

# **КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

## **«Промышленная вентиляция»**

### **ТЕМА 1: Локализация вредных выбросов на различных промышленных объектах**

Необходимым условием эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий (микроклимата) в помещениях.

**Микроклимат** представляет собой комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, его тепловое состояние и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. На формирование производственного микроклимата влияют технологический процесс, климат местности, сезон года, условия отопления и вентиляции.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха, °С;
- температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д.) °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;
- интенсивность теплового облучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Если работа выполняется на открытом воздухе, то метеорологические условия определяются климатическим поясом и сезоном года. Однако и в этом случае в рабочей зоне создается определенный микроклимат.

### **ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Все жизненные процессы в организме человека сопровождаются непрерывным выделением теплоты в окружающую среду, количество которой меняется от 85 Вт (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе).

Для нормального протекания физиологических процессов необходимо, чтобы выделяемая организмом человека теплота (теплопродукция) полностью отводилась в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву или к переохлаждению и, как следствие, к потере трудоспособности, несчастным случаям (потеря сознания и возможность летального исхода) и профессиональным заболеваниями.

Уравнение теплового баланса «человек — окружающая среда» впервые было предложено профессором И.И. Флавицким в 1884 г

$$Q_{\text{чел}} = Q_{\text{конв}} + Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{изл}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{дых}},$$

где  $Q_{\text{чел}}$  — тепло, выделяемое человеком (теплопродукция);  $Q_{\text{конв}}$  — теплоотдача конвекцией;  $Q_{\text{тепл}}$  — теплоотдача за счет теплопроводности через одежду;  $Q_{\text{изл}}$  — теплоотдача излучением на окружающие поверхности;  $Q_{\text{исп}}$  — теплоотдача испарением влаги (пота) с поверхности кожи;  $Q_{\text{дых}}$  — теплоотдача вследствие нагревания вдыхаемого воздуха.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией, за счет отдачи тепла с поверхности тела человека менее нагретым притекающим к нему слоям воздуха, теплопроводностью через одежду, излучением на окружающие поверхности и в процессе испарения влаги (пота) с поверхности кожи и при дыхании, а также за счет нагрева вдыхаемого воздуха.

Преобладание того или иного процесса теплоотдачи зависит от температуры среды, скорости движения воздуха, относительной влажности, атмосферного давления, температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма. При температуре около 20 °С, когда человек не испытывает никаких неприятных ощущений, связанных с микроклиматом, теплоотдача конвекцией составляет 15%, излучением — 50 ...

65%, испарением — 20 ... 25%. При изменении температуры, влажности, скорости движения воздуха, характера выполняемой работы эти соотношения существенно меняются. При температуре воздуха 30 °С отдача теплоты испарением становится равной суммарной отдаче теплоты излучением и конвекцией. При температуре воздуха более 36 °С отдача теплоты происходит уже полностью за счет испарения.

Если температура окружающего воздуха соответствует температуре кожи, отдача тепла конвекцией прекращается, в случае ее превышения происходит не отдача, а восприятие конвекционного тепла.

Одежда уменьшает теплоотдачу. Теплоизолирующие свойства одежды зависят от толщины используемых материалов и их качества.

Отдача тепла излучением в производственных условиях является одним из основных путей теплообмена человека с окружающей средой. Тепло отдается организмом тогда, когда температура стен, пола, потолка, а также поверхностей оборудования ниже температуры поверхности тела человека (32 ... 33 °С). В тех случаях, когда температура окружающих поверхностей выше температуры тела, происходит не потеря, а восприятие тепла.

При повышении температуры воздуха и окружающих поверхностей, когда отдача тепла конвекцией и излучением уменьшена, основным путем отдачи тепла организмом является испарение.

При испарении 1 г воды организм теряет около 2,5 кДж теплоты. Испарение происходит, главным образом, с поверхности кожи и в значительно меньшей степени через дыхательные пути (10 ... 20%). При нормальных условиях с потом организм теряет в сутки до 1 л жидкости. При тяжелой физической работе при температуре воздуха более 30 °С количество теряемой организмом жидкости может достичь 10 ... 12 л. При интенсивном потоотделении, если пот не успевает испариться, наблюдается выделение его в виде капель. При этом влага на коже препятствует отдаче теплоты. Такое потоотделение ведет только к потере воды и солей, но не выполняет основную функцию — усиление отдачи теплоты.

Соблюдение теплового баланса не является единственным условием теплового комфорта человека. Должны быть соблюдены и другие условия, касающиеся ограничения доли теплоотдачи за счет испарения влаги с поверхности кожи (не более 30%), уровня средневзвешенной температуры кожи и температуры кожи на отдельных участках поверхности тела.

***Микроклимат по степени его влияния на тепловой баланс человека подразделяется на нейтральный, нагревающий, охлаждающий.***

Нейтральный микроклимат — такое сочетание параметров микроклимата, которое при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивает тепловой баланс организма, при котором разность между величиной теплопродукции и суммарной теплоотдачей находится в пределах  $\pm 2$  Вт, а доля теплоотдачи испарением влаги не превышает 30%.

Охлаждающий микроклимат — сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место превышение суммарной теплоотдачи в окружающую среду над величиной теплопродукции организма, приводящее к образованию общего или локального дефицита тепла в теле человека ( $> 2$  Вт).

Нагревающий микроклимат — сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место изменение теплообмена человека с окружающей средой, проявляющееся в накоплении тепла в организме ( $> 2$  Вт) или в увеличении доли потерь тепла испарением влаги ( $> 30\%$ ).

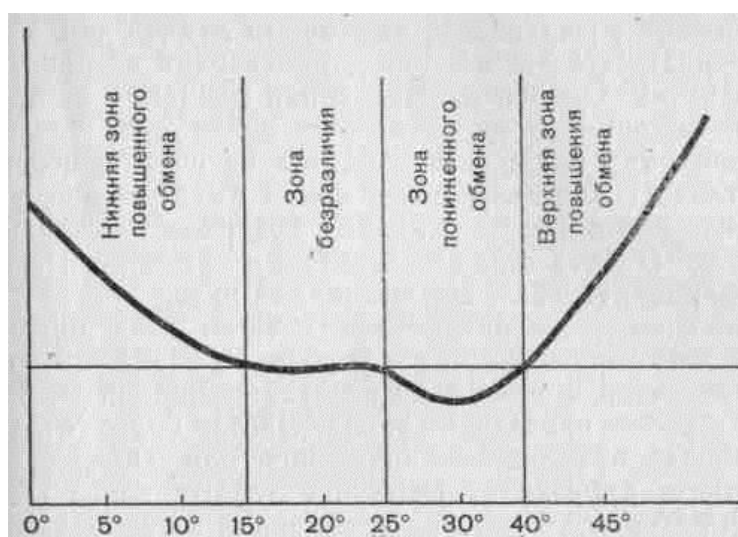
### **Терморегуляция организма и ее нарушения при работе**

**Терморегуляция организма** — физиологический процесс поддержания температуры тела в определенных границах ( $36,1—37,2^{\circ}\text{C}$ ), что необходимо для сохранения филогенетически установившейся последовательности, взаимосвязанности и скорости биологических процессов. Терморегуляция обеспечивается изменением двух составляющих теплообмен процессов— теплопродукции и теплоотдачи. Из двух способов поддержания теплового равновесия основное значение имеет регуляция

теплоотдачи, так как этот путь регуляции более изменчив и управляем в организме.

**Теплопродукция.** Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени — в поперечнополосатых мышцах и печени.

При низких температурах (до 10—15 °С) теплообразование возрастает, при средних (от 15 до 25—27 °С)—сохраняется на одном уровне, а при более высоких сначала несколько снижается (при 25—35 °С), а затем возрастает (при 40 °С и выше). На это указывает динамика потребления кислорода как показателя основного обмена (рис. 1.1). Эти данные показывают, что регуляция теплопродукции положительную роль играет главным образом при низких температурах воздуха, при высоких же возможность регуляции теплообмена за счет уменьшения продукции тепла ограничена.



**Рис. 1.1.** Изменение обмена веществ (по потреблению кислорода) в зависимости от температуры воздуха (по М. Е. Маршаку).

