так называемую «химическую активность», относятся также широко применяемые в химической промышленности **сероводород** и **метанол**. **Сероводород** скапливается в местах распада серосодержащих соединений. Резервуаром сероводорода могут служить канализационные трубы и даже любая глубокая яма в земле. Сероводород, попадая в организм, парализует дыхатель-

ную и сердечную деятельность. При небольших концентрациях сероводорода в воздухе, ощущающихся по неприятному запаху, он действует прежде всего на слизистые оболочки глаз, вызывая резкую боль, ощущение присутствия в глазах постороннего тела, светобоязнь. При более высоких концентрациях сероводорода у человека поражаются дыхательные пути, начинаются судороги, рвота и наблюдается посинение лица; при концентрации сероводорода 1 мг/л и выше происходит мгновенное отравление с полной потерей сознания, в отдельных случаях может наступить смерть. Работники, подвергающиеся длительному воздействию небольших концентраций сероводорода, могут получить хроническое отравление. Во многих случаях выздоровление наступает только после длительной искусственной вентиляции лёгких.

Высокая токсичность метанола (метилового спирта) объясняется его окислением в организме и образованием весьма токсичных продуктов: формальдегида и муравьиной кислоты. Острое отравление метанолом наступает при приёме внутрь 5...10 г, при 30...35 г – возможна смерть. Характерным признаком острого и хронического отравления метанолом является атрофия зрительного нерва, приводящая к расстройству зрения, вплоть до полной слепоты.

Ароматические углеводороды, например, **бензол**, **толуол**, **ксилол**, действуют на организм двояко: при острых отравлениях как наркотики, поражая центральную нервную систему, а при хроническом действии – нарушают нормальное кроветворение, т.е. являются ядами крови. При попадании на кожу они вызывают зуд, красноту, шелушение. Из перечисленных выше ароматических углеводородов наиболее токсичным является бензол: при концентрации 5...10 мг/м<sup>3</sup> вызывает острые отравления.

Хлорзамещённые алифатические (предельные и непредельные) углеводороды (дихлорэтан, трихлорэтилен, четырёххлористый углерод и др.) в малых дозах действуют как наркотики, а при острых и хронических отравлениях поражают печень и почки. Признаками отравления являются головокружение, сонливость, тошнота, раздражение слизистых оболочек глаз и носоглотки; при длительном вдыхании – усиленное сердцебиение, общая слабость, рвота, судороги, потеря сознания и даже смерть.

Марганец оказывает влияние на базальные ядра головного мозга, вызывая неустойчивость походки и нарушения мимики, напоминающие паркинсонизм. Ртуть и свинец действуют на центральную нервную систему. Первая вызывает тремор рук и повышенную возбудимость центральной нервной системы, называемую эретизмом, а второй, особенно в виде органических соединений, вызывает бессонницу, ночные кошмары и судороги. У детей воздействие неорганического свинца приводит к умственным расстройствам.

**Яды крови.** Кровь наиболее уязвима для сильных токсических веществ. Основной яд – свинец; он нарушает химические реакции, при ко-

торых образуется гемоглобин, переносчик кислорода в крови. В результате наступает анемия. Бензол повреждает костный мозг, в котором развиваются клетки крови, что с течением времени приводит к развитию лейкемии. Мышьяковистый водород (арсин) образуется при увлажнении ферросилиция или некоторых мышьяковых примесей в отходах (при очистке свинца или сурьмы). Он разрушает эритроциты и освобождает содержащийся в них гемоглобин, вызывая поражение почек, часто смертельное.

**Гепатотропные яды.** Печень и почки, функция которых связана с поглощением и выделением, часто подвергаются воздействию токсических веществ. Из-за своей способности вызывать повреждение печени хлороформ был исключён из ряда анестетиков. Гомологичное ему соединение, четырёххлористый углерод (растворитель, ранее применявшийся в огнетушителях и в качестве пятновыводителя для одежды), вызывает сильное, иногда смертельное поражение клеток печени. При воздействии низких концентраций такие симптомы, как тошнота и рвота, могут не насторожить врача до тех пор, пока он не выяснит профессии больного. Ртуть и кадмий – два металла, вызывающих поражение почек и приводящих к патологическому выделению белка.

К **ферментным** ядам относятся синильная кислота, нитрилы, пары ртути и др. Известно, что ферменты являются биологическими катализаторами и нарушение их деятельности приводит к тяжёлым отравлениям. Например, синильная кислота и нитрилы (акрилонитрил, ацетонитрил), действуя на дыхательные ферменты, лишают ткани способности утилизировать кислород, доставляемый кровью, и вызывают резкое кислородное голодание – асфиксию, нередко приводящую к смертельному исходу. Пары ртути связывают тиоловые (белковые) ферментные системы, которые имеют большое значение в обмене веществ нервных клеток, что приводит к тяжёлым нарушениям в нервной системе организма. В отличие от других ферментных ядов пары ртути в основном вызывают хронические отравления.

**Канцерогены.** Характерной особенностью этого заболевания является скрытый (латентный) период между первым воздействием и развитием заболевания. Он может длиться до 40 лет. Единственным «благоприятным» признаком рака кожи является то обстоятельство, что его можно сразу увидеть; в случае раннего распознавания эффективны современные методы лечения. Если же рак запущен, заболевание может распространиться на другие органы с фатальным для больного исходом. Канцерогенными являются продукты переработки нефти; вещества, используемые в производстве некоторых красителей и при применении антиоксидантов резины. Причиной возникновения рака лёгких могут быть также мышьяк, никель и соли хромовой кислоты (при их производстве). Никель в виде карбонила никеля, широко применяемого в промышленности, способст-

вует развитию рака придаточных пазух носа. Поливинилхлорид вызывает раковые заболевания печени.

**Раздражающие вещества.** Многие вещества раздражают глаза, нос, верхние дыхательные пути, лёгкие или кожу. Само по себе раздражение, испытываемое рабочим, не является надёжным предупреждающим сигналом. Некоторые вещества, такие как аммиак или формальдегид, обладают остро раздражающим действием и вызывают слезотечение, кашель или неприятное ощущение в носу и в груди, но не наносят стойкого повреждения. Другие же, например, окислы азота, вызывают незначительное раздражение непосредственно в период воздействия, но через сравнительно небольшой промежуток времени, примерно 12 ч, приводят к серьёзному и часто фатальному поражению лёгких. Между этими двумя крайностями находятся все виды различных воздействий (в зависимости от вещества). Эффективность их во многом определяется концентрацией и продолжительностью. Поскольку раздражение нежелательно ни при каких обстоятельствах, соответствующие инструкции исходят именно из силы раздражения многих веществ, а не из их токсического действия. Имеются вещества, пары которых не обладают токсическим действием, однако в жидкой фазе они могут, тем не менее, вызвать значительное раздражение при контакте с чувствительными тканями глаза, носа и глотки. Так, капля каустической соды, попавшая в глаз, способна привести к стойкому рубцеванию роговой оболочки, если немедленно не промыть глаз значительным количеством воды. Воздействие хромовой кислоты при хромировании металлов может вызвать перфорацию перегородки носа.

**Яды, раздражающие кожу.** Кожа – часть тела, наиболее подверженная действию промышленных препаратов; промышленный дерматит является самым частым из всех профессиональных заболеваний. Заболевания кожи возникают от целого ряда причин: от раздражающих препаратов, таких как сильные кислоты или щелочи; от растворителей или детергентов, которыми часто удаляют грязь или краску с кожи, но одновременно и естественные жиры, обладающие защитным действием; от физических воздействий, таких как механическая травма или излучение; от биологических причин.

Профессиональные кожные заболевания не заразны. Они не угрожают жизни, но могут сильно вредить здоровью. Если у работающего возникает особая чувствительность к определённому веществу, он становится профессионально непригодным в этой отрасли промышленности.

Кислоты, щёлочи, фенолы, аммиак, хлор, хлорная известь, а также некоторые другие продукты вызывают химические ожоги, т.е. сильное **поражение кожи и слизистых оболочек**. Наиболее сильные ожоги вызывают концентрированные кислоты, причём степень воздействия кислоты зависит в основном от её окислительной способности.

Кислота, как правило, разрушает только поверхностные слои тканей. Это объясняется тем, что под действием кислот происходит свёртывание белковых тел, и тем самым создаётся препятствие для более глубокого проникновения кислоты.

При ожогах щелочами происходят омыление жирового слоя кожи, обезвоживание тканей и растворение белковых веществ. Характерной особенностью щелочей является то, что все они оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки и ткани. Очень опасны твёрдые щелочи, так как во влажной среде они действуют как концентрированные растворы.

Некоторые химические вещества, например, хлорная известь, попадая на кожу, оказывают действие не сразу, иногда через несколько часов.

**Факторы, определяющие степень воздействия токсичных веществ.** Токсическое действие химических веществ на организм человека определяется следующими факторами: концентрацией, агрегатным состоянием, размером частиц (для пыли), составом, строением и физико-химическими свойствами веществ (формула, молекулярная масса, плотность, точки плавления и кипения, давление паров при 20 °С и насыщающей концентрации, химическая стойкость – гидролиз, окисление и др., растворимость в воде, жирах и других средах, растворимость газов в воде, показатель преломления, поверхностное натяжение, энергия разрыва связей), их взаимным влиянием, путями проникновения в организм и превращениями в нём, способностью к кумуляции и выделению из организма, а также продолжительностью их действия, состоянием окружающей среды (температура, давление, скорость движения воздуха, влажность воздуха) и др.

Очевидно, что чем выше **концентрация** токсичного вещества и продолжительнее **время его воздействия** на организм, тем более опасные последствия возникают для человека. Чем большее количество химического препарата находится в атмосфере или соприкасается с кожей, тем выше вероятность проявления его вредного действия, хотя в некоторых случаях, лица, крайне чувствительные к определённым веществам, реагируют и на весьма низкие концентрации. Чем дольше кожа соприкасается с испачканной рабочей одеждой, тем сильнее проявляется действие ядовитых веществ.

**Размер частиц.** Пыли и дымы (дисперсные системы, состоящие из газообразной дисперсионной среды и твёрдой дисперсной фазы) различаются размером твёрдых частиц: дымы – 0,2...5 мкм, пыли – 5...100 мкм. Крупные частицы пыли осаждаются в верхних дыхательных путях, очень мелкие частицы не задерживаются в лёгких, так как находятся в постоянном движении и удаляются при дыхании, только частицы размером 0,25...10 мкм способны проникать глубже и оседать в альвеолах лёгких.

**Способы внедрения.** Химические препараты попадают в организм главным образом во время дыхания (**ингаляционный** способ), поскольку



многие ядовитые вещества находятся в воздухе в виде пыли, копоти, газов, дыма или пара. Проникновение через кожу (*кожно-резорбтивный способ*) менее типично, но для некоторых веществ оно особенно выражено. Отравление химическими веществами *перорально* редко бывает профессиональным, к тому же все вещества, попадающие в кишечник, переносятся портальным кровообращением к печени, которая обладает определённым обезвреживающим действием. Ингаляция же или резорбция кожей лишает организм этого средства защиты. Сама кожа часто является мишенью для промышленных ядов, что влечёт за собой в дальнейшем возникновение дерматитов или других заболеваний кожи.

**Влияние внешних факторов** (температуры, давления и влажности воздуха) объясняется нарушением системы терморегуляции организма и снижением его сопротивляемости действию ядовитых веществ. Кроме того, при высокой температуре воздуха вследствие увеличения лёгочной вентиляции и скорости кровообращения усиливается проникновение токсичных паров и газов через лёгкие, а в результате ускорения кровотока в коже значительно быстрее происходит проникновение токсичных веществ и через кожные покровы.

Повышение температуры воды, находящейся в контакте с полимерными материалами, существенно влияет на уровень выделения вредных веществ из этих материалов. Например, при повышении температуры воды, протекающей по поливинилхлоридным трубам, концентрация цинка и свинца, мигрирующих в жидкость, увеличивается.

Большое влияние на степень токсичности веществ оказывает их **агрегатное состояние** и **физико-химические свойства** (температура кипения, летучесть, молекулярная масса, растворимость и др.). Токсичность твёрдых и жидких ядов проявляется чаще всего в тех случаях, когда они переходят в *пылеобразное или парообразное* состояние. Чем ниже температура кипения и выше летучесть (способность вещества к выходу из твёрдой или жидкой фазы), тем быстрее совершается переход вещества в парообразное состояние и соответственно сильнее проявляется его токсичность. Поэтому *низкокипящие и легкоиспаряющиеся* жидкости (например, бензол (температура кипения 80,1 °С), эфиры (температура кипения диэтилового эфира 34 °С)) представляют собой значительно большую опасность, чем *высококипящие продукты* (толуол (110,6 °С), ксилол (около 140 °С)). Токсическое действие ядовитых металлов (ртути, свинца) проявляется в основном при их переходе в парообразное состояние. **Молекулярная масса** полимеров оказывает влияние на химическую стойкость пластмасс, и, следовательно, на их токсическое действие. Если в состав полимера входят фракции с низкой молекулярной массой, то это существенно снижает прочность и химическую стойкость материала, усиливая его вредное действие. Растворимость характеризует способность

вещества в смеси с другим образуют однородные системы – растворы. Мерой растворимости является концентрация насыщенного раствора при данных температуре и давлении. Растворимость газов зависит от температуры и давления, растворимость жидкостей – от температуры. Жирорастворимые и водорастворимые вещества оказывают более выраженное токсическое действие вследствие более свободного их поступления в организм человека через кожные покровы и слизистые оболочки, причём чем больше отношение растворимости в жирах к растворимости в воде, тем токсичнее соединение (правило Авертона–Майера). Показатель преломления, коэффициент поверхностного натяжения, энергия разрыва связей также коррелируют с токсичностью веществ, но эти соотношения ещё недостаточно изучены.

Токсичность химических веществ в определённой степени зависит от их **состава и химической структуры**. Например, наркотическое действие алифатических углеводов возрастает с **увеличением числа атомов углерода** в молекуле (правило Ричардсона). Наркотическое действие усиливается, например, от пентана ( $C_5H_{12}$ ) к октану ( $C_8H_{18}$ ), от этилового спирта ( $C_2H_5OH$ ) к амиловому ( $C_5H_{11}OH$ ). Для ароматических углеводов такой закономерности не наблюдается.

Очень характерной закономерностью является снижение токсичности при **разветвлении** цепи углеродных атомов, например, наркотическое действие изопентана и изопропилбензола слабее действия пентана и пропилбензола ( $C_6H_5C_3H_7$ ). Это «правило разветвлённых цепей» распространяется также на спирты, альдегиды, сложные эфиры. Углеводороды, имеющие одну длинную боковую цепь, оказывают большее наркотическое действие, чем их изомеры, имеющие несколько коротких боковых цепей.

**Замыкание** цепи углеродных атомов также усиливает действие вещества, например, пары циклопентана ( $C_5H_{10}$ ) и циклогексана ( $C_6H_{12}$ ) более токсичны, чем пары пентана ( $C_5H_{12}$ ) и гексана ( $C_6H_{14}$ ).

С **увеличением неопределённости** соединения (правило кратных связей) усиливается биологическая активность вещества. Поэтому, например, усиливается наркотическое действие в ряду этан–этилен (двойная связь) – ацетилен (тройная связь) и раздражающее действие непредельных спиртов и альдегидов по отношению к аналогичным предельным соединениям.

Токсичность в различной степени связана с **валентностью** аниона. У галогенов и соединений фосфора с ростом валентности она увеличивается, в то время как у азота, мышьяка и серы – уменьшается; такая закономерность, по-видимому, обусловлена различными донорно-акцепторными свойствами анионов. Окись марганца токсичнее закиси, шестивалентные соединения хрома токсичнее трёхвалентных, двухвалентные же соединения хрома относительно малотоксичны. Имеются и обратные примеры: закисные соли железа токсичнее окисных, хотя и имеют меньшую валентность. Есть данные о том, что периодичность из-

менений токсичности ионов металлов связана с электронной структурой атома элемента, подобно некоторым физико-химическим характеристикам простых веществ. Токсичность элементов усиливается с увеличением атомного номера, однако в группах переходных металлов наблюдается обратная зависимость.

При **одновременном действии** на организм двух и более ядовитых веществ возможно воздействие трёх видов: **синергизм**, когда одно вещество усиливает (потенцирует) действие другого; **антагонизм**, когда одно вещество ослабляет действие другого; **суммация (аддитивность)**, когда действие веществ суммируется. Например, предельные и непредельные углеводороды усиливают токсичность сероводорода; двуокись углерода значительно усиливает токсичность ароматических соединений; алкоголь усиливает токсичное действие почти всех ядовитых продуктов – это объясняется тем, что в присутствии алкоголя улучшается всасывание ядов и ускоряется их окисление в организме. Имеются яды, при одновременном воздействии которых их токсичное действие на организм уменьшается; например, при взаимодействии некоторых тяжёлых металлов с мышьяковистыми соединениями могут образоваться малотоксичные комплексы.

**Нормирование содержания токсичных веществ в воздухе (ГОСТ 12.1.005–88).** Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК, мг/м<sup>3</sup>), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции и для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

**ПДК<sub>рз</sub>** (предельно допустимой концентрацией) называется концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч в течение всего рабочего стажа не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений.

**ПДК<sub>сс</sub>** (среднесуточная) – такая концентрация, которая не вызывает отклонений при прямом или косвенном воздействии на человека в воздухе населённого пункта в течение сколь угодно долгого дыхания.

**ПДК<sub>мп</sub>** (максимальная разовая) – такая концентрация, которая не вызывает со стороны организма человека рефлекторных реакций (ощущение запаха, изменение световой чувствительности, биоэлектрической активности мозга и т.д.).

При нормировании содержания токсичных веществ в воздухе используют также следующие понятия.

Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО) – это количественная характеристика способности химического вещества

вызывать ингаляционное отравление: отношение летучести вещества (максимально достижимой концентрации в воздухе) при температуре 20° к величине его средней смертельной концентрации для мышей

Зона острого действия – отношение средней смертельной концентрации вредного вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

Зона хронического действия – отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по 4 ч, пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев

Эти величины определены для ≈1200 веществ, для остальных допустимыми уровнями являются ОБУВ (ориентировочно-безопасный уровень воздействия) сроком ≈ 3 года.

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

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

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

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

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- I – вещества чрезвычайно опасные;
- II – вещества высокоопасные;
- III – вещества умеренно опасные;
- IV – вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливается по ГОСТ 12.1.007–76 в зависимости от норм и показателей токсичности, приведённых в табл. 1.2.1.

### 1.2.1. Нормы и показатели токсичности

Наименование показателя	Норма для класса опасности			
	I	II	III	IV
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	< 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	> 10,0
Средняя смертельная доза (LD50) при введении в желудок, мг/кг	< 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/м <sup>3</sup>	< 500	500...5000	5001...50 000	> 50 000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	> 300	300...30	29...3	< 3
Зона острого действия	< 6,0	6,0...18,0	18,1...54,0	> 54,0
Зона хронического действия	> 10,0	10,0...5,0	4,9...2,5	< 2,5

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

#### Примеры токсичных веществ

Чрезвычайно опасные вещества (I).

Акролеин – Бензапирен – Бериллий – Диметилртуть – Диэтилртуть – Озон – Пентахлордифенил – Ртуть (суммарно) – Тетраэтилолово – Тетраэтилсвинец – Трихлордифенил – Этилмеркурхлорид – Таллий – Поло-

ний – Плутоний – Протактиний – Оксид свинца – Растворимые соли свинца – Теллур – Фтороводород.

Высокоопасные вещества (II).

Атразин – Бор – Бромдихлорметан – Бромформ – Гексахлорбензол – Гептахлор – ДДТ (сумма изомеров) – Дибромхлорметан – Кадмий (суммарно) – Кобальт – Литий – Молибден (суммарно) – Мышьяк – Натрий – Нитриты (по  $\text{NO}_2$ ) – Свинец (суммарно) – Селен – Сероводород – Серебро – Силикаты (по Si) – Стронций ( $\text{Sr}^{2+}$ ) – Сурьма – Формальдегид – Фенол – Фосфаты – Хлороформ – Цианиды (по CN-) – Четырёххлористый углерод – Хлор (Cl) – Трихлорсилан ( $\text{Cl}_3\text{HSi}$ ) – плавиковая кислота (HF).

Умеренно опасные вещества (III).

Алюминий – Барий – Железо (суммарно) – Марганец – Медь (суммарно) – Никель (суммарно) – Нитраты (по  $\text{NO}_3$ ) – Фосфаты ( $\text{PO}_4$ ) – Хром ( $\text{Cr}^{6+}$ ) – Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ ) – Этиловый спирт ( $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{OH}$ )

Малоопасные вещества (IV).

Симазин – Сульфаты – Хлориды.

### 1.3. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПЫЛЬ

**Классификация пыли по происхождению, способу образования и дисперсности.** Производственная пыль (аэрозоль) – это совокупность мельчайших твёрдых частиц, образующихся в процессе производства, находящихся во взвешенном состоянии в воздухе рабочей зоны и оказывающих неблагоприятное воздействие на организм работающих.

Воздух производственных помещений фармацевтических предприятий может загрязняться пылью лекарственных веществ, которые выделяются в процессе взвешивания, просеивания, таблетирования, изготовления аэрозолей, транспортировки и других технологических операций. Выделение пыли происходит при фасовке лекарственного растительного сырья и приготовлении лекарственных растительных сборов.

В зависимости от принципа оценки, существует несколько классификаций производственной пыли.

По происхождению пыль подразделяется на: органическую (растительную, животную, полимерную), неорганическую (минеральную, металлическую) и смешанную.

По месту образования пыль делится на: аэрозоли дезинтеграции, образующиеся при размоле и обработке твёрдых тел, и аэрозоли конденсации, получающиеся в результате конденсации паров металлов и неметаллов (шлаки).

По дисперсности пыль делят на видимую (частицы более 10 мкм), микроскопическую (от 0,25 до 10 мкм) и ультрамикроскопическую (менее 0,25 мкм).

Факторы, оказывающие влияние на биологическое действие пыли: дисперсность, форма, химический состав, электрический заряд, растворимость, примеси биологически активных агентов (аллергены, микробы и др.).

В зависимости от выраженности этих факторов проявляется характер действия пыли на организм: преимущественно токсический (марганцевая, свинцовая, мышьяковистая и др.), раздражающий (известковая, щелочная и др.), инфекционно-аллергический (микроорганизмы, споры и др.), аллергический (шерстяная, синтетическая и др.), канцерогенный (сажа и др.) и пневмокониотический, вызывающий специфический фиброз лёгочной ткани.

Опасность производственной пыли определяется её физико-химическими свойствами. Так, пылинки размером менее 0,25 мкм практически не осаждаются и постоянно находятся в воздухе в броуновском движении. Пыль с частицами менее 5 мкм наиболее опасна, поскольку может проникать в глубокие отделы лёгких вплоть до альвеол и задерживаться там. Подсчитано, что альвеол лёгких достигает около 10% вдыхаемых пылинок, а 15% заглатывается со слюной.

Существенное влияние на устойчивость частиц в воздухе оказывает плотность пыли. Чем выше плотность вещества при одной и той же дисперсности, тем быстрее оно оседает из воздуха. Например, пыль вольфрамово-кобальтовых сплавов размером 5 мкм оседает в 5...6 раз быстрее, чем частицы кварца, и в 14 раз – чем пыль угля таких же размеров. С учётом плотности обычно рассчитывается пребывание пыли в воздухе («скорость витания» пыли) определённой дисперсности: в гигиенической практике для установления характеристики пыли и для изучения влияния на организм пыли полидисперсной или избранной дисперсности; в санитарной технике для определения эффективности фильтрующих свойств разных материалов; в теплотехнике – для характеристики пылевидного топлива и т.д.

На устойчивость аэрозоля и его взаимодействие с организмом оказывает влияние и форма пылевых частиц. Частицы сферической формы быстрее выпадают из воздуха, легче проникают в органы дыхания и лучше фагоцитируются, в то время как частицы неправильной (плоской, палочковидной, спиральной формы) – более длительно удерживаются в воздухе и труднее проникают в глубокие отделы лёгких. Плотные, крупные частицы с острыми гранями (чаще аэрозоли дезинтеграции) больше травмируют слизистую оболочку дыхательных путей, чем частицы с гладкой поверхностью. Однако лёгкие пористые частицы хорошо адсорбируют токсичные пары и газы, а также микроорганизмы и продукты их жизне-

деятельности. Такая пыль приобретает токсические, аллергенные и инфекционные свойства.

Твёрдость пыли не имеет существенного гигиенического значения. Например, пыль твёрдых веществ – алмаза и эльбора существенно менее вредна, чем их модификации – графиты (чёрный и белый), особенно кварц, имеющие меньшую твёрдость.

Кроме перечисленных физических свойств, патогенность производственной пыли зависит от электронной структуры, химического состава, дозы и времени воздействия.

В развитии пневмокониозов наибольшую опасность представляют нерастворимые промышленные аэрозоли двуокиси кремния, силикатов (соли кремниевой кислоты), пыль некоторых металлов и сплавов, смешанные минерально-металлические и другие пыли. Перечисленные пыли при вдыхании способны длительно задерживаться в глубоких отделах дыхательного тракта и вызывать поражение дыхательных путей и лёгких. Характер изменений в лёгких при пневмокониозах зависит также и от сочетания пылевого фактора с другими производственными вредностями. Примесь токсических веществ (фтор, свинец, марганец, никель, пары кислот, окислы азота, сероводород), тяжёлая физическая работа, переохлаждение усиливают опасность возникновения пневмокониоза и отягощают его течение. При гигиенической оценке пылевого фактора учитывается вся взвешенная в воздухе пыль (в мг на  $1 \text{ м}^3$ ), включая мелкие и крупные фракции, поскольку в органах дыхания задерживается не только мелкая, но и крупная пыль.

Важное значение имеют токсичность и растворимость пыли: токсичная и хорошо растворимая пыль быстрее проникает в организм и вызывает острые отравления (пыль марганца, свинца, мышьяка), чем нерастворимая, приводящая лишь к местному механическому повреждению ткани лёгких. Наоборот, растворимость нетоксичной пыли благоприятна, так как в растворённом состоянии вещество легко выводится из организма без каких-либо последствий.

В последние годы признано, что агрессивность пыли обуславливается не только химическим составом, но и структурным строением вещества или пространственным расположением в кристаллической решётке атомов и взаимодействием электронов.

Действие аэрозолей зависит от наличия на поверхности твёрдых кристаллов разного количества нелокализованных электронов, которые могут образовывать химически активные функциональные группы или центры, представляющие собой гамму поверхностных окислов, способных вступить в обменные процессы с тканями организма. Разное действие фиброгенной (вызывающей негативные изменения лёгочной ткани) пыли особенно чётко можно проследить у аллотропных веществ. Так, при одном и



том же химическом составе веществ, но при различных физических свойствах (расположение атомов в кристаллической решётке, плотность, твёрдость, термостойкость, электросопротивление и др.) действие пыли на организм может быть разным. Например, воздействие пыли кварца вызывает резкий фиброз, а его модификация – стишовит, т.е. кремнезем, подвергнутый сверхвысокому давлению и температуре, отличается низкой фиброгенностью. Другой пример: пыли графитов – углерода и нитрида бора вызывают более выраженные фиброзные изменения в органах дыхания, чем их модификации, соответственно, алмаз и эльбор и т.д.

На основании изучения фиброгенных свойств различных видов пыли можно выделить три класса опасности и определить соответствующие предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли.

Первый класс – высокофиброгенные пыли, их ПДК 1...2 мг/м<sup>3</sup>. К ним относятся «чистая» двуокись кремния и аэрозоли, содержащие свыше 10% свободной двуокиси кремния или более 10% асбеста. При воздействии аэрозолей первого класса опасности развивается резко выраженный прогрессирующий пневмокониоз узелкового типа (пыль кремнезема) или выраженный диффузный и сетчатый пневмосклероз с поражением плевры (пыль асбеста).

Второй класс – средне- или умеренно фиброгенные пыли, с ПДК 4...6 мг/м<sup>3</sup> – включает в себя аэрозоли, содержащие 2...10% свободной двуокиси кремния, кремнемедистый сплав, тальк, стекловолокно, глину, апатит, цемент, электрокорунды, карбиды кремния и бора, барит, дуниты, форстерит и др. Аэрозоли второго класса опасности вызывают медленное развитие пневмокониоза с умеренным диффузным пневмосклерозом, с образованием клеточно-пылевых очажков и небольшим развитием коллагеновых волокон или клеточно-пылевых узелков – гранулём.

Третий класс – слабо фиброгенные пыли, с ПДК 8...10 мг/м<sup>3</sup>. К ним относятся каменный уголь, асбестобакелит (волокнит), асбесторезина, магнезит, алмазы природные и синтетические, двуокись титана, тантал и его окислы, эльбор и др.

При воздействии этих пылей формируется незначительный диффузный пневмосклероз, преимущественно вокруг бронхов и сосудов с образованием клеточно-пылевых очажков и воспалительным процессом в бронхах.

Предложенная групповая классификация различных фиброгенных пылей принципиально отличается от зарубежных. Зарубежные классификации пылей при установлении ПДК учитывают только содержание в пыли кварца без патогенного воздействия других составных частей пыли. В основе отечественной классификации учитывается не только содержание в пыли кремнезема, но и других составных компонентов пыли, отличающихся от кварца химическими, физическими и фиброгенными свойст-

вами, что важно учитывать при обосновании профилактических противопылевых мероприятий и периодических медицинских осмотров рабочих.

**Нормирование содержания пыли в воздухе рабочей зоны.** Осуществляется по предельно-допустимым концентрациям (ПДК). Для характеристики степени запылённости принято использовать максимально разовые концентрации пыли по массе, отражающие наиболее высокие концентрации в особо неблагоприятный период технологического процесса или операции. Такой подход к нормированию пыли обуславливает некоторый дополнительный «запас надёжности» при проектировании санитарно-технических устройств и упрощает проведение текущего санитарного надзора на промышленных предприятиях. Вместе с тем при расчёте пылевых нагрузок (т.е. дозы, поступившей в организм пыли за определённое время) необходимо ориентироваться не только на максимально разовые концентрации, но и на среднесменные. Учёт пылевой нагрузки позволяет прогнозировать интенсивность развития пылевой патологии. Наличие «пиковых» высоких концентраций при той же пылевой нагрузке придаёт развивающемуся патологическому процессу более выраженный характер и приводит к сокращению сроков развития пневмокониоза.

#### 1.4. АЭРОИОННЫЙ СОСТАВ ВОЗДУХА

Помимо химических и метеорологических факторов, определяющих качество воздуха, установлено, что на качество воздуха существенное влияние оказывает также и его ионный состав.

В атмосферном воздухе содержатся отрицательные и положительные аэроионы, по своей подвижности разделяющиеся на лёгкие, средние и тяжёлые. По виду они разделяются на ионы из единичных газовых молекул, ионы из комплекса нескольких молекул и взвешенные в воздухе материальные частицы (аэрозоли) с осевшими на них ионами.

Наблюдения, проведённые медиками-гигиенистами, показывают весьма благоприятное влияние на жизнедеятельность человеческого организма лёгких, в особенности отрицательных ионов.

Предполагают, что аэроионы отрицательной полярности в воздухе – это аэроионы кислорода воздуха. Процесс ионизации воздуха заключается в отрыве от атома любого элемента одного или нескольких периферийных электронов с последующей группировкой вокруг такого электрона нейтральных атомов, что приводит к образованию отрицательных ионов. Положительные ионы образуются из атома, лишённого электрона, присоединившего к себе нейтральные атомы.