Теплопродукция возрастает при мышечной работе и тем больше, чем она тяжелее. В регуляции теплопродукции принимают участие кора головного мозга, ретикулярная формация, вегетативные центры (полосатое тело, серый бугор промежуточного мозга), которые по симпатическим

волокнам посылают импульсы к мышцам. Активную роль играют также печень, щитовидная железа, гипофиз и надпочечники.

Теплоотдача организма осуществляется излучением, конвекцией и испарением. В условиях покоя на долю излучения приходится около 45%, конвекции — 30% и испарения — 25% всего удаляемого организмом тепла.

**Излучением** отдают тепло все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). Поверхность тела человека также является излучателем тепла, но она в свою очередь получает некоторое количество тепла от излучения окружающих предметов. Тепло отдается организмом тогда, когда температура стен, пола, потолка, а также поверхности оборудования и других материалов в помещении ниже температуры наружных слоев одежды (в среднем  $27\text{—}28^{\circ}\text{C}$ ) или открытой поверхности кожи. Если же температура окружающих человека поверхностей высока, то отдача тепла излучением прекращается и, наоборот, происходит восприятие тепла этим путем. Однако инфракрасная радиация от производственных источников не исключает полностью теплоотдачи излучением, так как она приходится не на всю поверхность тела. Отдача тепла излучением может быть усилена установкой вблизи рабочего охлажденных поверхностей экранов, панелей и др. Отдача тепла излучением — физиологически наименее обременительный для организма путь.

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

Отдача тепла конвекции увеличивается с ростом барометрического давления. Относительно небольшая отдача тепла проведением и конвекцией происходит также через поверхность дыхательных путей, если вдыхаемый воздух имеет более низкую, чем тело, температуру.

Отдача тепла конвекцией прекращается, если температура окружающего воздуха достигает температуры кожи. В случае, когда она повышается еще больше, происходит не отдача, а восприятие конвекционного тепла.

**Испарение** — основной путь отдачи тепла при повышенной температуре воздуха, в особенности когда температура воздуха и окружающих предметов близка к температуре кожи, что затрудняет или исключает отдачу тепла излучением и конвекцией. Отдача тепла испарением происходит потому, что при испарении 1 г воды теряется около 0,6 ккал тепла. Испарение влаги из организма происходит как с поверхности кожи, так и дыхательных путей.

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

При пребывании в условиях высокой температуры воздуха и выполнении физической работы наблюдается активное потоотделение, обусловленное усиленной транссудацией жидкости через стенки артериальных сосудов, оплетающих потовую железу, и нервной регуляцией. Количество теряемой организмом жидкости в смену может достигать 10—12 л. При интенсивном потоотделении, если пот не успевает испариться, наблюдается профузное его выделение в виде капель. При этом влажный слой на коже не только не способствует отдаче тепла, а, наоборот, задерживает

его, создавая условия для перегрева организма. В этом случае потоотделение ведет лишь к потере воды и солей, но не выполняет основной физиологической функции усиления теплоотдачи.

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

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

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА САМОЧУВСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА**

Параметры микроклимата могут изменяться в очень широких пределах. В естественных условиях на поверхности Земли (уровень моря) температура окружающей среды изменяется от -88 до +60 °С; подвижность воздуха — от 0 до 100 м/с; относительная влажность от —10 до 100% и атмосферное давление — от 680 до 810 мм рт. ст.

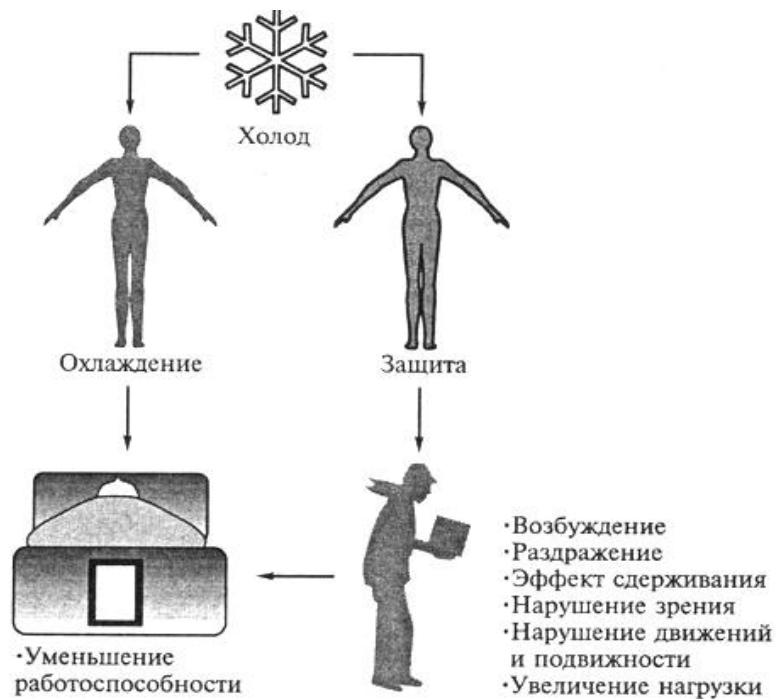
В то же время необходимым условием жизнедеятельности человека является сохранение постоянства температуры тела.

При благоприятных сочетаниях параметров микроклимата человек испытывает состояние теплового комфорта, что является важным условием высокой производительности труда и предупреждения заболеваний.



## Охлаждение

В ходе эволюционного развития человек не выработал устойчивого приспособления к холоду. Его биологические возможности в сохранении температурного баланса в условиях охлаждающего микроклимата весьма ограничены. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: сердечно-сосудистой патологии, обострения язвенной болезни, радикулитов, невритов, простудных заболеваний. Любая степень охлаждения характеризуется снижением частоты сердечных сокращений и развитием процессов торможения в коре головного мозга, что приводит к уменьшению работоспособности, изменению двигательной реакции, нарушению координации и точности выполнения рабочих операций (рис. 1.2). Производственные процессы, выполняемые при пониженной температуре, большой подвижности и влажности воздуха, могут быть причиной охлаждения и даже переохлаждения организма — гипотермии. Увеличение обменных процессов при понижении температуры на 1°C составляет около 10%, а при интенсивном охлаждении может возрасти в 3 раза по сравнению с уровнем основного обмена. Появление мышечной дрожи, при которой внешняя работа не совершается, а вся энергия превращается в теплоту, может в течение некоторого времени задерживать снижение температуры внутренних органов. В тяжелых случаях действие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.



**Рис. 1.2.** Негативные последствия переохлаждения: некоторые примеры

Обморожение бывает поверхностное и глубокое. Сфера распространения поверхностного обморожения ограничивается кожей и основными подкожными тканями, расположенными в непосредственной близости от поражения. В большинстве случаев зона поражения ограничена носом, ушными мочками, пальцами рук и ног. Первый симптом — это неприятное острое покалывание. Пораженный участок кожи белеет или становится желто-белым. Это место на конечности теряет чувствительность и вдавливается вглубь, поскольку основные ткани жизнеспособны и гибки. Когда травма от обморожения более серьезна, кожа становится белой с мраморным оттенком и затвердевает.

Под работой в условиях охлаждающего микроклимата подразумевается широкий спектр производственной и профессиональной деятельности, осуществляемой в различных климатических условиях (см. табл. 1.1). Так, например, в большинстве стран обработка свежих пищевых продуктов на предприятиях пищевой промышленности осуществляется обычно при температуре 2... 8 °С, а заморозка — ниже -25 °С.