Источниками ионизации атмосферы, под воздействием которых происходит отрыв электронов от атомов, являются: радиоактивные вещества, находящиеся в земной коре, воде и воздухе; космические лучи, нейтронные потоки и ультрафиолетовые лучи солнца (в верхних слоях атмосферы).

ры), фотоэлектрический эффект Гальванса – Столетова, баллоэлектрический эффект (ионообразование при разбрызгивании воды), электрические разряды в атмосфере (молнии, разряды на вершинах гор и т.п.), трение частиц о твёрдую поверхность вследствие пылевых и снежных бурь, разнообразные химические реакции и металлургические процессы.

Основной характеристикой иона является его заряд. Наименьшая величина заряда, соответствующая заряду электрона, составляет  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Масса носителей электричества обуславливает их подвижность – приобретённую скорость передвижения  $u$ , см/с в электрическом поле при напряжённости электрического поля  $E$  (градиенте потенциала) 1 В/см:

$$\mu = u/E, \text{ см}^2/\text{с}\cdot\text{В}.$$

По указанной скорости различаются лёгкие, средние и тяжёлые ионы.

Лёгкие ионы характеризуются подвижностью  $1 \dots 2 \text{ см}^2/\text{с}\cdot\text{В}$  и состоят из группы молекул, несущих один элементарный заряд.

Средние ионы характеризуются подвижностью  $0,01 \dots 0,1 \text{ см}^2/\text{с}\cdot\text{В}$ . Природа их и воздействие на организм ещё не выяснена. Поэтому ионный состав воздуха принято пока характеризовать наличием лёгких и тяжёлых ионов.

Тяжёлые ионы характеризуются подвижностью в пределах  $0,0003 \dots 0,001 \text{ см}^2/\text{с}\cdot\text{В}$  и представляют собой комплексы большого количества молекул также с одним элементарным зарядом. Они образуются в результате оседания лёгких ионов на различные материальные частички: пылинки, капли тумана и т.п.

В воздухе одновременно с ионообразующими происходят ионоуничтожающие процессы, в частности, аэроионы противоположного знака могут столкнуться друг с другом или с поверхностью и нейтрализоваться. Чем чище воздух, тем дольше время жизни лёгких аэроионов и, наоборот, при загрязнённости воздуха время жизни лёгких аэроионов мало. Положительные аэроионы менее подвижны и более долго живут по сравнению с отрицательными аэроионами.

СанПиН 2.2.4.1294–03 устанавливают санитарные требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений, где может иметь место аэроионная недостаточность или избыток аэроионов, включая:

- герметизированные помещения с искусственной средой обитания;
- помещения, в отделке и(или) мебелировке которых используются синтетические материалы или покрытия, способные накапливать электростатический заряд;
- помещения, в которых эксплуатируется оборудование, способное создавать электростатические поля, включая видеодисплейные терминалы и прочие виды оргтехники;

- помещения, оснащённые системами (включая централизованные) принудительной вентиляции, очистки и(или) кондиционирования воздуха;
- помещения, в которых эксплуатируются аэроионизаторы и деионизаторы;
- помещения, в которых осуществляются технологические процессы, предусматривающие плавку или сварку металлов.

Требования Санитарных правил направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека аэроионной недостаточности и избыточного содержания аэроионов в воздухе на рабочих местах.

Нормируемыми показателями аэроионного состава воздуха производственных и общественных помещений являются:

- концентрации аэроионов (минимально допустимая и максимально допустимая) обеих полярностей  $p-$ ,  $p+$ , определяемые как количество аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха (ион/см<sup>3</sup>);
- коэффициент униполярности  $У$  (минимально допустимый и максимально допустимый), определяемый как отношение концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

Минимально и максимально допустимые значения нормируемых показателей определяют диапазоны концентраций аэроионов обеих полярностей и коэффициента униполярности, отклонения от которых могут привести к неблагоприятным последствиям для здоровья человека.

#### **1.4.1. Значения нормируемых показателей концентраций аэроионов и коэффициента униполярности**

Нормируемые показатели	Концентрации аэроионов, $p$ (ион/см <sup>3</sup> )		Коэффициент униполярности, $У$
	положительной полярности	отрицательной полярности	
min допустимые	$p+ > 400$	$p- > 600$	$0,4 < У < 1,0$
max допустимые	$p+ < 50000$	$p- < 50000$	

## **2. МЕРЫ НОРМАЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ**

Защитные меры необходимы для профилактики химических отравлений и оптимизации параметров микроклимата. Их можно разделить на следующие группы:

*Организационные:*

- медицинские осмотры при приёме на работу и периодически;
- сокращённый рабочий день;
- недопустимость приёма на работу с вредными условиями для подростков и женщин;
- предоставление дополнительных отпусков;
- учёт и регистрация профессиональных заболеваний и отравлений;
- организация рационального дополнительного питания.

*Технические:*

- герметизация оборудования;
- дистанционное или автоматическое управление;
- вентиляция и кондиционирование воздуха;
- сигнализация.

*Санитарно-гигиенические:*

- нормирование вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- стандартизация сырья и готовых материалов;
- контроль состояния воздушной среды.

*Психофизиологические:*

- комнаты отдыха;
- доступность информации;
- тренинги;
- нормализация социально-психофизиологического климата в коллективе.

Наряду с мерами защиты используются и средства защиты (спецодежда, пасты, мази, перчатки, средства защиты органов дыхания).

## 2.1. ПРОТИВОПЫЛЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Основным направлением в комплексе мероприятий по борьбе с пылью является предупреждение её образования или поступления в воздух рабочих помещений. Важнейшее значение в этом направлении имеют мероприятия технологического характера. Технологические процессы по возможности проводятся таким образом, чтобы образование пыли было полностью исключено или, по крайней мере, сведено до минимума. С этой целью нужно максимально заменять сухие пылящие материалы влажными, пастообразными, растворами и обработку их вести влажным способом. Если по технологическим условиям необходимо иметь материал в сухом виде, целесообразно вместо порошкообразного использовать его в виде брикетов, таблеток и т.п., которые пылят значительно меньше. Это в равной степени относится как к сырьевым материалам, так и к готовой продукции, побочным продуктам и отходам производства. Подобные меры предупреждения пылеобразования уже нашли широкое применение

в промышленности. К ним относятся мокрое бурение в горнорудной промышленности, нагнетание воды в толщу пласта, гидравлическая добыча угля (гидромониторы), гидравлическая и гидropескоструйная очистка литья, влажный помол и шлифовка, выпуск пастообразных красителей, таблеток белой сажи и т.д.

При невозможности полного исключения пылеобразования необходимо путём соответствующей организации технологического процесса и использования соответствующего технологического оборудования не допускать выделения пыли в воздух рабочих помещений. Это достигается главным образом путём организации непрерывного технологического процесса в полностью герметичной или, по крайней мере, максимально закрытой аппаратуре и коммуникациях. Непрерывность процесса к тому же позволяет полностью механизировать его, а нередко и автоматизировать, что, в свою очередь, даёт возможность удалить рабочих от источников пылеобразования и предупредить воздействие на них пыли. Для удаления пыли с поверхностей вместо сдувки целесообразно использовать её отсос – аспирацию.

Хороший гигиенический эффект даёт использование беспыльных видов транспорта сыпучих материалов. К ним относятся гидро- и пневмотранспорт, вибротрубы, герметично закрытые шнеки.

Если по условиям технологии неизбежно свободное падение пылящих материалов, при котором образование пыли происходит наиболее интенсивно вследствие воздействия на падающий материал ударной силы, то рекомендуется спускать пылящий материал не вертикально, а по наклонной плоскости, наклонному лотку или спирали. Такое «сползание» пылящего материала по наклонной плоскости резко уменьшает ударную силу падения и значительно снижает пылеобразование. Чем больше угол наклона от вертикальной оси, тем медленнее сыпается материал и меньше пылеобразование.

В некоторых случаях целесообразно заменять материалы, образующие агрессивные пыли, содержащие значительное количество кварца, другими материалами – с меньшим содержанием кварца или, ещё лучше, совершенно без него. Именно поэтому в литейных цехах, например, вместо пескоструйной очистки литья нередко используют дробемётные установки, работающие на чугунной дроби (вместо песка). В металлургической промышленности замена динасовых и шамотных огнеупоров хромомagneзитовыми и другими снизила до ничтожных величин содержание кварца в образующейся пыли при ремонте печей, футеровке ковшей и в производстве этих огнеупоров.

В местах возможного выделения пыли, у источников её образования или у мест выделения применяются меры пылеподавления. Наиболее распространённым мероприятием этого типа является водяное орошение, при котором пыль смачивается, за счёт чего утяжеляются, слипаются пылинки

и быстро оседают. Водяное орошение чаще всего применяется в местах пересыпки пылящих материалов (загрузка в бункер, перепад с одной транспортёрной ленты на другую, выгрузка из бункеров и аппаратов и т.п.). Иногда мелкое водораспыление производят по всей площади рабочих помещений, там, где имеются рассеянные источники пылевыделения (при перегрузке пылящих материалов грейферным краном, приготовлении форм в грунте, очистке рассеянного литья и т.п.).

Некоторые виды пылей, как каменноугольная, слюдяная и другие, плохо смачиваются водой, поэтому при применении водяного орошения должный эффект не достигается. В подобных случаях к воде, подаваемой для орошения, добавляются специальные вещества, способствующие смачиванию пылинок. Эти вещества носят общее название смачивателей. В качестве смачивателей используются мылонафт, сульфонал, контакт Петрова, сульфитно-спиртовая барда, сложные органические соединения под условными названиями ДБ, ОП-7, ОП-10 и др.

Как одно из средств пылеподавления иногда применяют водяной пар, который также смачивает пылинки, способствуя быстрому их осаждению. В отличие от распылённой воды, водяной пар хорошо смачивает взвешенную пыль, но гораздо меньше увлажняет сам пылящий материал, что иногда весьма важно для технологии. Однако, учитывая, что насыщение воздуха рабочих помещений водяными парами является небезразличным для людей и может стать дополнительным неблагоприятным фактором, применение этого способа можно рекомендовать лишь для пылеподавления в закрытых ёмкостях (аппаратах, коммуникациях и т.п.) с отсосом пыле-паро-воздушной смеси из этих ёмкостей.

Если по техническим причинам полного предупреждения образования и выделения пыли достигнуть невозможно, для пылеподавления используется вытяжная вентиляция. Последняя, как правило, устраивается по типу местной вытяжки от мест и источников пылевыделения, причём наиболее целесообразно источники пылеобразования максимально укрыть и производить вытяжку из-под этих укрытий.

Общеобменная вытяжная вентиляция в помещениях применяется лишь при рассеянных источниках пылевыделения, когда невозможно полностью обеспечить их местной вытяжкой. Эффективность общеобменной вытяжной вентиляции в производствах с пылевыделениями всегда ниже, чем эффективность местной вытяжки, так как малое количество отсасываемого воздуха не обеспечивает должного удаления пыли из помещения, а увеличение его ведёт к созданию вихревых потоков воздуха, которые взмучивают осевшую пыль и способствуют некоторому повышению её концентрации в воздухе. Для предупреждения последнего приточный воздух в помещения с пылеобразованием следует подавать с малыми скоростями в верхнюю зону.

Внутренние поверхности стен, полы и другие ограждения рабочих помещений, где возможно выделение пыли, должны облицовываться гладким строительным материалом, позволяющим легко удалять, а иногда и смывать осевшую пыль. Удалять пыль следует либо влажным способом, либо аспирацией (промышленными пылесосами или отсосом в вакуумную линию). Снижение запылённости воздуха до предельно допустимых концентраций и ниже путём использования вышеописанного комплекса противопылевых мероприятий является основным критерием их эффективности.

При проведении кратковременных работ в условиях значительной запылённости (ремонт, наладка пылящего оборудования) рабочие должны пользоваться индивидуальными защитными средствами, главным образом респираторами и противопылевыми очками. Для защиты кожного покрова от раздражающего действия пыли с острыми гранями пользуются спецодеждой из плотной ткани (лучше комбинезон), с плотным прилеганием ворота, рукавов и брюк (на завязках или резинках).

Все мероприятия по обеспыливанию являются одновременно и мерами предупреждения взрывов пыли, так как устранение возможности концентрирования пыли в воздухе снижает одно из основных и обязательных условий образования её взрыва.

Кроме того, следует строго следить, чтобы в условиях значительно запылённого воздуха не было открытого огня или даже искр. Запрещается курение, зажигание, пользование вольтовой дугой (электросварка), а также искрение электропроводов, выключателей, моторов и других электроустройств и оборудования на участках со значительной запылённостью воздуха или внутри аппаратов, воздухопроводов и другого оборудования, содержащего высокодисперсную пыль.

Рабочие, занятые на работах в условиях запылённого воздуха, подвергаются периодическим медицинским осмотрам с обязательной рентгенографией грудной клетки. На работу в этих условиях не принимаются лица, страдающие лёгочными и другими заболеваниями. От воздействия пыли эти заболевания могут прогрессировать или осложняться. Поэтому всё вновь поступающие проходят предварительный медицинский осмотр.

## 2.2. ЭКРАНИРОВАНИЕ ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Является одним из самых распространённых способов борьбы с тепловым излучением. Различают экраны трёх типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

В непрозрачных экранах поглощаемая энергия электромагнитных колебаний, взаимодействуя с веществом экрана, превращается в тепловую энергию. При этом экран нагревается и становится источником теплового излучения. При этом излучение поверхностью экрана, противоположащей экранируемому источнику, условно рассматривается как пропущенное



излучение источника. К непрозрачным экранам относятся, например, металлические, альфолевые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др.

В прозрачных экранах излучение, взаимодействуя с веществом экрана, минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран. Так ведут себя экраны, выполненные из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а также плёночные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу), вододисперсные завесы.

Полупрозрачные экраны объединяют в себе свойства прозрачных и непрозрачных экранов. К ним относятся металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Однако это деление достаточно условно, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая его способность выражена сильнее.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего они значительную часть падающей на них лучистой энергии отражают в обратном направлении. В качестве теплоотражающих материалов в конструкции экранов широко используют альфоль, листовую алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Теплопоглощающими называют экраны, выполненные из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

В качестве теплоотводящих экранов наиболее широко используются водяные завесы – свободно падающие в виде плёнки, орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключённые в специальный кожух из стекла (аквариальные экраны), металла (змеевики) и др.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов можно по формуле

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} \cdot 100, \% ,$$

где  $Q$  – интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_3$  – интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м<sup>2</sup>.

### 2.3. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ НАГРЕТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Использование этой защитной меры не только обеспечивает необходимый температурный режим в изолируемых системах и нормальные санитарно-гигиенические условия труда в производственных помещениях (в частности, исключается возможность получения ожогов, которая существует при температуре наружной стенки аппаратов 60 °С и выше), но и способствует экономии топлива. Санитарными нормами (п. 11.14 СН 245–71) предусматриваются следующие значения температур на наружной поверхности изоляции:

$$t_n = \begin{cases} 45 \text{ } ^\circ\text{C}, & t \geq 100 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ 35 \text{ } ^\circ\text{C}, & t < 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{cases}$$

где  $t$  – температура среды внутри аппарата.

Для тепловой изоляции используются материалы с низким коэффициентом теплопроводности. Толщина слоя теплоизоляционного материала  $\delta$  определяется из условия равенства количеств тепла, перенесённого через слой материала теплопроводностью и отведённого от поверхности в окружающую среду конвекцией и излучением:

$$\delta = \frac{\lambda(t - t_n)}{\alpha^*(t_n - t_1)}, \text{ м,}$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/м·°С;  $t$  – температура среды в аппарате, °С;  $t_n$  – температура наружной поверхности изоляции, °С;  $t_1$  – температура воздуха в рабочей зоне;  $\alpha^*$  – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением от наружной поверхности изоляции в воздух рабочей зоны, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

### 2.4. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Вентиляция является средством борьбы с загазованностью и запылённостью производственной среды и улучшения метеорологических условий в рабочих помещениях с большими выделениями тепла; она способствует оздоровлению условий труда, повышению его безопасности и производительности.

Сущность вентиляции заключается в создании в производственном помещении или в ограниченном рабочем объёме интенсивного воздухообмена, в результате чего происходит удаление загрязнённого или перегретого (охлаждённого) воздуха, вместо которого подаётся чистый и охлаждённый (нагретый) воздух. В последнем случае вентиляция является частью санитарно-технической системы, в которую входит отопление и кондиционирование воздуха.

В зависимости от способа перемещения воздуха в рабочих помещениях вентиляция делится на **естественную** и **искусственную** (механиче-

**скую**). Естественная вентиляция обеспечивает перемещение воздуха под влиянием естественных факторов – теплового и ветрового напора воздуха. При искусственной вентиляции для перемещения воздуха применяются механические устройства: вентиляторы, воздуходувки, эжекторы и др.

В зависимости от способа организации воздухообмена вентиляция может быть общеобменной и местной. При **общеобменной** вентиляции происходит смена воздуха во всем объёме помещения. **Местная** вентиляция предназначена для удаления загрязнённого или перегретого (увлажнённого) воздуха из мест образования производственных вредностей (пылеудаляющие кожухи, вытяжные шкафы, панели, зонты и др.) или для создания требуемых условий воздушной среды в ограниченной зоне производственного помещения (воздушное душирование, воздушные оазисы, воздушные и воздушно-тепловые завесы).

По направлению воздушных потоков вентиляция делится на вытяжную, приточную и приточно-вытяжную.

**Вытяжная вентиляция** устраивается для удаления загрязненного или перегретого (увлажнённого) воздуха из всего объёма производственного помещения (общеобменная вытяжная вентиляция), из мест образования вредных выделений, например, у сальников насосов и компрессоров, крышек автоклавов (местная вытяжная вентиляция) и др. Не допускается объединение в общую систему воздуховодов вытяжки пыли и легкоконденсирующихся паров, а также веществ, образующих при смешении вредные смеси или химические соединения. Вредные примеси следует удалять от рабочих мест в направлении их естественного движения: летучие газы и пары вверх, а тяжёлые газы, пары и пыль – вниз. При этом удаляемые потоки воздуха, содержащие примеси, не должны двигаться вблизи работающих. При вытяжной вентиляции загрязнённый (нагретый) удаляется вентилятором, а свежий воздух поступает через оконные и дверные проёмы, створные переплёты, фрамуги и др. Такая система создаёт недостаточно организованный приток воздуха.

**Приточную** вентиляцию применяют в помещениях, в которых не происходит специфическое загрязнение воздуха или необходимо создать незначительное повышенное давление. Приточная вентиляция устраивается для подачи в помещение или рабочую зону (соответственно, общеобменная или местная приточная вентиляция) чистого или нагретого воздуха. В рабочую зону производственных помещений приточный воздух из воздухораспределителей подают горизонтальными струями, выпускаемыми в пределах рабочей зоны; наклонёнными вниз струями, выпускаемыми на высоте 2...4 м от пола; вертикальными струями, выпускаемыми на высоте 4...6 м от пола. При незначительных избытках теплоты приточный воздух в производственные помещения можно подавать из воздухораспределителей, расположенных в верхней зоне, вертикальными или наклонёнными струями, направленными сверху вниз. В производственные помещения с выделения-

ми пыли приточный воздух нужно подавать струями, направленными сверху вниз из воздухораспределителей, расположенных в верхней зоне. В помещения различного назначения при отсутствии выделения пыли приточный воздух можно подавать струями, направленными снизу вверх из воздухораспределителей, расположенных в обслуживаемой или рабочей зоне. Приточный воздух целесообразно подавать на постоянные рабочие места, если они находятся у источников вредных выделений, для которых невозможно устройство местных отсосов.

На практике наиболее часто применяются комбинированные **приточно-вытяжные** системы; при этом естественная вентиляция может сочетаться с механической.

В производственных помещениях с объёмом на одного работающего менее  $20 \text{ м}^3$  подача наружного воздуха проектируется в количестве не менее  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на каждого работающего, в помещениях с объёмом на каждого работающего более  $20 \text{ м}^3$  – не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Кроме рабочей вентиляции наиболее опасные производства оборудуют так называемой аварийной вентиляцией. **Аварийная вентиляция** предназначена для быстрого удаления из производственных помещений значительных объёмов воздуха с высокими концентрациям токсичных и взрывоопасных паров и газов, образующихся при нарушении технологического режима и авариях. В химической промышленности, где практически все используемые и получаемые продукты являются токсичными, пожаро- и взрывоопасными веществами, аварийной вентиляцией оборудуют все закрытые производственные помещения с технологическим оборудованием. Аварийную вентиляцию проектируют не менее чем с восьмикратным воздухообменом (с учётом постоянно действующих механических вытяжных установок). В нормальных условиях аварийная вентиляция не работает и включается только в случае необходимости. Рекомендуется пусковые устройства аварийной вентиляции блокировать с сигнализаторами токсичных газов и паров. Если концентрация токсичных или горючих веществ в рабочем помещении превысит определённый уровень, то автоматически включится аварийная вентиляция. Для аварийной вентиляции используют вентиляторы с большой производительностью. Аварийная вентиляция обычно является вытяжной.

**К вентиляционным системам предъявляются следующие требования:**

1. Количество приточного воздуха  $L_{\text{пр}}$  должно соответствовать количеству удаляемого  $L_{\text{выт}}$ . В некоторых случаях превышение одного из количеств над другим обусловлено особенностями производства. Для помещений категорий А и Б, а также для производственных помещений, в

которых выделяются вредные вещества или присутствуют резко выраженные неприятные запахи, предусматривают отрицательный дисбаланс, т.е. разность расходов воздуха, подаваемого в помещение (здание) и удаляемого из него системами вентиляции с искусственным побуждением, кондиционирования воздуха и воздушного отопления.

2. Приточные и вытяжные системы в помещении должны быть правильно размещены. Свежий воздух необходимо подавать в те части помещения, где количество вредных выделений минимально (или их нет вообще), а удалять там, где выделения максимальны. Приток воздуха должен производиться, как правило, в рабочую зону, а вытяжка – из верхней зоны помещения. В ряде случаев (при удалении вредных паров и газов с плотностью большей, чем у воздуха) вытяжку нужно производить из нижней зоны.

3. Система вентиляции не должна вызывать переохлаждения или перегрев работающих.

4. Система вентиляции не должна создавать шум на рабочих местах, превышающий предельно допустимые уровни.

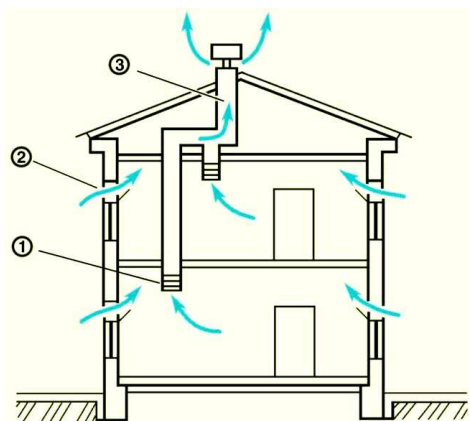
5. Система вентиляции должна быть электро-, пожаро- и взрывобезопасна, проста по устройству, надёжна в эксплуатации и эффективна.

**Естественная вентиляция (аэрация).** При естественной вентиляции воздухообмен создаётся за счёт разности удельного веса теплого воздуха, находящегося внутри помещения, и более холодного снаружи, а также за счёт разности давлений на наветренной и подветренной сторонах здания. Естественная вентиляция может быть неорганизованной и организованной. При неорганизованной вентиляции поступление и удаление воздуха происходит через неплотности и поры наружных ограждений, через окна, форточки, специальные проёмы. Организованный и регулируемый естественный воздухообмен называется аэрацией. Для организации и регулирования воздухообмена при аэрации производственные здания оборудуют соответствующим образом расположенными вытяжными и приточными проёмами (отверстиями).

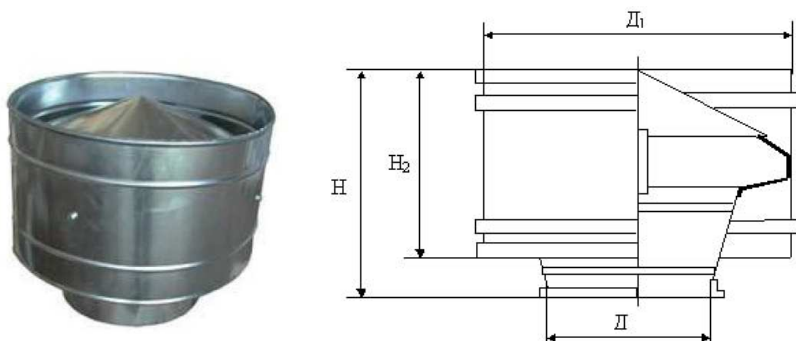
Дефлекторы устанавливают на вытяжных шахтах в системах естественной вентиляции для усиления тяги под действием ветра.

Принцип размещения проёмов и расчёт пропускной способности (площади) в общем виде определяется величиной теплового напора воздуха ( $H_T$ , Па), обусловленного разностью плотностей более холодного и тяжёлого наружного воздуха ( $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>) и более тёплого и лёгкого воздуха внутри помещения ( $\rho_b$ , кг/м<sup>3</sup>), а также расстоянием между приточными и вытяжными отверстиями ( $h$ , м):

$$H_T = hg(\rho_n - \rho_b), \text{ Па.}$$



**Рис. 2.4.1. Схема естественной вентиляции жилого помещения:**  
 1 – вытяжная решётка; 2 – фрамуга или окно; 3 – вытяжная шахта; 4 – дефлектор



**Рис. 2.4.2. Дефлектор ЦАГИ:**  
 1 – внешний вид; 2 – схема устройства

Из приведённого соотношения следует, что тепловой напор и, соответственно, эффективность аэрации повышаются при увеличении разности температур наружного и внутреннего воздуха, а также расстояний между местами притока и вытяжки. Поскольку летом разность температур наружного и внутреннего воздуха, а, следовательно, и тепловой напор меньше, чем зимой, площадь проёмов (или расстояние между местами притока и вытяжки) в летний период должна быть соответственно большей. Для увеличения  $h$  производственные помещения оборудуют аэрационными фонарями и шахтами (вытяжными трубами). Зимние приточные проёмы устраивают на высоте не ниже 4 м от пола, летние – не более 1,8 м от пола. В зимнее время аэрация применяется лишь в производственных помещениях с большими тепловыделениями.

Эффективность аэрации зависит не только от теплового, но и от ветрового напора, определяемого скоростью движения наружного воздуха. Величина наибольшего давления, которое создаёт поток воздуха при внезапном торможении, равна

$$P_v = \rho_n w^2 / 2.$$

Величина повышенного давления, приходящегося на наветренную сторону здания, обычно составляет 0,75...0,8 ветровой нагрузки, а величина разрежения, образующегося с подветренной стороны – 0,4...0,45 $P_v$ . Таким образом, ветровой напор – разность давлений с наветренной и подветренной стороны – превышает скоростное давление ветра на 15...30%:

$$H_v = (1,15 \dots 1,3) P_v, \text{ Па.}$$

Ветровое действие атмосферного воздуха может не только облегчать, но и усложнять аэрацию, так как препятствует притоку воздуха с подветренной и выходу его с наветренной части здания. Для рационального использования обоих факторов естественной аэрации (и теплового, и ветрового напора), необходимо регулировать площадь открытия приточных и вытяжных отверстий в зависимости от времени года, направления и силы ветра.

Основным достоинством естественной вентиляции являются её простота и высокая экономичность, возможность подачи в помещение больших объёмов свежего воздуха, отсутствие специальных механических устройств. В том же время при аэрации невозможна очистка отходящего и поступающего воздуха от вредных примесей, также его охлаждение (подогрев), осушка (увлажнение); затрудняется регулирование направленной подачи воздуха в места наибольших вредных выделений.

**Механическая вентиляция.** Механическую вентиляцию, т.е. вентиляцию с искусственным побуждением, предусматривают:

- если метеорологические условия и чистота воздуха не могут быть обеспечены вентиляцией с естественным побуждением;
- для помещений и зон без естественного проветривания.



Рис. 2.4.3. Схема распределения давления воздуха при естественной вентиляции в здании

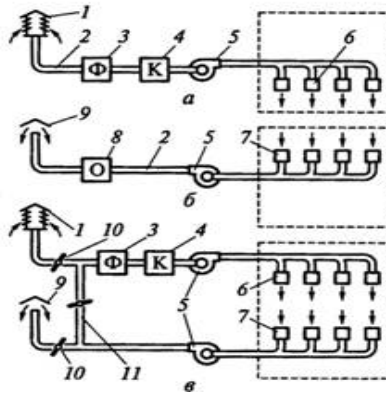
Смешанную вентиляцию, т.е. механическую с частичным использованием естественного побуждения, можно проектировать для притока или удаления воздуха.

**Механическая общеобменная вентиляция** используется в производственных помещениях при отсутствии локальных выделений производственных вредностей или в дополнение к местной вытяжной вентиляции.

При механической приточной вентиляции (рис. 2.4.4, *а*) в помещение организовано подают чистый воздух, а удаление воздуха, обусловленное некоторым повышением давления в помещении, происходит через неплотности строительных конструкций.

При механической вытяжной вентиляции (рис. 2.4.4, *б*) из помещения организовано удаляют загрязнённый воздух, а приток воздуха происходит неорганизованно – за счёт подсоса его через все неплотности строительных конструкций. При этом в холодный период года в помещение поступает значительное количество холодного воздуха. Это приводит к охлаждению помещения, а при больших объёмах подсосываемого воздуха вызывает неприятное ощущение холодного дутья.

Наиболее совершенной и обеспечивающей лучшие санитарно-гигиенические условия в производственных помещениях является приточно-вытяжная система вентиляции (рис. 2.4.4, *в*), при которой в помещение подаётся свежий чистый воздух и одновременно удаляется загрязнённый. При равенстве объёмов организованного притока и вытяжки



**Рис. 2.4.4. Схемы механической вентиляции:**

- а* – приточной; *б* – вытяжной; *в* – приточно-вытяжной с рециркуляцией;  
 1 – воздухоприёмник; 2 – воздуховод; 3 – фильтр; 4 – калорифер; 5 – вентилятор;  
 6 – приточное отверстие (насадка); 7 – вытяжная решётка или насадка;  
 8 – устройство очистки воздуха от пыли; 9 – устройство для выброса воздуха (вытяжная шахта); 10 – заслонки для регулирования притока и вытяжки воздуха;  
 11 – рециркуляционный воздуховод



создаётся так называемый уравновешенный баланс воздушной среды. Если количество подаваемого воздуха больше количества отводимого, то в помещении создаётся несколько повышенное давление по сравнению с наружным, и баланс воздуха будет положительным. Когда же воздуха отводится больше, чем подаётся, в помещении создаётся некоторое разрежение, и баланс воздуха становится отрицательным. При положительном балансе воздуха предотвращается попадание в помещение загрязнённого воздуха снаружи и из смежных помещений. При отрицательном балансе воздуха предотвращается перетекание воздуха из вентилируемого помещения с большими выделениями вредных и взрывоопасных веществ в другие помещения.

**Местная вытяжная вентиляция** предназначена для удаления загрязнённого воздуха непосредственно от источников образования вредных выделений. Её выполняют в виде различных укрытий, вытяжных зонтов, вытяжных шкафов, бортовых отсосов.