Таблица 1.1

**Экстремальные условия среды обитания человека и производственной среды (низкие температуры воздуха)**

-90°С	Полярная станция «Восток» у южного полюса в Антарктиде
-55°С	Производство замороженных и сублимированных продуктов
-40°С	«Нормальная» температура для полярных баз
-28°С	Температура хранения продуктов глубокой заморозки
От +2 до +12 °С	Хранение, переработка и транспортировка свежих продуктов питания
От -50 до -20°С	Среднемесячная январская температура в Северной Канаде и Сибири
От -20 до -10°С	Среднемесячная температура в Южной Канаде, Северной Скандинавии, Центральной России
От -10 до 0°С	Среднемесячная температура января в северных штатах США, Южной Скандинавии, Центральной Европе, некоторых регионах Среднего и Дальнего Востока, Центральной и Северной Японии

Переохлаждение всего тела или его частей приводит к дискомфорту, нарушению сенсорной и нервно-мышечной функции и, в конечном счете, обмороживанию. В результате дискомфорта от переохлаждения обостряется поведенческая реакция организма, сокращающая или полностью устраняющая последствия такого переохлаждения. Предотвращение охлаждения с помощью теплозащитной одежды, обуви, перчаток и головных уборов уменьшает подвижность и ловкость рабочего. Существует такое понятие, как «стоимость защиты». Оно означает, что передвижения с места на место и телодвижения не могут производиться бесконечно, поскольку они в конечном счете приводят к истощению сил.

При определенных условиях температура кончиков пальцев может быть на десять и более градусов ниже, чем на тыльной стороне руки. На рис. 1.3 приведены критические значения температур для различных последствий нарушения физической деятельности.

**Гипотермия** означает понижение температуры тела ниже нормальной. С тепловой точки зрения тело человека состоит из двух зон: «оболочки» и «ядра». «Оболочку» составляют ткани поверхностного слоя тела толщиной в

2,5 см. Температура «Оболочки» в значительной мере изменяется согласно внешней среде. «Ядро» состоит из более глубоких тканей (например, мозга, сердца и легких, а также верхнего отдела брюшной полости), и тело стремится поддерживать внутреннюю температуру в пределах  $37 \pm 2$  °C. Когда терморегуляция нарушается и внутренняя температура начинает снижаться, человек начинает испытывать переохлаждение. Но только в том случае, когда внутренняя температура тела упадет до 35 °C, можно констатировать гипотермическое состояние. В интервале между 35 и 32 °C гипотермия классифицируется как легкая; между 32 и 28 °C — как умеренная и ниже 28 °C — как тяжелая (см. табл. 1.2).

Неоднократные переохлаждения организма приводят к целому ряду новых физиологических последствий. В табл. 1.3 приведены некоторые типичные реакции, связанные с различными уровнями температуры организма.

**Таблица 1.2**

**Реакция организма человека на охлаждение**

Фаза	Температура внутренних органов, °C	Физиологическая реакция	Психологическая реакция
Нормальная	37	Нормальная температура тела	Ощущение тепловой нейтральности
	36	Сужение сосудов, холодные руки и ноги	Дискомфорт
Начальная гипотермия	35-34	Интенсивное дрожание, уменьшение физической работоспособности	Умственная деятельность затруднена, потеря ориентации, апатия
	33	Суетливость	Умственная и эмоциональная усталость
Умеренная гипотермия	32	Жесткость мышечного тонуса	Прогрессирующая форма беспамятства, галлюцинации
	31	Слабое дыхание	
	30		Затемнение сознания

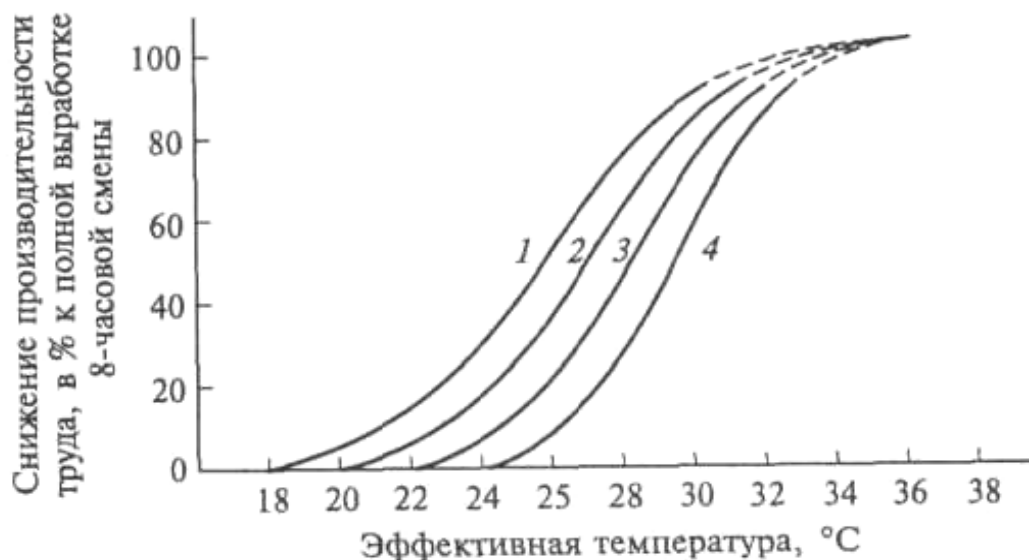
	29	Никаких проявлений нервной деятельности, частота сердечных сокращений уменьшается и почти сходит на нет	Оцепенение
--	----	---	------------



**Рис.1.3.** Влияние низких температур на подвижность рук и пальцев

## Перегрев

Напряжение различных функциональных систем организма человека при воздействии температур воздуха более 30 °С приводит к нарушению состояния здоровья, снижению работоспособности и производительности труда (см. рис. 1.4).

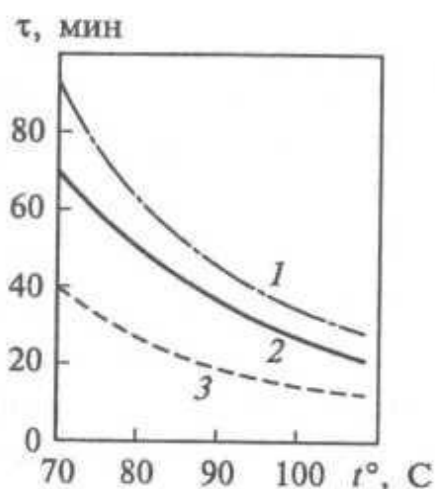


**Рис. 1.4.** Уменьшение производительности труда в зависимости от эффективной температуры:

1- тяжелая физическая работа (310 Вт); 2 — работа средней тяжести (202...310Вт); 3 — легкая физическая работа (119...202Вт); 4 — умственная работа (95... 119Вт)

Для человека определены максимально переносимые температуры в зависимости от длительности их воздействия. Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116°С. На рис. 1.5 представлены ориентировочные данные о переносимости температур, превышающих 60 °С. Существенное значение имеет равномерность температуры, которая не должна выходить за пределы  $\pm 5$  °С. Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению теплоты в организме

и развитию перегрева организма выше допустимого уровня — гипертермии. Появляются нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветового восприятия (окраска всего в красный или зеленый цвет), тошнота,



**Рис. 1.5.** Переносимость высоких температур в зависимости от длительности их воздействия:

1 — верхняя граница выносливости; 2 — среднее время выносливости; 3 — граница появления симптомов перегрева

рвота, температура тела повышается до 38 ... 39 °C. Кожа сначала краснеет, потом бледнеет и покрывается «холодным» потом. Частота сердечных сокращений увеличивается. В тяжелых случаях гипертермия протекает в форме теплового удара, который сопровождается потерей сознания. Даже при раннем выявлении каждый пятый случай является смертельным.

Судорожная болезнь является следствием нарушения водно-солевого баланса при действии высоких температур. Характеризуется слабостью, головной болью, резкими судорогами, преимущественно в конечностях. При оказании первой помощи необходимо внутривенное или подкожное введение физиологического раствора NaCl, лучше в сочетании с глюкозой.

Солнечный удар возникает в результате интенсивного прямого облучения головы при работе на открытом воздухе. При солнечном ударе на первый план выступает нарушение функции головного мозга (отек оболочек и ткани мозга), возникающее за счет местного перегрева не защищенной от солнца головы. Температура тела нормальная или слегка повышена. Симптомами солнечного удара являются головная боль, головокружение, беспокойство, шум в ушах, расстройство зрения, тошнота, рвота.