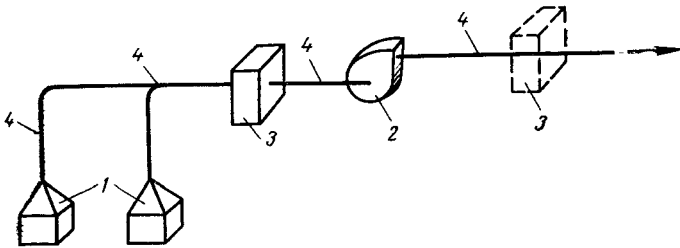
Укрытия с отсосом характеризуются тем, что источник вредных выделений находится внутри них, и в результате искусственно создаваемого разрежения вредные вещества не могут попасть в воздух помещения. Особенно большое значение такие укрытия имеют при борьбе с пылью, так как применение общеобменной вентиляции в этом случае малоэффективно. В практике наиболее распространены различные защитно-обеспыливающие кожухи, которыми снабжают шлифовальные, обдирочные, полировальные, заточные, деревообрабатывающие и некоторые другие станки.

Количество воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , необходимое для удаления пыли, для заточных, шлифовальных и полировальных станков определяют по формуле

$$V = K_p d_{\text{кр}},$$

где  $K_p$  – размерный коэффициент,  $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{мм})$ ;  $d_{\text{кр}}$  – диаметр круга, мм.

Коэффициент  $K_p$  зависит от диаметра круга и для заточных и шлифовальных станков составляет  $1,6 \dots 2 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{мм})$ , а для полировальных станков с войлочными и матерчатыми кругами –  $4 \dots 6, \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{мм})$ .



**Рис. 2.4.5. Схема местной вытяжной установки:**

- 1 – приёмники загрязнённого воздуха; 2 – вентилятор;  
3 – устройство очистки воздуха (фильтр, циклон); 4 – воздуховоды

Вытяжной зонт (рис. 2.4.6) представляет собой металлический колпак, располагаемый над источником вредных выделений. Всасывающее сечение колпака имеет форму, геометрически подобную горизонтальной проекции облака вредных выделений. Размер каждой стороны прямоугольного зонта определяют из выражения

$$B = b_0 + 0,8 l,$$

где  $b_0$  – размер стороны (или диаметр) проекции облака выделений, м;  $l$  – расстояние от поверхности источника выделений до приёмного отверстия колпака, м.

Для равномерности всасывания угол раскрытия колпака принимают равным не менее  $60^\circ$ , а расстояние  $l$  – по возможности минимальным, так как в этом случае возрастает эффективность зонта. При удалении тёплого воздуха, влаги скорость воздуха в горизонтальном сечении колпака принимают равной 0,15...0,25 м/с, а при удалении токсичных веществ – 0,5...1,25 м/с в зависимости от числа открытых сторон зонта (большие значения для зонтов, открытых со всех четырёх сторон).

Количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, которое необходимо удалить вытяжным зонтом, определяют, пользуясь формулой

$$V = 3600Fv,$$

где  $F$  – площадь открытых проёмов, через которые засасывается воздух, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость движения воздуха в этих проёмах, м/с.

Скорость движения воздуха в приёмниках запылённого воздуха определяется:

$$v = 1,2v_{ун},$$

где  $v_{ун}$  – вторая критическая скорость псевдооживления (порозность слоя  $\varepsilon = 1$ ), при которой происходит разрушение слоя и унос отдельных частиц.

Вторая критическая скорость псевдооживления определяется с помощью инструментов теории подобия.

Общая интерполяционная полуэлементная зависимость, связывающая критерии  $Ar$  и  $Re$  для приближённых расчётов скорости осаждения одиночной частицы во всех режимах обтекания (предложена Тодесом и другими) имеет вид

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61Ar^{0,5}}.$$

Для известного диаметра осаждающихся частиц сначала рассчитывают значение  $Ar$ :

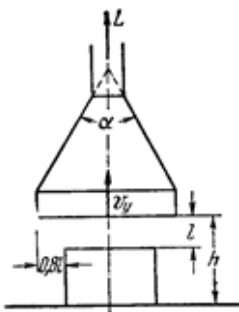


Рис. 2.4.6. Схема вытяжного зонта

$$Ar = \frac{d_q^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{\rho_{тв} - \rho}{\rho}.$$

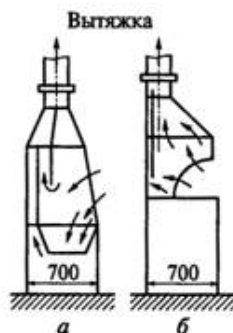
Затем определяют значение  $Re$  и наконец, находят скорость осаждения:

$$\omega_{ос} = \frac{\mu Re}{d_q \rho}.$$

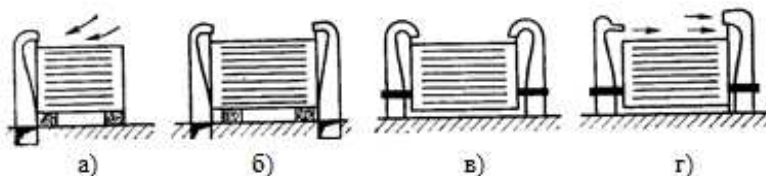
Вытяжной шкаф (рис. 2.4.7) создаёт укрытие со всех сторон источника вредных выделений. Для наблюдения за работой в шкафу предусматривают рабочие проёмы, закрываемые подвижными створками. Вытяжные шкафы используют в химических лабораториях, при термической и гальванической обработке металлов, окраске, развеске и расфасовке сыпучих материалов и др. В зависимости от характера вредных выделений и их температуры скорость воздуха, засасываемого в шкаф через рабочие отверстия, принимают равной от 0,5 (пары кислот, спиртов и др.) до 1,5 м/с (пары свинца, ртути, цианистых соединений и др.).

Расчёт количества удаляемого воздуха ведётся аналогично расчёту для вытяжного зонта.

Бортовые отсосы (рис. 2.4.8) конструктивно представляют собой щелевые воздухоприёмники, располагаемые сбоку от зеркала вредных выделений. Такие отсосы находят применение в тех случаях, когда укрытие источника вредных выделений кожухом по техническим причинам не представляется возможным (при травлении металлов и нанесении гальванопокрытий, цинковании, серебрении, в процессе которых выделяются пары кислот, щелочей, цианистый водород и т.п.).



**Рис. 4.7. Вытяжной шкаф:**  
*а* – с нижним отсосом;  
*б* – с верхним отсосом



**Рис. 2.4.8. Бортовые отсосы ванн:**

*а* – односторонний; *б* – двусторонний; *в* – опрокинутый; *г* – со сдувом

При ширине ванн до 0,5...0,7 м используют однобортовые отсосы, при большей ширине – двухбортовые. Скорость засасываемого в щель воздуха принимают равной 0,3...3 м/с. При ширине ванн более 1,5...2,0 м применяют бортовые отсосы со сдувом, в которых воздух подаётся с противоположной от щели отсоса стороны для улучшения всасывания в щель.

Количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, необходимое для сдува, определяют по формуле

$$V_{\text{сд}} = 300KAB^2,$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от температуры жидкости в ванне, изменяется от 0,5 (для 20 °С) до 1 (для 70... 95 °С);  $A$  – длина ванны, м;  $B$  – ширина ванны, м.

Количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, отсасываемое бортовым отсосом со сдувом:

$$V = 6V_{\text{сд}}.$$

Ширину щели бортового отсоса принимают равной 40...100 мм, ширину щели сдува принимают равной 0,0125 ширины ванны, но не менее 5 мм.

**Местную приточную вентиляцию** широко используют для создания требуемых параметров микроклимата в ограниченном объёме, в частности, непосредственно на рабочем месте. Это достигается созданием воздушных оазисов, воздушных завес и воздушных душей.

*Воздушный оазис* (рис. 2.4.9) создают в отдельных зонах рабочих помещений с высокой температурой. Для этого небольшую рабочую площадь закрывают лёгкими переносными перегородками высотой 2 м и в огороженное пространство подают прохладный воздух со скоростью 0,2...0,4 м/с.

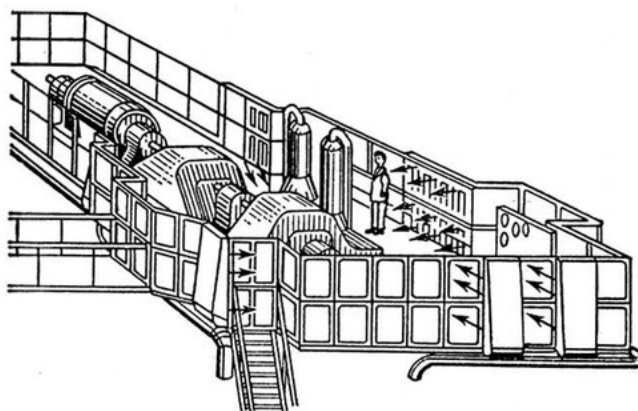


Рис. 2.4.9. Воздушный оазис

*Воздушные завесы* (рис. 2.4.10) создают для предупреждения проникновения в помещение наружного холодного воздуха путём подачи более теплого воздуха с большой скоростью (10...15 м/с) под некоторым углом навстречу холодному потоку.

*Воздушные души* (рис. 2.4.11) применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием лучистого потока теплоты большой интенсивности (более 350 Вт/м<sup>2</sup>). Поток воздуха, направленный непосредственно на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду. Выбор скорости потока воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а также от интенсивности облучения, но она не должна, как правило, превышать 5 м/с, так как в этом случае у рабочего возникают неприятные ощущения (например, шум в ушах). Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему распылённой воды (водо-воздушный душ).

Стационарные воздушные души представляют собой общий воздухопровод с приточными (душирующими) насадками, которые направляют струю воздуха на рабочие места. Забор воздуха производится либо снаружи, либо полностью или частично из помещения (полная или частичная рециркуляция).

Передвижные воздушные души состоят из вентилятора, двигателя и различных приспособлений (подставки, ограждения вентилятора и др.). В них используется наружный воздух или воздух помещения.

Основным достоинством механической вентиляции является возможность обработки как удаляемого, так и вводимого воздуха: подогрев, охлаждение, увлажнение, осушка, очистка от пыли и газа. Если очистка удаляемого загрязнённого воздуха невозможна или экономически нецелесо-



**Рис. 2.4.10. Воздушная завеса:**

1 – неконтролируемое поступление холодного воздуха при отсутствии завесы;  
2 – экранирование воздушной завесой

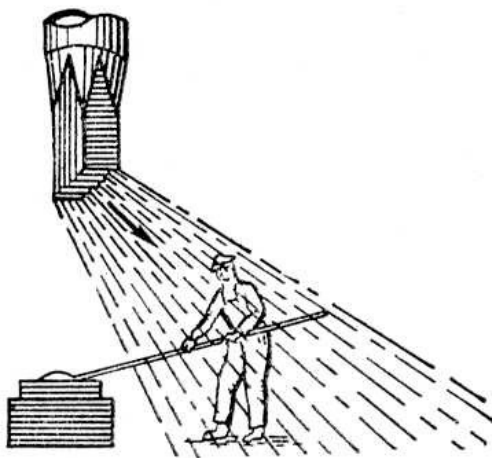


Рис. 2.4.11. Стационарный воздушный душ

сообразна, то используя механическую вентиляцию, воздух можно выбрасывать в атмосферу на высоту, обеспечивающую его рассеивание до предельно допустимых концентраций. Обмен воздуха постоянен в любое время года и не зависит от наружных условий, в то же время в случае производственной необходимости объём подаваемого или удаляемого воздуха можно менять в желаемых пределах.

### Расчёт воздухообмена в производственных помещениях

#### I. Общеобменная вентиляция.

1) Расчёт количества воздуха на вентиляцию при содержании в воздухе помещения вредных продуктов.

Минимальный объём воздуха, который необходимо заменять в рабочем помещении общеобменной вентиляцией, определяется по формуле

$$V = \frac{10^6 M_{\text{вр}}}{c_{\text{д}} - c_0},$$

где  $M_{\text{вр}}$  – массовый расход вредного вещества (пыли), поступающего в воздух рабочей зоны, кг/с;  $c_{\text{д}}$  – предельно допустимая концентрация вредного вещества (пыли) в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>;  $c_0$  – концентрация вредного вещества в подаваемом на вентиляцию воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

2) Расчёт количества воздуха на вентиляцию при избыточных тепловыделениях в помещении.

Расход воздуха на вентиляцию для удаления избыточного тепла:

$$V_1 = \frac{Q}{c \rho_{\text{пр}} (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})},$$

где  $c$  – теплоёмкость воздуха, Дж/кг·С;  $\rho_{\text{пр}}$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{уд}}$ ,  $t_{\text{пр}}$  – температуры удаляемого и приточного воздуха, соответственно, °С;  $Q$  – суммарные тепловыделения в помещении, Вт.

Общее количество выделяющегося тепла складывается из тепловыделений от нагретых поверхностей, осветительных приборов, электрооборудования, работающих, теплопоступлений через оконные проёмы:

$$Q = Q_{\text{об}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{эл}} + Q_{\text{инс}}$$

а) Тепловыделения от оборудования (рассчитываются для поверхностей, нагретых до 45 °С и выше)

$$Q_{\text{об}} = \alpha F(t_{\text{ап}} - t_{\text{уд}}),$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от аппарата к окружающей среде, Вт/м<sup>2</sup>·К (принимается при свободной конвекции из интервала 5...10 Вт/м<sup>2</sup>·К);  $F$  – общая площадь теплоотдачи, м<sup>2</sup>;  $t_{\text{ап}}$  – температура среды в аппарате, °С;  $t_{\text{уд}}$  – температура удаляемого воздуха, °С, принимается равной: 1) температуре воздуха в рабочей зоне  $t_{\text{рз}}$ , если удаление ведётся непосредственно из рабочей зоны; 2) температуре воздуха на высоте расположения вытяжного вентиляционного проёма:

$$t_{\text{уд}} = t_{\text{уд}} + \Delta_t(H - 2),$$

где  $\Delta_t = 0,5...1,5$  °С/м – температурный градиент по высоте помещения;  $H$  – высота помещения.

б) Тепловыделения от осветительных приборов

$$Q_{\text{осв}} = (1 - \eta)n_{\text{осв}}P_{\text{осв}},$$

где  $n_{\text{осв}}$  – число осветительных приборов;  $P_{\text{осв}}$  – мощность одного осветительного прибора, Вт;  $\eta$  – коэффициент полезного действия, принять 0,85...0,9 для ламп накаливания и 0,95...0,98 для люминесцентных ламп.

в) Тепловыделения от работающих

$$Q_{\text{л}} = n \cdot q_1,$$

где  $n$  – число работающих;  $q_1$  – тепловыделения от одного работающего, Вт.

г) Тепловыделения от электрооборудования

$$Q_{\text{эл}} = (1 - \eta)n_{\text{эл}}P_{\text{эл}},$$

где  $n_{\text{эл}}$  – число единиц электрооборудования;  $P_{\text{эл}}$  – мощность одной единицы, Вт;  $\eta$  – коэффициент полезного действия.

д) Инсоляционные теплопоступления

$$Q_{\text{инс}} = KFq_{\text{инс}},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий снижение инсоляционных поступлений различными устройствами;  $F$  – суммарная площадь оконных проёмов, м<sup>2</sup>;  $q_{\text{инс}}$  – мощность инсоляционных теплопоступлений, Вт/м<sup>2</sup>.

1) Расчёт количества воздуха на вентиляцию при избыточных выделениях влаги в помещении.

Расход воздуха на вентиляцию для удаления избыточной влаги:

$$V_2 = \frac{M_b}{\rho (\bar{x}_1 - \bar{x}_0)},$$

где  $\rho$  – плотность удаляемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\bar{x}_1, \bar{x}_0$  – влагосодержание удаляемого и поступающего воздуха, кг воды/кг сух. воздуха;  $M_b$  – массовый расход паров воды, поступающих в рабочую зону, кг/с;  $M_b$  складывается из количества влаги  $M_1$ , испаряющейся с открытой поверхности, и влаговыделений от людей  $M_2$ .