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

Сердечнососудистая система при действии высоких температур испытывает большое напряжение; изменяется и состав крови. Это связано с нарушением водного обмена, сгущением и перераспределением крови (усиливается кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки), влиянием повышенной температуры на сердечную мышцу и тонус сосудов. Пульс учащается, особенно при явлениях напряжения терморегуляции в условиях выполнения работ средней и большой тяжести. При одной и той же физической нагрузке частота пульса тем больше, чем выше температура воздуха в цехе.

Частота пульса возрастает вследствие раздражения терморецепторов, повышения температуры крови, влияния продуктов обмена. Среди стажированных рабочих горячих цехов (вследствие приспособительных реакций) увеличивается число лиц с *брадикардией*.

Артериальное давление как систолическое, так в большей степени и диастолическое, при действии высоких температур и тепловой радиации снижается, что является приспособительной реакцией: понижение тонуса периферических сосудов и расширение их русла создают условия для доставки крови к периферии и роста теплоотдачи. При выполнении



физической работы, действие которой на артериальное давление является противоположным, состояние тонуса сосудов зависит от выраженности этих двух факторов, т. е. от степени тяжести работы и температуры воздуха. Если преобладает влияние труда, артериальное давление оказывается повышенным, если микроклимата — пониженным.

В крови наблюдаются изменения, связанные с интенсивным потоотделением: повышение вязкости, содержания гемоглобина и эритроцитов.

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

Особенно подвержены тепловым ударам люди, имеющие массу тела выше нормы. Существует линейная зависимость между превышением массы тела и относительной вероятностью смерти от теплового удара. Это еще одно, наряду со многими другими, подтверждение необходимости борьбы с излишним весом в любом возрасте.

При оказании первой помощи необходимо принять быстрые меры к охлаждению организма, чему способствуют покой, свежий воздух, прохладные душ, ванна и обильное питье.

### **Влажность воздуха**

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров и измеряется в абсолютных и относительных единицах. Различают максимальную, абсолютную и относительную влажность. Абсолютная

влажность — содержание водяных паров в воздухе, выраженное в миллиметрах ртутного столба или в граммах на 1 кубический метр воздуха, максимальная — максимально возможное содержание водяных паров в воздухе при данной температуре (состояние насыщения). Чем выше температура воздуха, тем больше требуется водяных паров для полного его насыщения.

Влажность воздуха в рабочей зоне выражают в величинах относительной влажности, поскольку она показывает степень насыщения воздуха парами влаги. Относительная влажность — отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40.. 60%. Повышенная влажность воздуха (более 75... 80%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие. А в сочетании с высокими (более 30 °С) способствует перегреванию организма, так как при этом почти вся выделяемая организмом человека теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое «проливное» течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха (менее 25%) также неблагоприятна для человека, так как приводит к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыханию и растрескиванию.

### **Подвижность воздуха**

Человек начинает ощущать движение воздуха при его скорости примерно 0,1 м/с. Легкое движение воздуха при обычных температурах способствует хорошему самочувствию, сдувая обволакивающий человека насыщенный водяными парами и перегретый слой воздуха. В то же время большая скорость движения воздуха, особенно в условиях низких температур, вызывает увеличение теплопотерь конвекцией и испарением и ведет к сильному

охлаждению организма. Особенно неблагоприятно действует сильное движение воздуха при работах на открытом воздухе в зимних условиях.

### **Тепловое излучение**

Тепловое излучение (инфракрасное излучение) свойственно любым телам, температура которых выше абсолютного нуля.

Инфракрасное излучение подчиняется ряду важных в гигиеническом отношении закономерностей.

По закону Стефана-Больцмана мощность излучения (теплоотдача) прямо пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:

$$E = KT^4,$$

где:  $E$  — теплоотдача, Вт/м<sup>2</sup>,  $K$  — постоянная Стефана-Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $T$  — абсолютная температура, К.

В соответствии с этим законом даже небольшое увеличение температуры тела приводит к значительному росту отдачи тепла излучением.

С увеличением температуры тела изменяется длина волны: максимум энергии излучения смещается в сторону более коротких волн, подчиняясь закону смещения Вина:

$$l_{\text{макс}} = 0,29 \cdot 10^3 / T_{\text{и}},$$

где  $l_{\text{макс}}$  — длина волны в микрометрах, соответствующая максимуму излучения,  $0,29 \cdot 10^3$  — постоянная величина,  $T_{\text{и}}$  — температура излучающей поверхности.

В горячих цехах промышленных предприятий (металлургических, стекольных и др.) большинство технологических процессов протекает при температурах, значительно превышающих температуру воздуха окружающей среды. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии. Тепловое воздействие облучения на организм человека зависит от длины волны и интенсивности потока излучения,

величины облучаемого участка тела, длительности облучения, угла падения лучей, вида одежды человека. У большинства производственных источников максимум энергии приходится на инфракрасные лучи с длиной волны 0,78... 1,4 мкм. Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое воздействие. Они плохо задерживаются кожей, глубоко проникают в биологические ткани, вызывая повышение их температуры. Например, длительное облучение такими лучами глаз приводит к помутнению хрусталика (профессиональной катаракте). Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и как следствие наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной системы.

Кроме непосредственного воздействия на человека лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха в помещении повышается. Для характеристики теплового излучения принята величина, названная интенсивностью теплового облучения. Интенсивность теплового облучения — это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности ( $\text{Вт/м}^2$ ). Тепловое облучение интенсивностью до  $350 \text{ Вт/м}^2$  не вызывает неприятного ощущения, при  $1050 \text{ Вт/м}^2$  уже через 3.. 5 минут на поверхности кожи появляется неприятное жжение (температура кожи повышается на  $8 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а при  $3500 \text{ Вт/м}^2$  через несколько секунд возможны ожоги. При облучении  $700 \dots 1400 \text{ Вт/м}^2$  частота пульса увеличивается на  $5 \dots 7$  ударов в минуту. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется, в первую очередь, температурой кожи, болевые ощущения появляются при температуре кожи  $40 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$  (в зависимости от участка).

Интенсивность теплового облучения на отдельных рабочих местах может быть значительной. Например, в момент заливки стали в форму она составляет  $12\,000 \text{ Вт/м}^2$ , а при выпуске стали из печи в ковш достигает

7000Вт/м<sup>2</sup>. Для сравнения, интенсивность солнечной радиации в безоблачный летний день составляет 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

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

**Перегревание** (тепловая гипертермия) возникает при избыточном накоплении тепла в организме; основным признаком этого является повышение температуры тела до 38 °С и более. При этом наблюдаются гиперемия лица, обильное потоотделение, слабость, головная боль, головокружение, искажение цветового восприятия предметов (окраска в красный, зеленый цвета), тошнота, рвота. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем понижается. В крови увеличивается содержание молочной кислоты и остаточного азота. В тяжелых случаях гипертермия протекает в форме теплового удара, когда температура тела быстро повышается до 40 °С и выше, наблюдаются бледность, синюшность, частый малый пульс, падение артериального давления, потеря сознания. Дыхание становится поверхностным, частым (до 50—60 в минуту), временами появляются судороги.

**Тепловой удар** возникает в особо неблагоприятных производственных условиях: выполнение тяжелой физической работы при высокой температуре воздуха в сочетании с влиянием излучений, высокой влажностью, а иногда и затрудняющей теплоотдачу одеждой. При оказании первой помощи необходимо принять быстрые меры к охлаждению организма, чему способствуют покой, свежий воздух в помещении, прохладные душ, ванна.

**Судорожная болезнь** является следствием нарушения водно-солевого баланса в результате профузного потоотделения при действии высокой температуры воздуха. Признаки заболевания нарастают медленно, температура тела не изменена или слегка повышена. Отмечаются слабость,

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

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

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

Охлаждение и переохлаждение на производстве возникают в результате действия на организм низких и пониженных (субнормальных)

температур воздуха, иногда в сочетании с высокой влажностью и большим движением воздуха.

В организме имеются механизмы **приспособления (адаптации)** к действию охлаждающих факторов. В зависимости от степени выраженности их, а также индивидуальных свойств организма, теплозащитных качеств одежды, тяжести работы усиливается теплопродукция и уменьшается (путем сужения сосудов) отдача тепла. В суженных сосудах наблюдается *флюктуация* — периодическое сужение и расширение их просвета. Понижение температуры отдельных участков тела вызывает болевые ощущения, являющиеся для организма сигналом об опасности переохлаждения.