а)  $M_1 = F \cdot m$ , где  $F$  – площадь испарения, м<sup>2</sup>;  $m$  – скорость испарения, кг/(м<sup>2</sup> · с), определяется как

$$m = (760/B)(p_n - p_n)\beta,$$

где  $p_n$  – давление насыщения паров воды при температуре рабочей зоны, мм рт. ст.;  $p_n$  – парциальное давление водяного пара в условиях рабочей зоны, мм рт. ст.;  $B$  – барометрическое давление, мм рт. ст.;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи при испарении, кг/(м<sup>2</sup> · с · мм рт. ст.); для приближённых расчётов может быть определён как

$$\beta = 0,00168 + 0,00128 w,$$

где  $w$  – скорость воздуха над поверхностью испарения, 0,1...0,3 м/с. Значение коэффициента  $\beta$  в этой формуле выражено в кг/(м<sup>2</sup> · ч · мм вод. ст.) [3].

б)  $M_2 = n m_1$ , где  $n$  – количество работающих;  $m_1$  – влагоотделения от одного работающего, кг/с.

II. Местная вытяжная вентиляция.

Объём воздуха  $V$  (м<sup>3</sup>/ч), удаляемого через приёмник, рассчитывают по формуле

$$V = 3600w(F_{\text{раб}} + F_{\text{доп}}) \alpha + V_{\text{доп}},$$

где  $w$  – скорость воздуха в сечении рабочих отверстий, м/с;  $F_{\text{раб}}$ ,  $F_{\text{доп}}$  – площадь основных и дополнительных, соответственно, отверстий, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент запаса, учитывающий мелкие неплотности;  $V_{\text{доп}}$  – объём паров и газов, выделяющихся в приёмнике при прохождении реакций, сушке, выпарке, м<sup>3</sup>/ч.

III. Ориентировочный расчёт общеобменной вентиляции по кратности воздухообмена.

**Кратность воздухообмена** определяется отношением объёма воздуха, подаваемого в течение 1 ч в производственное помещение (или удаляемого из него) к объёму этого помещения. Другими словами, кратность воздухообмена показывает, сколько раз в час сменится воздух в данном помещении.



$$K = V_{\text{в}} / V_{\text{п}},$$

где  $K$  – кратность воздухообмена, 1/ч;  $V_{\text{в}}$  – объём воздуха для вентиляции помещения, м<sup>3</sup>/ч;  $V_{\text{п}}$  – объём вентилируемого помещения, м<sup>3</sup>.

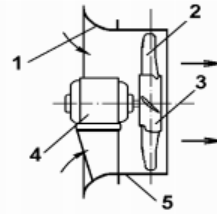
IV. Мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора  $N$ , кВт:

$$N = \frac{V \Delta P}{1000 \eta},$$

где  $V$  – расход воздуха, определённый в пп. I, II и III, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta P$  – полное гидравлическое сопротивление сети, Па;  $\eta$  – КПД вентиляционной установки, равный 0,5.

**Устройство и конструктивные элементы механической вентиляции.** Основным рабочим органом вентиляционных установок являются **вентиляторы** – воздухоудные машины, создающие разность давлений, вследствие чего и происходит перемещение воздуха. В зависимости от создаваемого давления различают вентиляторы низкого (до 1 кПа), среднего (до 3 кПа) и высокого (до 12 кПа) давления. По конструкции делятся на осевые и центробежные. При выборе вентилятора руководствуются его характеристикой, в которой указываются производительность вентилятора и развиваемое им давление в зависимости от числа оборотов, а также коэффициент полезного действия и потребляемая мощность (объём перемещаемого воздуха прямо пропорционален числу оборотов, давление – квадрату и мощность – кубу числа оборота вентилятора). Материалы, из которых выполняется рабочее колесо и его лопасти, определяются условиями, в которых вентилятору предстоит работать. Например, для перемещения воздуха, загрязнённого коррозионноопасными продуктами, выбирают вентилятор с рабочим колесом из материалов, противостоящих коррозии (алюминий, бронза, высоколегированная сталь), лопасти изготавливают из пластмасс или покрывают свинцом, медью, лаками.

Воздух в системах механической вентиляции транспортируется по воздуховодам. Приточные воздуховоды изготавливаются из кровельного или оцинкованного железа, листовой стали и других лёгких и прочных материалов с сечением различной геометрической формы и различных диаметров. Элементы вытяжных вентиляционных установок работают, как правило, в более тяжёлых условиях, чем приточные, что обуславливается наличием вредных примесей. Поэтому эти воздуховоды выполняют из нержавеющей стали, полиэтилена, винилпласта или покрывают изнутри кислотоупорным лаком, эмалью, специальными смолами. Воздуховоды, предназначенные для удавления сильно запылённого воздуха, делают плавной конфигурации, без крутых поворотов, чтобы уменьшить пыле-



**Рис. 2.4.12. Осевой вентилятор:**

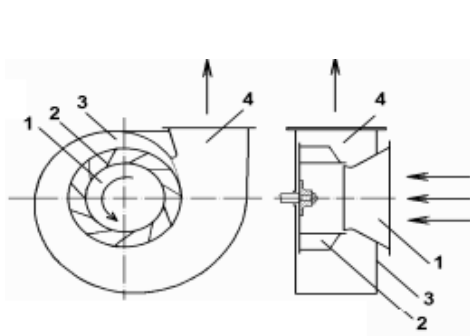
- 1 – входной коллектор;
- 2 – лопасти колеса;
- 3 – втулка колеса;
- 4 – электродвигатель;
- 5 – корпус

осаждение, и снабжают специальными закрывающимися окошками для очистки от скапливающейся пыли.

Для лучшей организации движения воздушных потоков в помещении приточные воздуховоды снабжают **распределительными патрубками** (насадками), которые обеспечивают в зависимости от конструкции, вертикальную, горизонтальную, наклонную или рассеянную подачу воздуха на рабочие места.

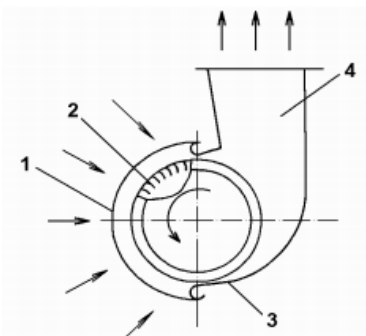
Для перемещения взрывоопасных смесей пылей и газов с воздухом используются эжекторы. Эжектор (вакуумный инжектор) – устройство, в котором для всасывания газа или жидкости используется кинетическая энергия другого газа или жидкости. В струйном насосе-эжекторе поток рабочей жидкости разгоняется в сопле 1 и поступает в камеру смешения 2, в которой устанавливается пониженное давление. Камера 2 соединена с сосудом б, в котором поддерживается более высокое давление. За счёт разницы давлений перекачиваемая среда всасывается в камеру смешения 2 и смешивается с рабочей жидкостью. Далее смесь поступает в камеру смешения 3 и расширяющееся сопло 4, в котором повышается статическое давление, и далее в патрубок нагнетания 5. В качестве рабочей жидкости обычно используют воду, пар или газ высокого давления.

В местах выделения или образования производственных вредностей устанавливаются **местные приёмники** закрытого (специальные кожухи, полностью закрывающие оборудование; вытяжные шкафы для размещения оборудования с вредными выделениями), полужакрытого и открытого типов (вытяжные зонты, кабины, панели и т.д.).



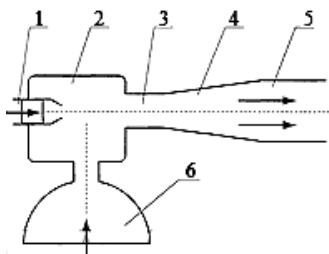
**Рис. 2.4.13. Схема центробежного (радиального) вентилятора:**

1 – входной коллектор; 2 – лопатки колеса;  
3 – корпус; 4 – выходное сечение



**Рис. 2.4.14. Схема диаметального вентилятора:**

1 – входной коллектор;  
2 – лопатки колеса; 3 – корпус;  
4 – выход потока



**Рис. 2.4.15. Схема работы насоса-эжектора:**

- 1 – сопло; 2, 3 – камера смешения;  
4 – расширяющееся сопло;  
5 – патрубок нагнетания; 6 – сосуд высокого давления

Кроме вышеперечисленных, в систему механической вентиляции могут входить следующие элементы:

- воздухоприёмное устройство, представляющее собой шахту с каналом, по которому воздух поступает в вентиляционную установку; приёмное отверстие устройства должно быть расположено в зоне чистого воздуха;

- устройства, предназначенные для подготовки принимаемого воздуха (фильтры для очистки от пыли, пылеосадительные камеры, циклоны, электрофильтры, абсорберы, адсорберы, калориферы для нагревания воздуха в зимних условиях, приспособления для

изменения степени влажности воздуха или понижения его температуры). Обычно располагаются в общей камере;

- устройства для очистки удаляемого из помещения воздуха, применяемые в тех случаях, когда воздух поступает на рециркуляцию (вновь подаётся в помещение через приточную вентиляцию) или настолько загрязнён, что не может быть выброшен в атмосферу без предварительной очистки;

- устройства для выброса удаляемого из помещения воздуха в атмосферу (выбросные шахты, воздушки).

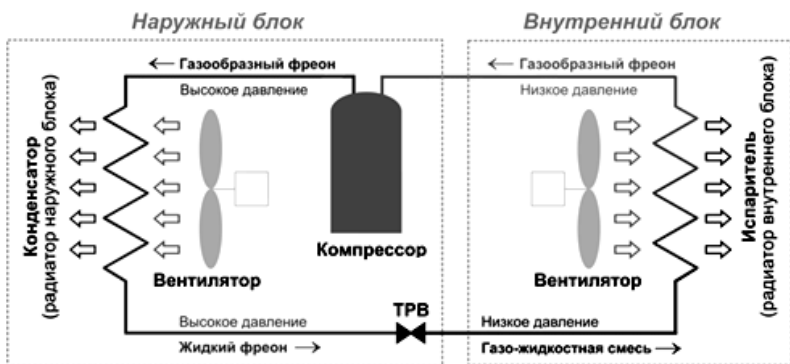
## 2.4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Кондиционированием в закрытых помещениях и сооружениях можно поддерживать необходимую температуру, влажность и ионный состав, наличие запахов воздушной среды, а также скорость движения воздуха. Система кондиционирования воздуха (СКВ) включает в себя комплекс технических средств, осуществляющих требуемую обработку воздуха, транспортирование его и распределение в обслуживаемых помещениях, а также устройства для глушения шума, вызываемого работой оборудования.

**Схема кондиционера и принцип его работы.** Принцип работы любого кондиционера основан на свойстве жидкостей поглощать тепло при испарении и выделять его при конденсации. На рис. 2.5.1 приведена схема устройства кондиционера.

Основными узлами любого кондиционера являются:

Компрессор – сжимает фреон и поддерживает его движение по холодильному контуру.



**Рис. 2.5.1. Схема устройства кондиционера**

Конденсатор – радиатор, расположенный во внешнем блоке. Название отражает процесс, происходящий при работе кондиционера – переход фреона из газообразной фазы в жидкую (конденсация).

Испаритель – радиатор, расположенный во внутреннем блоке. В испарителе фреон переходит из жидкой фазы в газообразную (испарение).

Терморегулирующий вентиль (ТРВ) – понижает давление фреона перед испарителем.

Вентиляторы – создают поток воздуха, обдувающего испаритель и конденсатор. Они используются для более интенсивного теплообмена с окружающим воздухом.

Компрессор, конденсатор, ТРВ и испаритель соединены медными трубами и образуют холодильный контур, внутри которого циркулирует смесь фреона и небольшого количества компрессорного масла. В процессе работы кондиционера происходит следующее.

В компрессор из испарителя поступает газообразный фреон под низким давлением в 3...5 атм и с температурой 10...20 °С.

Компрессор сжимает фреон до давления 15...25 атм, в результате чего фреон нагревается до 70...90 °С и поступает в конденсатор.

Конденсатор обдувается воздухом, имеющим температуру ниже температуры фреона, в результате чего фреон остывает и переходит из газообразной фазы в жидкую с выделением дополнительного тепла. При этом воздух, проходящий через конденсатор, нагревается. На выходе из конденсатора фреон находится в жидком состоянии под высоким давлением, температура фреона на 10...20 °С выше температуры атмосферного воздуха.

Из конденсатора тёплый фреон поступает в терморегулирующий вентиль (ТРВ), который чаще всего выполняется в виде капилляра (длинной тонкой медной трубки, свитой в спираль). В результате прохождения

через капилляр давление фреона понижается до 3...5 атм и фреон остывает, часть фреона может при этом испариться.

После ТРВ смесь жидкого и газообразного фреона с низким давлением и низкой температурой поступает в испаритель, который обдувается комнатным воздухом. В испарителе фреон полностью переходит в газообразное состояние, забирая у воздуха тепло, в результате воздух в комнате охлаждается. Далее газообразный фреон с низким давлением поступает на вход компрессора и весь цикл повторяется.

Этот процесс лежит в основе работы любого кондиционера и не зависит от его типа, модели или производителя. В «теплых» кондиционерах в холодильный контур дополнительно устанавливается четырёхходовой клапан (на схеме не показан), который позволяет изменить направление движения фреона, меняя испаритель и конденсатор местами. В этом случае внутренний блок кондиционера нагревает воздух, а наружный блок охлаждает его.

**Тепло- и влагообмен в оросительных камерах.** В СКВ могут использоваться различные устройства, в которых воздух обрабатывается непосредственным контактом с водой. К таким устройствам относятся оросительные форсуночные камеры и орошаемые насадки. Они позволяют изменять параметры воздуха в широком диапазоне. При непосредственном контакте воздуха с каплями разбрызгиваемой воды или смоченной поверхностью различных насадок изменение состояния воздуха зависит от температуры воды.

Если температура воды ниже температуры воздуха по мокрому термометру, но выше температуры точки росы, то температура воздуха, проходящего в соприкосновение с водой, будет понижаться. При этом вследствие испарения влаги влагосодержание воздуха будет увеличиваться, а энтальпия – уменьшаться. Уменьшение энтальпии объясняется тем, что количество скрытого тепла, поступающего в воздух с водяными парами, будет меньше, чем количество явного тепла, отданного воздухом при контакте с водой на повышение температуры неиспарившейся воды.

Если температура воды ниже температуры точки росы охлаждаемого воздуха, то воздух будет охлаждаться и осушаться.

Если температура воды равна температуре точки росы воздуха, не насыщенного водяными парами, будет происходить охлаждение без влагообмена, т.е. без выпадания конденсата или увлажнения воздуха. Это связано с тем, что парциальные давления водяных паров в воздухе и в пограничном слое над поверхностью воды одинаковы. На  $I-x$ -диаграмме такой процесс обработки воздуха изображается прямой, направленной по линии  $x = \text{const}$ .

Если обрабатывать воздух рециркулируемой водой без охлаждения и подогрева, то вода со временем приобретет температуру, равную температуре мокрого термометра, так как тепло, отданное воздухом, полностью

пойдёт на испарение воды. Пары воды, поступающие в воздух, возвращают ему это тепло, но только в скрытом виде. Процесс обработки воздуха идёт по  $x = \text{const}$ .

Таким образом, воздух понижает температуру, отдавая явное тепло при контакте с водой, и увлажняется. Энтальпия воздуха в этих процессах остаётся практически неизменной, поэтому такие процессы тепло-влагообмена называются изоэнтальпическими (адиабатическими).