При действии субнормальных температур (от  $+10^{\circ}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$ ) ощущение холода и химическая терморегуляция ослаблены, наблюдается постепенное и длительное сужение сосудов. В результате теплопотери возрастают, становятся значительными, а вместе с тем усиливается возможность переохлаждения.

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

Местное и общее **охлаждение** организма является причиной **ряда заболеваний**: озноблений и отморожений, миозитов, невритов, радикулитов и др. Переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям — ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. Установлено, что при охлаждении ног и туловища возникает спазм сосудов слизистых оболочек дыхательного тракта. Прямое и рефлекторное понижение температуры слизистых в условиях ухудшения кровоснабжения ведет к трофическим расстройствам, уменьшает

барьерные свойства. При этом снижается и общая иммунобиологическая сопротивляемость организма.

## **ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА**

Способность человеческого организма поддерживать постоянной температуру тела (в подмышечной впадине —  $36,5..36,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  с колебаниями в течение суток в пределах  $0,5...0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы называется терморегуляцией. В течение всей своей жизни человек существует в пределах очень ограниченного диапазона внутренних температур тела. Однако в короткие промежутки времени человек может переносить температуру тела ниже  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  или выше  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Максимально допустимые пределы для жизнедеятельности клеток составляют от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (образование кристаллов льда) до  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тепловая коагуляция внутриклеточных белков).

***Терморегуляция*** обеспечивается изменением двух составляющих теплообмен процессов — теплопродукции и теплоотдачи. Из двух способов поддержания теплового равновесия основное значение имеет регуляция теплоотдачи, так как этот путь регуляции более изменчив и управляем в организме.

Реакции, которые использует организм человека, чтобы поддержать тепловой баланс, вызываются в ответ на «отклоняющие нагрузки», то есть температура тела постоянно колеблется вокруг некоторых заранее установленных значений (рис. 1.6).





**Рис. 1.6.** Модель терморегуляции в человеческом организме

Внутренняя температура ниже пороговых значений терморегуляции организма приводит к увеличению тепловых потоков (поеживание, дрожь, сужение сосудов на коже тела). Внутренняя температура выше пороговых значений терморегуляции приводит к подключению систем, ответственных за тепловые потери (потовыделение и др.). В каждом отдельном случае результирующая теплопередача уменьшает отклонение нагрузки и помогает восстанавливать температуру тела до обычного устойчивого состояния.

Система терморегуляции наиболее поздно возникла в эволюционном развитии человека. Поэтому при действии высоких и низких температур имеет место интеграция системы терморегуляции с другими функциональными системами: сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, эндокринной и др. Степень их участия и порядок включения определяются величиной термической нагрузки на человека.

Процессы терморегуляции осуществляются, в основном, тремя способами: биохимическим путем, путем изменения интенсивности кровообращения и интенсивности потовыделения.

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

Терморегуляция путем изменения интенсивности кровообращения заключается в способности организма регулировать подачу крови (теплоносителя) от внутренних органов к поверхности тела путем сужения или расширения кровеносных сосудов. При высоких температурах окружающей среды кровеносные сосуды кожи расширяются, и к ней от внутренних органов притекает большее количество крови и, следовательно, больше теплоты отдается окружающей среде. При низких температурах происходит обратное явление: сужение кровеносных сосудов кожи, уменьшение притока крови к кожному покрову и, следовательно, меньше теплоты отдается в окружающую среду. Кровоснабжение при высокой температуре может быть в 20... 30 раз больше, чем при низкой. В пальцах кровоснабжение может изменяться в 600 раз. Именно поэтому при низких температурах у человека быстрее всего замерзают пальцы рук и ног.

Терморегуляция путем изменения интенсивности потовыделения заключается в изменении процесса теплоотдачи за счет испарения. Так при температуре окружающей среды +18 °С и относительной влажности 69%, количество теплоты, отдаваемой человеком в окружающую среду при испарении влаги, составляет около 18% общей теплоотдачи. При увеличении температуры окружающей среды до +27 °С и +36,6 °С эта доля увеличивается до 30 и 100% соответственно.

Терморегуляция организма человека осуществляется, как правило, одновременно всеми способами.

Функциональное состояние человека, обусловленное его теплообменом с окружающей средой, характеризующееся содержанием и распределением тепла в глубоких («ядро») и поверхностных («оболочка») тканях организма, а также степенью напряжения механизмов терморегуляции, принято обозначать как тепловое состояние.

Оптимальное тепловое состояние человека характеризуется отсутствием общих и/или локальных дискомфортных теплоощущений и минимальным напряжением механизмов терморегуляции.

Допустимое тепловое состояние человека характеризуется незначительными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, сохранением термостабильности организма в течение всей рабочей смены при умеренном напряжении механизмов терморегуляции

Микроклиматические условия должны обеспечивать тепловое состояние работающих на оптимальном или допустимом уровне.

## **ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА**

При изучении гигиенического нормирования различных производственных факторов, в том числе и параметров микроклимата, необходимо ответить на 3 вопроса:

Где? — В каких нормативных документах приведено нормирование;

Что? — Какие именно параметры нормируются;

Как? — Каковы принципы нормирования.

Ответим последовательно на поставленные вопросы.

Нормы производственного микроклимата установлены ГОСТ

12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

В соответствии с этими документами нормируются оптимальные и допустимые параметры микроклимата: температура воздуха °С температура поверхностей, °С, относительная влажность воздуха % скорость движения

воздуха, м/с, обеспечивающие оптимальные и допустимые микроклиматические условия в производственных помещениях

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового состояния организма человека (см табл. 1.3). Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

**Таблица 1.3**

**Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений**

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб(140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia(до139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб(140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены (см. табл. 1.4). Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Кроме оптимальных и допустимых параметров микроклимата в ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96 приведены различные дополнения и уточнения.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, изделий и материалов должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.5.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, открытое пламя и др.) не должны превышать  $140 \text{ Вт/м}^2$ . При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Для оценки сочетанного действия параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения) в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания рекомендуется использовать **интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс)**. ТНС-индекс рассчитывается по уравнению:

$$\text{ТНС} = 0,7t_{\text{вл}} + 0,3t_{\text{ш}},$$

где  $t_{\text{вл}}$  — температура смоченного термометра аспирационного психрометра;

$t_{\text{ш}}$  — температура внутри зачерненного шара, имеющего диаметр 90 мм,

минимально возможную толщину и коэффициент поглощения 0,95;  $t_{ш}$  отражает влияние температуры воздуха, температуры поверхностей и скорости движения воздуха.

**Т а б л и ц а 1.4**

**Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений**

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

**Т а б л и ц а 1.5**

**Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников**

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

ТНС-индекс рекомендуется использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, на которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения— 1200 Вт/м<sup>2</sup>.

Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, представленных в табл. 1.6

**Т а б л и ц а 1.6**

**Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегрева организма**

Категория работ по уровню энергозатрат	Величины интегрального показателя, °С
Ia	22,2... 26,4
Iб	21,5... 25,8
IIa	20,5... 25,1
IIб	19,5... 23,9
III	18,0...21,8

**Принципы нормирования параметров микроклимата.** Параметры микроклимата как оптимальные, так и допустимые зависят от периода года и категории работ по уровню энергозатрат (см. табл. 1.3 и 1.4).

Период года учитывает теплоизоляционные характеристики одежды и акклиматизацию организма в разное время года. Различают теплый и холодный периоды года. Холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже, теплый — выше +10 °С.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы (категория I—Ia и Iб), средней тяжести физические работы (категория II-IIa и IIб), тяжелые физические работы (категория III).

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и

машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и др.).

К категории Iб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140...174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера и др.).

К категории IIа относятся работы с интенсивностью энергозатрат 175...232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и др.).

К категории II относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233...290Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и др.).

К категории III относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных, литейных цехах с ручными процессами и др.).

Из приведенных в табл. 1.3 и 1.4 данных видно, что для одного и того же периода года при переходе от I к III категории температуры воздуха и поверхностей снижаются, а скорость движения воздуха увеличивается. Это связано с необходимостью поглощения большего количества тепла, выделяемого организмом человека при тяжелой физической работе.



Для одной и той же категории работ, в теплый период года температуры воздуха и поверхностей несколько выше, чем в холодный, что объясняется уменьшением термического сопротивления одежды (от 0,8... 1,0 кло применительно к холодному и 0,5...0,6 кло — теплomu периоду года; 1 кло = 0,155°C-м<sup>2</sup>/Вт).

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НОРМАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА**

Поскольку микроклиматические условия играют исключительно важную роль в тепловом самочувствии человека, используется комплекс методов и средств для нормализации микроклимата.

**Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха** наиболее широко применяются для создания благоприятных метеорологических условий на производстве. Для создания нормального микроклимата на рабочих местах с интенсивностью теплового облучения 0,35 кВт/м<sup>2</sup> и более, а также 0,175... 0,35 кВт/м<sup>2</sup> при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более 0,2 м<sup>2</sup> применяют воздушное душирование. Воздушное душирование представляет собой поток воздуха, направляемый непосредственно на рабочее место. Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом тела человека. Ось воздушного потока при этом направляют на грудь человека горизонтально или сверху под углом 45°.

**Внедрение технологических процессов и оборудования, снижающих выделение тепла.** Например, замена горячего способа обработки металла холодным, применение индукционного нагрева металлов токами высокой частоты вместо пламенного нагрева, замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными, повышение герметичности оборудования и т.д.

**Механизация и автоматизация производственных процессов,** дистанционное управление позволяют во многих случаях вывести человека

из неблагоприятных метеорологических условий. Например, дистанционное управление процессом транспорта природного газа из операторной позволяет существенно снизить время пребывания чело века в машинном зале компрессорной станции, где температура воздуха превышает допустимую.

**Тепловая изоляция оборудования** (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и инфракрасное излучение от нагретых поверхностей, предотвращая ожоги при прикосновении к этим поверхностям. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность на рабочих местах не более  $350 \text{ Вт/м}^2$ . Температура нагретых поверхностей оборудования не должна превышать  $35^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника до  $100^\circ\text{C}$  и  $45^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника выше  $100^\circ\text{C}$ . Иногда применяют внутреннюю теплоизоляцию для снижения рабочих температур наружных поверхностей оборудования. Кроме того тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижая расход топлива — электроэнергии или пара.

В настоящее время известно много различных видов **теплоизоляционных материалов**. К неорганическим материалам относятся: асбест, асбоцемент, вермикулит, минеральные вата и войлок, стекловата и стеклоткань, ячеистый бетон, керамзит и др. Органическими изоляционными материалами являются пробковые, торфоизоляционные и древесноволокнистые плиты, древесные опилки, пенопласт и др. При выборе материала для изоляции необходимо учитывать механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. При температуре теплоизлучающей поверхности  $500 \dots 600^\circ\text{C}$  применяют асбест, минеральную вату; при температуре  $800 \dots 900^\circ\text{C}$  — асбозурит, диатомитовый кирпич; при температуре более  $1000^\circ\text{C}$  — вермикулит, специальные керамические плитки и т.д.

**Объемно-планировочные и конструктивные решения** принимаются на стадии проектирования производственных зданий. Горячие цеха размещают,

как правило, в одноэтажных одно- и двухпролетных зданиях. Внутренние дворы располагают так, чтобы обеспечивалось их хорошее проветривание. Основные источники теплоты располагают у наружных стен здания в один ряд на таком расстоянии друг от друга, чтобы тепловые потоки от них не перекрывались на рабочих местах. Наилучшим решением является размещение теплоизлучающего оборудования в изолированных помещениях или на открытых площадках.

Для защиты от поступления в производственные помещения холодного воздуха входы оборудуют шлюзами, дверные проемы — *воздушными завесами*.

Используют *двойное остекление окон, утепление ограждений, полов* (установка настилов) и т.д.

*Теплозащитные экраны* применяют для экранирования источников теплового излучения и для экранирования рабочих мест. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, экраны подразделяют на теплоотражающие, тепло-поглощающие и теплоотводящие. Это деление по принципу действия достаточно условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать и отводить тепло. По степени прозрачности экраны делят на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные. К первому классу относят металлические водоохлаждаемые и футерованные асбестовые, альфалиевые (из алюминиевой фольги), алюминиевые экраны. Ко второму — экраны из металлической сетки с размером ячейки 3... 3,5 мм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло. С целью повышения эффективности все эти экраны могут орошаться водяной пленкой. Для прозрачных экранов (3 класс) используют силикатное, кварцевое или органическое стекло, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы. Водяные завесы поглощают поток тепла до 80% без существенного ухудшения видимости. Высокой эффективностью обладают аквариальные экраны, представляющие

собой коробку из двух стекол, заполненную проточной чистой водой с толщиной слоя 15...20мм. Вододисперсная завеса представляет собой плоскую воздушную струю со взвешенными в ней капельками воды.

***Рациональный режим труда и отдыха*** разрабатывается применительно к конкретным условиям работы и предусматривает сокращение продолжительности рабочей смены, введение дополнительных перерывов, например, защита временем в условиях нагревающего микроклимата, создание условий для эффективного отдыха в помещениях с нормальными метеорологическими условиями. Если организовать отдельные помещения трудно, то в горячих цехах создают зоны отдыха — «оазисы», где с помощью вентиляции обеспечивается нормальная температура и скорость движения воздуха. Для работающих на открытом воздухе в холодных климатических условиях организуют специальные помещения для обогрева.

Использование средств индивидуальной защиты: спецодежды, спецобуви, средств защиты рук и головы. Для защиты от воздействия высокой и низкой температур, облучения в зависимости от условий труда применяется термозащитная одежда различных видов. При небольшой интенсивности теплового облучения используются хлопчатобумажные ткани с огнестойкой пропиткой, в более жестких условиях (при большом теплооблучении) применяют сукно, асбестовые или металлизированные ткани. Для кратковременной работы в условиях очень высоких температур (300 ... 500 °С) разработаны специальные теплозащитные комбинезоны и скафандры с принудительной подачей воздуха через шланг от источника питания.

Спецодежда для защиты от низких температур, ветра и атмосферных осадков изготавливается из хлопчатобумажных и смешанных тканей с водоотталкивающими и другими пропитками, из шерсти, меха и синтетических утеплителей. Покрой одежды должен предотвращать выдувание тепла ветром из пододежного пространства и вместе с тем должна быть обеспечена воздухопроницаемость для удаления избыточной влаги. Комплект спецодежды должен обязательно дополняться эффективными

средствами для защиты от холода ног, рук и головы. Особенно большое значение имеет качество спецодежды для работы на открытом воздухе в условиях Крайнего Севера. Кроме традиционных комплектов утепленной спецодежды разработаны специальные электробоогревающие комплекты.

## **ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Для контроля параметров микроклимата на рабочих местах рекомендуется использовать следующие приборы.

Температуру и влажность воздуха определяют *аспирационными психрометрами*. Психрометры состоят из двух одинаковых ртутных термометров — сухого и влажного. Резервуар влажного термометра обернут гигроскопической тканью, конец которой опущен в стаканчик с дистиллированной водой. Поскольку на испарение влаги расходуется тепло, этот термометр показывает более низкую температуру, чем сухой. Чем ниже влажность, тем меньше показания температуры влажного термометра, поскольку с уменьшением влаги в воздухе возрастает испарение воды с увлажненной ткани и поверхность ртутного резервуара охлаждается в большей степени. Сухой термометр показывает температуру воздуха. По разности показаний термометров с помощью специальных психрометрических таблиц определяют относительную влажность воздуха. Аспирационный психрометр снабжен вентилятором, который протягивает через прибор исследуемый воздух с равномерной скоростью, что повышает точность показаний прибора. (Аспирация — движение воздуха.) В табл. 1.7 приведены некоторые типы приборов с указанием пределов измерения по температуре и относительной влажности.