### Расчёт прямоточной СКВ

**Процесс обработки воздуха в кондиционере (рис. 2.5.2).** Наружный воздух при влагосодержании  $d_A$  и температуре  $t_A$  подают в холодильную камеру, где его последовательно охлаждают сначала при постоянном влагосодержании до точки росы ( $t_B$ ) – линия АВ, а затем до температуры  $t_C$  при постоянной максимальной относительной влажности воздуха ( $\phi = 1$ ) – линия ВС. При этом абсолютное влагосодержание воздуха уменьшается от  $d_A = d_B$  до  $d_C$ . Охлаждённый и осушенный воздух подогревают в калорифере при постоянном влагосодержании  $d_C$  до температуры  $t_D$  – линия CD и по воздуховоду направляют в помещение цеха. При транспортировке температура воздуха увеличивается на  $\Delta t_2 = 0,5 \dots 1,5^\circ\text{C}$ , а влагосодержание не изменяется – линия DE. При прохождении через помещение воздух нагревается до максимально допустимой температуры  $t_{\text{доп}}$ , увлажняется за счёт тепла и паров воды, выделяемых людьми, оборудованием, электрическими светильниками – линия EK.

1. Расчёт расхода тепла и водяного пара, поступающих в воздух помещения, и углового коэффициента луча нагрева и увлажнения воздуха.

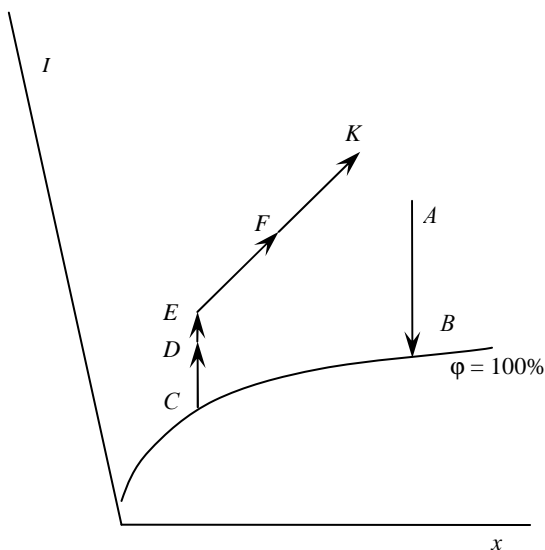
1) По нормативным выбирают оптимальные параметры воздуха рабочей зоны ( $t_1, \phi_1$ ).

Количество тепла, поступающего в воздух помещения, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{эл.пр}} + Q_{\text{инс}},$$

где  $Q_{\text{об}}$  – количество тепла, выделяемого оборудованием, Вт;  $Q_{\text{л}}$  – количество тепла, поступающего от работающих, Вт;  $Q_{\text{осв}}$  – количество тепла, поступающего от осветительной установки, Вт;  $Q_{\text{эл.пр}}$  – количество тепла, поступающего от работающих электроприборов, Вт;  $Q_{\text{инс}}$  – количество тепла от солнечной радиации, Вт

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{ч}} n,$$



**Рис. 2.5.2. Изображение цикла кондиционирования воздуха на диаграмме Рамзина**

где  $q_{\text{ч}}$  – количество тепла, Вт, выделяемого одним человеком;  $n$  – количество работающих.

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{л}} n_{\text{л}} (1 - \eta_{\text{л}}),$$

где  $P_{\text{л}}$  – мощность одной лампы, Вт;  $n_{\text{л}}$  – количество ламп, шт;  $\eta_{\text{л}}$  – КПД лампы.

$$Q_{\text{эл.пр}} = P_{\text{пп}} n_{\text{пр}} (1 - \eta_{\text{пр}}),$$

где  $P_{\text{пп}}$  – мощность электроприбора, Вт;  $n_{\text{пр}}$  – количество электроприборов, шт;  $\eta_{\text{пр}}$  – КПД прибора.

$$Q_{\text{инс}} = q_{\text{инс}} F_{\text{ок}},$$

где  $q_{\text{инс}}$  – плотность теплового потока солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{\text{ок}}$  – суммарная площадь световых проёмов, м<sup>2</sup>.

2) Расход водяного пара, поступающего в воздух помещения цеха, рассчитывается по формуле

$$W_{\text{пом}} = W_{\text{об}} + W_{\text{л}},$$

где  $W_{\text{об}}$  – расход водяного пара, поступающего в воздух из оборудования, кг/с;  $W_{\text{л}}$  – расход водяного пара, выделяемого в воздух работающими, кг/с.

$$W_{\text{л}} = g_{\text{ч}} n ,$$

где  $g_{\text{ч}}$  – количество водяных паров, выделяемых человеком, в рабочей зоне при выполнении работы данной категории тяжести, кг/с (табл. 1.2.2);  $n$  – количество человек.

3) Угловой коэффициент луча нагрева и увлажнения воздуха, поступающего в помещение, определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{пом}}}{W_{\text{пом}}} , \text{ Дж/кг.}$$

2. Построение процесса кондиционирования воздуха на  $I-d$ -диаграмме.

Расчётные параметры наружного воздуха принимаются по справочным данным для данной местности.

На  $I-x$ -диаграмму наносятся точки  $A(t_0, \varphi_0)$  и  $F(t_1, \varphi_1)$ . Из точки  $P$  с координатами  $d = 0, I = 0$  проводим луч с угловым коэффициентом  $\varepsilon$ . Температура воздуха, поступающего в помещение из кондиционера, рассчитывается по формуле

$$t_E = t_F - \Delta t_1 .$$

Из точки  $F$  проводим прямую, параллельную лучу с угловым коэффициентом  $\varepsilon$  до пересечения с изотермой в точке  $E$  и до пересечения её с изотермой в точке  $K$ .

Температуру воздуха, поступающего из кондиционера в воздухопровод, рассчитываем по формуле

$$t_D = t_E - \Delta t_2 .$$

Из точки  $E$  проводим прямую  $d = \text{const}$ , до пересечения в точке  $D$  с изотермой и далее до пересечения в точке  $C$  с линией относительной влажности  $\varphi$ , равной 100%.

Из точки  $A$  проводим прямую  $d = \text{const}$  до пересечения с линией относительной влажности  $\varphi = 100\%$  в точке  $B$ . Соединяем точку  $B$  с точкой  $C$ . На этом построение заканчивается.

Построенный цикл включает в себя:

- охлаждение наружного воздуха при постоянном влагосодержании до полного насыщения его водяными парами – линия  $AB$ ;
- охлаждение воздуха и его осушка при  $\varphi = 1$  – линия  $BC$ ;
- нагрев осушенного воздуха в калорифере при  $d = \text{const}$  – линия  $CD$ ;
- нагрев воздуха при его транспортировке из кондиционера в помещение цеха при  $d = \text{const}$  – линия  $DE$ ;
- нагрев и увлажнение воздуха в помещении цеха – линия  $EK$ .

Находим по  $I-d$ -диаграмме теплосодержание воздуха  $I$  для характерных точек цикла:  $A, C, D, K$  и  $E$ .



3. Расчёт расхода воздуха, холодопроизводительности и тепла при кондиционировании.

Расход воздуха, поступающего из кондиционера, рассчитываем по формуле

$$L = \frac{Q_{\text{пом}}}{I_K - I_E}, \text{ кг/с.}$$

Холодопроизводительность агрегата находим по формуле

$$Q_{\text{охл}} = L(I_A - I_C), \text{ Вт.}$$

Расход тепла в калорифере рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{нагр}} = L(I_D - I_C), \text{ Вт.}$$

## 2.6. ОТОПЛЕНИЕ

Существует множество систем центрального и местного отопления, обеспечивающих комфортный микроклимат в холодные периоды года. Система отопления должна компенсировать потери тепла через строительные ограждения, а также обеспечить нагрев проникающего в помещении холодного воздуха.

Вне зависимости от конструкции системы отопления должны отвечать следующим гигиеническим требованиям:

- обеспечивать комфортный (соответствующий гигиеническим нормативам) тепловой микроклимат, учитывающий характер и назначение помещения, особенности выполняемой в нём бытовой и производственной деятельности;
- не выделять в окружающую среду вредных веществ, не создавать посторонних запахов;
- не представлять термическую опасность для находящихся в помещении людей при соприкосновении их с открытыми конструкциями отопительных приборов;
- быть безопасными в пожарном отношении;
- быть удобными для ухода и очистки.

Для отопления помещений различного назначения всё чаще применяются системы инфракрасного (лучистого, панельного) отопления. Суть их в том, что теплоноситель (трубы с горячей водой, электронагревательные устройства) монтируются внутри стен или полов, а воздух помещения нагревается инфракрасными лучами, от нагретых поверхностей строительных конструкций. Такие системы имеют ряд гигиенических преимуществ. Они позволяют создавать тепловой комфорт в помещении при более низкой температуре воздуха (даже менее 18 °С), что имеет положительное физиологическое значение. При более низкой температуре увеличивается весовая концентрация кислорода в одном и том же объёме выды-

хаемого воздуха (что облегчает состояние людей с явлениями кислородной недостаточности). При пропускании через трубы холодной воды летом такая система может быть использована для охлаждения воздуха в помещении. Сводятся к минимуму конвекционные токи нагретого воздуха, что уменьшает его пылевое и бактериальное загрязнение, облегчается уборка помещений.

**Виды отопительных систем.** В настоящее время в промышленности применяют центральные системы в основном водяного и, значительно реже, парового отопления, местные и центральные системы воздушного отопления.

При водяном отоплении циркулирующая нагретая вода охлаждается в отопительных приборах и возвращается к теплоисточнику для последующего нагревания.

Системы водяного отопления по способу создания циркуляции воды разделяются на системы с естественной циркуляцией (гравитационные) и с механическим побуждением циркуляции воды при помощи насоса (насосные).

В гравитационной (лат. *gravitas* – тяжесть) системе (рис. 2.6.1, *a*) используется свойство воды изменять свою плотность при изменении температуры. В замкнутой вертикальной системе с неравномерным распределением плотности под действием гравитационного поля Земли возникает естественное движение воды.

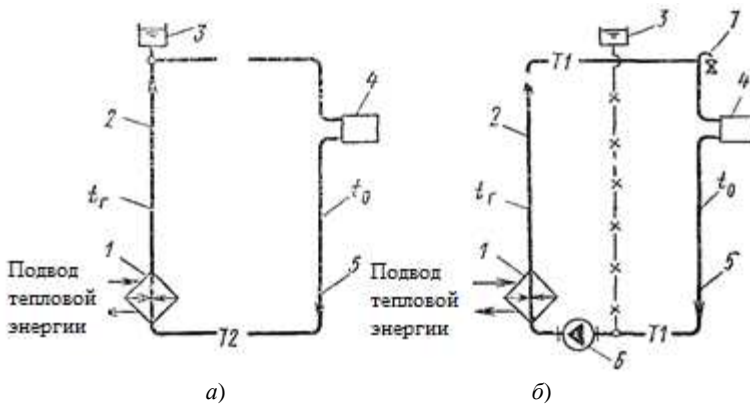
В насосной системе (рис. 6.1, *б*) используется насос с электрическим приводом для создания разности давления, вызывающей циркуляцию, и в системе создаётся вынужденное движение воды.

По температуре теплоносителя различаются системы низкотемпературные с предельной температурой горячей воды  $t_r < 70$  °С, среднетемпературные при  $t_r$  от 70 до 100 °С и высокотемпературные при  $t_r > 100$  °С. Максимальное значение температуры воды ограничено в настоящее время 150 °С.

По положению труб, объединяющих отопительные приборы по вертикали или горизонтали, системы делятся на вертикальные и горизонтальные.

В зависимости от схемы соединения труб с отопительными приборами системы бывают однотрубные и двухтрубные.

В каждом стояке или ветви однотрубной системы отопительные приборы соединяются одной трубой, и вода протекает последовательно через все приборы. Если каждый прибор разделён условно на две части («а» и «б»), в которых вода движется в противоположных направлениях и теплоноситель последовательно проходит сначала через все части «а», а затем через все части «б», то такая однотрубная система носит название бифилярной (двухпоточной).



**Рис. 2.6.1. Принципиальные схемы водяного отопления с естественной циркуляцией (гравитационная) (а) и с механическим побуждением циркуляции воды (насосная) (б):**

- 1 – теплообменник; 2 – подающий теплопровод (Т1); 3 – расширительный бак; 4 – отопительный прибор; 5 – обратный теплопровод (Т2); 6 – циркуляционный насос; 7 – устройство для выпуска воздуха из системы

В двухтрубной системе каждый отопительный прибор присоединяется отдельно к двум трубам – подающей и обратной, и вода протекает через каждый прибор независимо от других приборов.

При паровом отоплении в приборах выделяется теплота фазового превращения в результате конденсации пара. Конденсат удаляется из приборов и возвращается в паровой котел.

Системы парового отопления по способу возвращения конденсата в котел разделяются на замкнутые (рис. 2.6.2, а) с самотечным возвращением конденсата и разомкнутые (рис. 2.6.2, б) с перекачкой конденсата насосом.

В замкнутой системе конденсат непрерывно поступает в котёл под действием разности давления, выраженного столбом конденсата высотой  $h$  (рис. 2.6.2, а) и давления пара  $p_n$  в паросборнике котла. В связи с этим отопительные приборы должны находиться достаточно высоко над паросборником (в зависимости от давления пара в нём).

В разомкнутой системе парового отопления конденсат из отопительных приборов самотёком непрерывно поступает в конденсатный бак и по мере накопления периодически перекачивается конденсатным насосом в котёл. В такой системе расположение бака должно обеспечивать стекание конденсата из нижнего отопительного прибора в бак, а давление пара в котле преодолевается давлением насоса.

В зависимости от давления пара системы парового отопления подразделяются на субатмосферные, вакуум-паровые, низкого и высокого давления.

Теплопроводы систем парового отопления делятся на паропроводы, по которым перемещается пар, и конденсатопроводы для отвода конденсата.

По паропроводам перемещается под давлением  $p_n$  в паросборнике котла (рис. 2.6.2, *а*) или в парораспределительном коллекторе (рис. 2.6.2, *б*) к отопительным приборам.

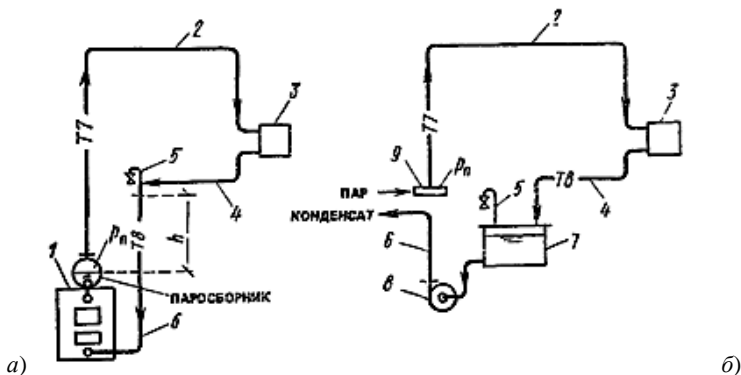
Конденсатопроводы могут быть самотёчными и напорными. Самотёчные трубы прокладываются ниже отопительных приборов с уклоном в сторону движения конденсата. В напорных трубах конденсат перемещается под действием разности давления, создаваемой насосом или остаточным давлением пара в приборах.

В системах парового отопления преимущественно используются двухтрубные стояки, но могут применяться и однотрубные.

При воздушном отоплении циркулирующий нагретый воздух охлаждается, передавая тепло при смешении с воздухом обогреваемых помещений и иногда через их внутренние ограждения. Охлаждённый воздух возвращается к нагревателю.

Системы воздушного отопления по способу создания циркуляции воздуха разделяются на системы с естественной циркуляцией (гравитационные) и с механическим побуждением движения воздуха с помощью вентилятора.

В гравитационной системе используется различие в плотности нагретого и окружающего отопительную установку воздуха. Как и в водяной



**Рис. 2.6.2. Принципиальные схемы замкнутой (а) и разомкнутой (б) систем парового отопления:**

- 1 – паровой котел с паросборником; 2 – паропровод; 3 – отопительный прибор;
- 4 – самотечный конденсатопровод; 5 – воздуховыпускная труба; 6 – напорный конденсатопровод; 7 – конденсатный бак; 8 – конденсатный насос;
- 9 – парораспределительный коллектор

вертикальной гравитационной системе, при различной плотности воздуха в вертикальных частях возникает естественное движение воздуха в системе. При применении вентилятора в системе создаётся вынужденное движение воздуха.