Для измерения больших скоростей движения воздуха в производственной практике применяют крыльчатые и чашечные анемометры. Эти анемометры чаще всего применяют для оценки работы вентиляционных систем. Принцип действия прибора механический: под давлением движущегося воздуха ось прибора с закрепленными на ней

крылышками или чашечками начинает вращаться и тем быстрее, чем больше скорость движения воздуха.

**Т а б л и ц а 1.7**

**Психрометры аспирационные**

Тип прибора	Пределы измерений температуры, °С	Пределы измерений относительной влажности, %
МВ-4М	-30...+ 50	10...100
М-34	-30...+ 50	10...100
ПБУ-1М	0... + 45	40... 80

Для оценки малых скоростей воздуха на рабочих местах применяют термоанемометры и кататермометры. Термоанемометр — батарейный прибор на полупроводниках. Принцип действия основан на изменении сопротивления в датчике прибора, которое происходит при изменении температуры и скорости движения воздуха. Принцип работы кататермометра, представляющего собой спиртовой термометр с резервуаром до 20 мл, основан на измерении скорости падения температуры при охлаждении от 38 до 35 °С, что позволяет судить о подвижности окружающего воздуха.

В табл. 1.8 приведены основные типы приборов для измерения скорости движения воздуха.

Интенсивность теплового излучения измеряют актинометрами, действие которых основано на поглощении лучистой энергии и превращении ее в тепловую, количество которой регистрируется.

Некоторые типы актинометров приведены в табл. 1.9.

Температура поверхностей измеряется контактными приборами (типа электротермометров) или дистанционными (пирометры). Например, микротермометр МТ-57М служит для измерения температуры поверхностей в интервале 10 ... 40 °С.

**Т а б л и ц а 1.8****Приборы для измерения скорости движения воздуха**

Тип прибора	Пределы измерений скорости, м/с
Анемометр крыльчатый АСО-3	0,3...0,5
Анемометр крыльчатый АП-1 м	0,5... 40
Анемометр чашечный МС-13	1,0...30
Кататермометр шаровой	0,05... 2,0
Термоанемометр ТАМ-1	0,1...2,0

**Т а б л и ц а 1.9****Актинометры**

Тип прибора	Пределы измерения интенсивности теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup>
Средство измерений интенсивности теплового облучения ИМО-5	10... 7000
Неселективный радиометр "Аргус 3"	1... 2000
Инспекторский	350... 14000

Тепловая нагрузка среды — ТНС-индекс измеряется с помощью шарового термометра, тип 90. Диапазон измеряемых значений 0.. .50° С и 30... 100 °С. Кроме того для интегральной оценки тепловой нагрузки среды можно использовать монитор тепловой нагрузки, модель 1219, фирмы «Брюль и Кьер» (Дания). Диапазон измеряемых значений 20... 120 °С.

Методы измерения параметров микроклимата, как и других санитарно-гигиенических факторов производственной среды, подробно рассматриваются в курсе «Аттестация рабочих мест по условиям труда».

## **Защита от вредных веществ**

В настоящее время известно около 7 млн. химических веществ, из которых 60 тыс. находят применение в производственной деятельности человека, от 500 до 1000 новых химических веществ ежегодно появляется на международном рынке.

**Вредными** являются вещества, которые при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений (ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация. Общие требования безопасности»).

Вредное действие могут оказывать практически все химические вещества. Еще знаменитый врач древности Парацельс отмечал, что *яд от лекарства отличает только доза*. Например, поваренная соль, которую большинство людей ежедневно употребляет в пищу, служила средством самоубийства в Древнем Китае. Человеку достаточно съесть 500 г соли, чтобы наступила смерть от сильнейшего обезвоживания организма.

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ**

По характеру воздействия на организм человека вредные вещества в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» подразделяются на следующие группы:

- общетоксические;
- раздражающие;
- sensibilizing;
- канцерогенные;
- мутагенные;



- влияющие на репродуктивную функцию.

Большинство промышленных вредных веществ обладает **общетоксическим действием**. К их числу относятся ароматические углеводороды и их производные (бензол, толуол, ксилол, нитробензол, анилин) ртуть и фосфорорганические соединения, тетраэтилсвинец, метиловый спирт, оксид углерода и т.д.

**Раздражающим действием** обладают различные химические вещества. Одни вызывают воспаление верхних дыхательных путей (сероводород, хлор, аммиак), другие — глубоких дыхательных путей, т.е. легочной ткани (оксид азота, ароматические углеводороды). Сильные кислоты и щелочи, многие ангидриды кислот оказывают местное действие на кожу, вызывая ее омертвление. Нефть и продукты ее переработки (бензин, керосин и др.), попадая на кожу обезжиривают и сушат ее, вызывая различные кожные заболевания (экземы, дерматиты).

**Сенсибилизирующие вещества** вызывают повышенную чувствительность (аллергические реакции) организма человека. При каждом повторном даже кратковременном контакте эффект действия на человека увеличивается, приводя к астматическим явлениям, кожным реакциям, изменениям состава крови. К веществам, вызывающим сенсибилизацию, относятся формальдегид, ароматические нитро-, нитрозо-, аминосоединения, карбонилы никеля, железа, кобальта, некоторые антибиотики, например, эритромицин и др.

**Канцерогенные вещества**, попадая в организм человека, вызывают образование, как правило, злокачественных или доброкачественных опухолей. Канцерогенная опасность зависит от уровней и длительности воздействия конкретных веществ.

В гигиенических нормативах ГН 1.1.029-95 приведен перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека. Перечень подразделяется на 2 раздела.

1. Вещества, продукты, производственные процессы и факторы с до-

казанной для человека канцерогенностью.

2. Вещества, продукты, лекарственные препараты и производственные процессы, вероятно канцерогенные для человека.

В раздел 1 входят асбесты, бензол, бенз(а)пирен, бериллий и его соединения, каменноугольные и нефтяные смолы, минеральные масла неочищенные и неполностью очищенные, сажи бытовые, этилена оксид и др. Производство кокса, переработка каменноугольной, нефтяной и сланцевой смол, газификация угля, производство резины и резинотехнических изделий и др. К бытовым и природным факторам с доказанной канцерогенностью относятся солнечная радиация и табачный дым, поскольку в нем содержится бенз(а)пирен.

В раздел 2 «Перечня» включены вещества и факторы, канцерогенность которых согласно данным МАИР (международного агентства по изучению рака) доказана на животных, а доказательства канцерогенности для человека недостаточны. Это, например, отработавшие газы дизельных двигателей, формальдегид и др.

**Мутагенные вещества** вызывают изменение генетического кода клеток, наследственной информации. Это может вызвать снижение иммунитета организма, раннее старение, развитие заболеваний. Действие мутагенных веществ может сказаться на потомстве, не всегда первого, а возможно второго и третьего поколений. Мутагенной активностью обладают формальдегид, этилена оксид, радиоактивные и наркотические вещества.

К веществам, влияющим на репродуктивную (детородную) функцию, относят бензол и его производные, сероуглерод, соединения ртути, радиоактивные вещества и др.

Среди веществ, влияющих на репродуктивную функцию, выделяется особая группа веществ, обладающих **тератогенным** действием. Тератогенные вещества вызывают дефекты развития ребенка в организме матери. К таким веществам относятся, например, талидомид, никотин, наркотики и некоторые вирусы, например вирус гепатита и т.д.