Воздух, используемый в системах отопления, нагревается до температуры, обычно не превышающей  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в специальных теплообменниках – калориферах. Калориферы могут обогреваться водой, паром, электричеством или горячими газами. Система воздушного отопления при этом соответственно называется водовоздушной, паровоздушной, электровоздушной или газовоздушной.

Воздушное отопление может быть местным (рис. 2.6.3, *а*) или центральным (рис. 2.6.3, *б*).

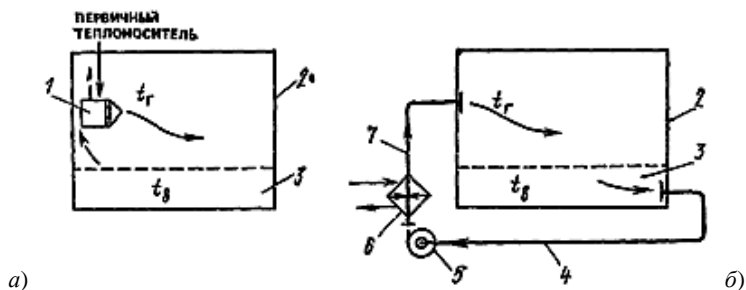
В местной системе воздух нагревается в отопительной установке с теплообменником (калорифером или другим отопительным прибором), находящимся в обогреваемом помещении.

В центральной системе теплообменник (калорифер) размещается в отдельном помещении (камере). Воздух при температуре  $t_{\text{в}}$  подводится к калориферу по обратному (рециркуляционному) воздуховоду. Горячий воздух при температуре  $t_{\text{г}}$  перемещается вентилятором в обогреваемые помещения по подающим воздуховодам.

**Расчёт систем отопления.** Отопительные системы призваны компенсировать потери тепла из помещения через ограждения в окружающую среду в зимнее время.

Переход теплоты из помещения к наружной среде через ограждения является сложным процессом теплопередачи (рис. 2.6.4).

Внутренняя поверхность наружного ограждения обменивается теплотой с помещением. Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности равно  $R_{\text{в}} = 1/\alpha_{\text{в}}$ .



**Рис. 2.6.3. Принципиальные схемы местной (а) и центральной (б) систем воздушного отопления:**

- 1 – отопительный агрегат; 2 – помещение; 3 – рабочая зона;
- 4 – обратный воздуховод; 5 – вентилятор; 6 – теплообменник (калорифер);
- 7 – подающий воздуховод

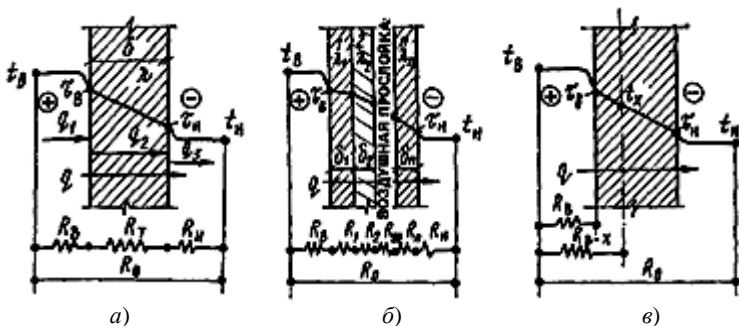


Рис. 2.6.4. Стационарная теплопередача через однослойное ограждение (а), многослойное с воздушной прослойкой (б) и определение температуры в произвольном сечении ограждения (в)

Наружная поверхность отдаёт теплоту наружному воздуху и окружающим поверхностям. Сопротивление теплообмену на наружной поверхности ограждения равно  $R_{\text{н}} = 1/\alpha_{\text{н}}$ .

В условиях установившегося температурного состояния, т.е. когда температура и другие параметры процесса остаются неизменными во времени, теплота транзитом проходит из помещения через внутреннюю поверхность и толщу ограждения и отдаётся наружной среде. При этом из условия сохранения тепловой энергии количество теплоты, прошедшее через внутреннюю поверхность ограждения, равно количеству теплоты, проходящему через толщу ограждения, и количеству теплоты, отданному наружной поверхностью (рис. 2.6.4).

Тепловой поток последовательно преодолевает сопротивления теплообмену на внутренней поверхности  $R_{\text{в}}$ , термического материала толщи ограждения  $R_{\text{т}}$  и теплоперехода на наружной поверхности  $R_{\text{н}}$ , поэтому сопротивление теплопередаче ограждения  $R_0$  равно сумме этих сопротивлений (рис. 2.6.4, а):

$$R_0 = R_{\text{в}} + R_{\text{т}} + R_{\text{н}}.$$

Если многослойное ограждение состоит из нескольких плоских слоёв материала, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то термическое сопротивление толщи ограждения равно сумме термических сопротивлений отдельных слоёв ограждения  $R_{\text{т}} = \sum R_{\text{т}}$ . Плоская воздушная прослойка, расположенная в ограждении перпендикулярно направлению теплового потока, также должна быть учтена в этой сумме как дополнительное последовательно включённое сопротивление  $R_{\text{в.п}}$ .

Таким образом, в общем случае сложной многослойной конструкции с воздушной прослойкой (рис. 2.6.4, б) сопротивление теплопередаче ограждения равно

$$R_o = R_b + \Sigma R_i + R_{в.п} + R_{и}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждения  $k$  – величина, обратная его сопротивлению теплопередаче, в общем случае равен

$$k = 1/R_o = 1/(1/\alpha_b + \Sigma \delta_i/\lambda_i + R_{в.п.} + 1/\alpha_{и}),$$

где  $\delta_i$  и  $\lambda_i$  – соответственно, толщина и теплопроводность отдельных материальных слоёв в ограждении.

Таким образом, суммарные потери тепла через ограждения составят

$$Q_{огр} = \Sigma k_i F_i (t_{пом} - t_{нар}),$$

где индекс  $i$  относится к различным типам ограждения в помещении (стены, потолок, окна).

Температурная обстановка в помещении зависит от тепловой мощности системы отопления, а также от расположения обогревающих устройств, теплозащитных свойств наружных ограждений, интенсивности других источников поступления и потерь теплоты. В холодное время года помещение теряет теплоту через наружные ограждения. Кроме того, теплота расходуется на нагрев наружного воздуха, который проникает в помещение через неплотности ограждений, а также на нагрев материалов, транспортных средств, изделий, одежды, которые холодными попадают с улицы в помещение.

Системой вентиляции в помещение может подаваться воздух с более низкой температурой по сравнению с воздухом помещения, технологические процессы могут быть связаны с испарением жидкостей и другими процессами, сопровождаемыми затратами теплоты.

В установившемся режиме потери равны поступлениям теплоты, теплота поступает в помещение от технологического оборудования, источников искусственного освещения, от нагретых материалов, изделий, в результате прямого попадания через оконные проёмы солнечных лучей, от работающих. В помещениях могут быть технологические процессы, связанные с выделением теплоты (конденсация влаги, химические реакции и пр.)

Учёт всех перечисленных источников поступления и потерь теплоты необходим при сведении тепловых балансов помещений здания.

Тепловым балансом определяется дефицит или избыток теплоты. Дефицит теплоты указывает на необходимость устройства в помещении отопления, избыток теплоты обычно ассимилируется вентиляцией. Для определения тепловой мощности системы отопления  $Q_{от}$  составляют баланс расходов теплоты для расчётного зимнего периода в виде

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{вент} \pm Q,$$

где  $Q_{огр}$  и  $Q_{вент}$  – потери тепла через ограждения и на нагрев вентиляционного воздуха, соответственно,  $Q$  – потери тепла в помещении. Баланс составляется для условий, когда возникает наибольший дефицит теплоты

$$Q_{от} = K F \Delta t_{cp},$$

где  $Q_{от}$  – количество тепла, передаваемого через стенку нагревательного прибора от теплоносителя к воздуху, Вт;

$K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>·К

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_{загр}}{\lambda_{загр}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи от пара (воды) к внутренней стенке трубы и от внешней стенки трубы к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\delta_{загр}$  – толщина слоя загрязнений, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/м·К;  $\lambda_{загр}$  – коэффициент теплопроводности загрязнений, Вт/м·К;  $\Delta t_{cp}$  – средняя движущая сила процесса теплопередачи, К (рис. 6.5).

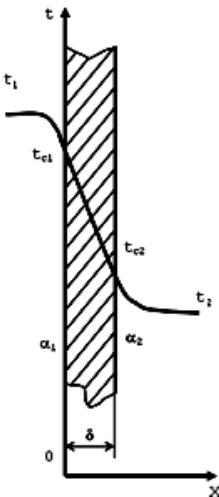
$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\Delta t_{\delta} / \Delta t_M},$$

где  $\Delta t_{\delta}, \Delta t_M$  – максимальная и минимальные движущие силы процесса теплопередачи, соответственно, °С;  $F$  – площадь теплопередачи, м<sup>2</sup>.

Расход теплоносителя  $L$  (для воды) или  $G$  (для пара) определяется из следующих уравнений с учётом тепловых потерь:

– воды  $1,05 Q_{от} = L c (t_{вк} - t_{вн})$ , где  $L$  – расход, кг/ч;  $c$  – средняя теплоёмкость воды, Дж/(кг·К);  $t_{вк}, t_{вн}$  – конечная и начальная температура обогреваемой воды, °С;

– пара  $1,05 Q_{от} = G r$ , где  $G$  – расход, кг/ч;  $r$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг.



**Рис. 2.6.5. Теплопередача через стенку обогревательного прибора:**

$t_1$  – средняя температура в помещении (поддерживается постоянной);

$t_2$  – температура теплоносителя (для пара – температура конденсации, для жидкости – средняя температура по длине обогревательных приборов);

$t_{c1}, t_{c2}$  – температуры стенки нагревательных приборов со стороны теплоносителя и воздуха помещения, соответственно;

$\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи;

$\delta$  – толщина стенки обогревательного прибора



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное производство характеризуется интенсификацией трудовых процессов, выражающейся в ужесточении производственного режима, как правило, ухудшении условий труда (повышаются вибрация, загазованность, шумы, тепловыделения, увлажненность производственных помещений), повышении степени физической и нервно-психической напряженности. В то же время в индустриально развитых странах все большее широкое распространение получает концепция гуманизации труда, на основе которой должны разрабатываться мероприятия по совершенствованию организации труда и производства.

В этих условиях возрастает роль производственной санитарии как комплекса методов и средств улучшения санитарно-гигиенических и эстетических условий труда, обеспечения безопасности труда, сокращения профессиональных заболеваний;

Одним из направлений развития концепции гуманизации труда является совершенствование условий труда. Условия труда – это составляющие внешней среды (факторы среды), окружающей работника. Факторы среды образуют три группы: физические (температура воздуха, шум, вибрация и др.); химические (токсические вещества, пыль и др.); биологические (инерция и др.), т.е. именно факторы, являющиеся предметом изучения производственной санитарии.

С позиции безопасности труда различают допустимые уровни этих факторов, которые устанавливаются специальными нормами

Факторы среды оказывают влияние на работоспособность человека и состояние его здоровья. Целью производственной санитарии и гигиены труда является снижение степени опасного влияния условий труда на человеческий организм и создание удобных и комфортных условий. Решение этих вопросов связано с установлением контроля за соблюдением соответствующих нормативов, регулирующих условия труда, а также с разработкой и реализацией мер защиты от неблагоприятного и вредного воздействия внешней среды.

Условия труда требуют внимательного отношения и соответствующего регулирования в целях сохранения работоспособности человека и стабильно высокого уровня производительности труда.

В связи с этим возрастает роль специалистов, обладающих сформированным представлением о неразрывной связи эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека от воздействий вредных факторов производственной среды, основами знаний по физическим и химическим характеристикам вредных производственных факторов, особенностям и механизмам действия вредных производственных факторов на организм человека, основам промышленной токсикологии, гигиеническим характеристикам трудовой дея-

тельности, принципам нормирования вредных веществ на производстве, законодательной и нормативной базе РФ в области производственной санитарии и гигиены труда.

Основная роль в обеспечении оптимальных условий труда принадлежит администрации предприятия. Руководство объекта экономики обязано обеспечивать работникам здоровые и безопасные условия труда. Для этого внедряются современные средства техники безопасности, предупреждающие производственный травматизм, и обеспечиваются санитарно-гигиенические условия, предотвращающие профессиональные заболевания. В этой работе ориентиром должны служить межотраслевые и отраслевые правила по охране труда, санитарные правила и нормы.

Государственный уровень решения проблемы обеспечения безопасности производства предполагает централизованное развитие системы производственной безопасности и охраны труда, адаптацию ее к рыночной экономике, интеграцию в европейское и мировое правовое пространство, сохранение механизмов защиты интересов работающих, гарантий охраны их жизни, здоровья и трудоспособности в процессе профессиональной деятельности.

Опыт развитых стран показал, что в условиях экономических отношений рыночного типа для решения этих задач необходимо сочетание системы государственного регулирования с возложением расходов и экономической ответственности за ее реализацию на работодателей. Опираясь на такой подход, Россия поставила перед собой масштабную задачу, провозгласив принципом государственной политики в сфере охраны труда приоритет жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности. Система охраны труда в целом и производственная санитария, в частности, является важной составной частью системы обеспечения безопасности производственных и иных объектов, а также общей системы национальной безопасности страны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.005–88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. Издательство стандартов, 1988. – 75 с.
2. ГОСТ 12.4.045–87. ССБТ. Средства защиты от инфракрасного излучения. Классификация. Общие технические требования. Госстандарт СССР, 1983. – 19 с.
3. ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Госстандарт СССР, 1976. – 35 с.
4. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 21 с.
5. СанПиН 2.2.4.1294–03 Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 4 с. Зарегистрировано в Минюсте РФ 7 мая 2003 года. Регистрационный № 4511.
6. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильинская, А.Ф. Козьяков и др. – М. : Высшая школа, 1999. – 488 с.
7. Богословский, В.Н. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 1992.
8. Богословский, В.Н. Отопление : учеб. для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.
9. Вредные вещества в промышленности : справочник ; под ред. Н.В. Лазарева. – Л. : Химия, 1970.
10. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973.
11. Отопление. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Теоретические основы создания микроклимата в помещении / В.И. Полушкин, О.И. Русак, С.И. Бурцевв и др. – СПб. : АВОК, 2004.
12. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л. : Химия, 1987.
13. Раздорожный, А.А. Охрана труда и производственная безопасность : учебно-методическое пособие / А.А. Раздорожный. – Москва : Изд-во «Экзамен», 2005. – 512 с.
14. Рысин, С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов : справочник / С.А. Рысин. – М., 1961.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ .....	6
1.1. Производственный микроклимат .....	6
1.2. Токсичные вещества .....	27
1.3. Производственная пыль .....	38
1.4. Аэроионный состав воздуха .....	42
2. МЕРЫ НОРМАЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА И ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ .....	44
2.1. Противопылевые мероприятия .....	45
2.2. Экранирование теплоизлучающих поверхностей .....	48
2.3. Тепловая изоляция нагретых поверхностей .....	49
2.4. Вентиляция .....	50
2.5. Кондиционирование .....	67
2.6. Отопление .....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	83

Учебное издание

БОЯРШИНОВ Анатолий Владимирович  
ДИК Антон Артурович  
ДМИТРИЕВ Вячеслав Михайлович  
СЕРГЕЕВА Елена Анатольевна  
ХАРКЕВИЧ Лев Антонович

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Часть 2

## **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ**

Курс лекций

Редактор И.В. Калистратова  
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 06.07.2012  
Формат 60 × 84/16. 4,88 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 395

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14