Существуют и другие классификации вредных веществ, например, по их преимущественному избирательному патологическому действию на определенные органы или системы организма человека:

- нервные (нейротропные), вызывающие расстройства функций центральной нервной системы, судороги, паралич (пары металлической ртути, марганец, соединения мышьяка, сероуглерод, углеводороды предельного, непредельного и циклического ряда, сероводород, тетраэтилсвинец, наркотические вещества и др.);

- печеночные (гепатотропные), вызывающие структурные изменения в ткани печени (хлорированные углеводороды - метилхлорид, метиленхлорид, хлороформ, четыреххлористый углерод, дихлорэтан и др.);

- кровяные, нарушающие процессы кроветворения (бензол, свинец и его неорганические соединения и др.) или взаимодействующие с гемоглобином крови (оксид углерода с образованием карбоксигемоглобина, а некоторые органические нитраты и нитриты с образованием метгемоглобина. Образовавшиеся соединения лишают гемоглобин его роли —переносчика кислорода из легких в ткани, вследствие чего развивается глубокая кислородная недостаточность, способная привести к летальному исходу);

- ферментные, нарушающие структуру ферментов, дезактивирующие их (синильная кислота и ее соли, мышьяк и его соединения, соли ртути, фосфорорганические соединения и др.);

- сердечные, обладающие кардиотоксическим действием (соли бария, кобальта, кадмия и др.);

- почечные, вызывающие патологические процессы в почках (ртуть, свинец, кадмий, литий, висмут и их соединения, соединения мышьяка, органические растворители и др.);

- раздражающие, преимущественно поражающие органы дыхания (хлор, аммиак, диоксид серы, оксиды азота, фосген и др.).

## ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ И ДЕЙСТВИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Вредные вещества могут поступать в организм человека через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, неповрежденную кожу и слизистые оболочки глаз. Через *дыхательные пути* вредные вещества проникают в организм в виде газов, паров, аэрозолей. Большая часть производственных отравлений (95-98%) возникает в результате вдыхания вредных веществ. Этому способствует большая поверхность пузырьков легочной ткани — альвеол (по подсчетам она составляет 100-120 м<sup>2</sup>), толщина же альвеолярных мембран колеблется в пределах 0,001- 0,004 мм, поэтому вредные вещества быстро поступают в кровь, которая транспортирует вредное вещество по всему организму.

Попадание вредных веществ через *желудочно-кишечный тракт* в производственных условиях наблюдается сравнительно редко. В полость рта вредные вещества чаще всего попадают при несоблюдении правил личной гигиены: с загрязненных рук при приеме пищи или курении. Возможно заглатывание вредных веществ из воздуха, если они задерживаются на слизистых оболочках носоглотки и полости рта.

Через *неповрежденную кожу* проникают вещества, хорошо растворимые в жирах и липоидах, в частности органические растворители (ацетон, бензол и др.), метанол, фенол, тетраэтилсвинец.

На *рис.1.7* показаны различные уровни, на которых могут быть обнаружены нарушения нормальных физиологических процессов в организме человека. Стрелками показаны последствия для человека, которые могут быть определены сверху вниз (от воздействия и фармакокинетики до токсического воздействия на систему/орган) или снизу вверх (от изменения молекул и клеточные/биохимические эффекты до токсического воздействия на системы/органы).

**Фармакокинетика** описывает временную зависимость между абсорбцией, распределением, метаболизмом и элиминацией.

*Абсорбция* — это поглощение организмом вещества из окружающей среды. Данный термин обычно обозначает не только прохождение через барьерную ткань, но и последующий перенос циркулирующей кровью.

*Распределение* вещества внутри организма является динамичным процессом, зависящим от скорости поступления и выведения, а также кровоснабжения различных тканей и их сродства с веществом.

*Метаболизм* — биохимические изменения веществ в организме. Обозначает происходящие в организме химические реакции распада или синтеза, где ферменты играют роль катализатора.



**Рис. 1.7. Действие вредных веществ на человека**

*Элиминация* — выведение химического вещества из организма.

Рассмотрим эти процессы подробнее. Распределение вредных веществ в организме подчиняется определенным закономерностям. Сразу же после поступления в кровь вещество разносится по всем тканям и органам и соответственно задерживается в них. В этой первой фазе распределения основное значение для вещества играет кровоснабжение ткани или органа — чем оно больше, тем больше содержание вещества. Таким образом, первоначально происходит динамическое распределение вещества в соответствии с интенсивностью кровоснабжения. Затем основную роль начинает играть сорбционная способность тканей. Постепенно происходит перераспределение веществ с преимущественным их накоплением в тканях, сорбционная емкость которых оказывается для данных веществ наибольшей. Например, для ряда металлов (серебро, марганец, хром, кобальт, ванадий, кадмий, цинк) характерно достаточно быстрое выведение из крови с наибольшим накоплением в печени и почках. Растворимые и хорошо диссоциирующие соединения свинца, бериллия, бария, урана образуют прочные связи с кальцием и фосфором и накапливаются преимущественно в костной ткани.

В крови и тканях происходят процессы физико-химического взаимодействия вредных веществ с клеточными мембранами, белковыми структурами и другими компонентами клеток и межтканевой среды. Биологическая направленность этих процессов — обезвреживание вредных веществ различными путями.

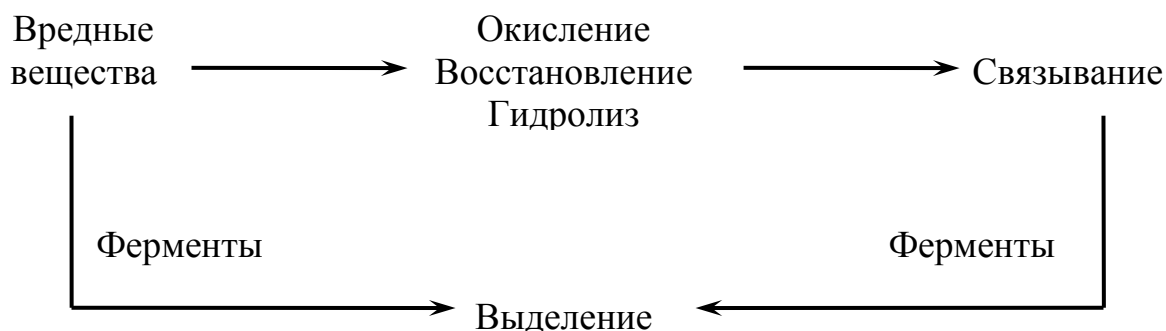
***Первый и главный путь обезвреживания*** — изменение химической структуры вредных веществ. Процессы метаболизма вредных веществ под действием ферментов многообразны и включают их окисление, восстановление, гидролиз и др. Это приводит, как правило, к образованию менее токсичных веществ, например, обладающих меньшей способностью проникать в клетку или большей растворимостью и, следовательно, лучше удаляемых из организма. Однако из этого общего правила есть исключения: так, например, метанол окисляется до более вреднодействующих

формальдегида и муравьиной кислоты, что увеличивает тяжесть отравления.

**Вторым путем** обезвреживания вредных веществ является их депонирование. Депонирование (откладывание в тех или иных органах) является временным путем уменьшения количества циркулирующего в крови вредного вещества. Например, тяжелые металлы (свинец, ртуть) часто откладываются в костях, печени, почках, образуя так называемые депо. Этот процесс не является полноценным методом обезвреживания, поскольку вредные вещества могут из депо вновь поступать в кровь, особенно при нервном напряжении, заболеваниях, приеме алкоголя.

**Третий путь** обезвреживания — выведение вредных веществ из организма. Токсичные вещества и их метаболиты выделяются через органы дыхания, пищеварения, через почки и кожу (с потом). При этом вредные вещества могут выделяться несколькими путями одновременно. Например, органические соединения ароматического ряда обычно частично выводятся в неизменном виде с выдыхаемым воздухом, а частично — в измененном виде через почки и желудочно-кишечный тракт, тяжелые металлы — через желудочно-кишечный тракт и почки.

Схема превращений вредных веществ в организме в самом общем виде представлена на *рис. 1.8*



**Рис. 1.8. Превращение вредных веществ в организме человека**

Под действием вредных веществ в организме человека происходят различные нарушения. Эти нарушения проявляются в виде острых, подострых и хронических отравлений.

*Острые профессиональные отравления* чаще всего бывают групповыми и возникают в случае аварий, поломок оборудования, грубых нарушений требований производственной безопасности и санитарии. Эти отравления характеризуются:

- кратковременностью действия вредного вещества - не более чем в течение одной смены;
- поступлением вредного вещества в организм в относительно больших количествах - при высоких концентрациях в воздухе, ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов;
- яркими клиническими проявлениями непосредственно в момент действия вредного вещества или через относительно небольшой - обычно несколько часов - скрытый (латентный) период.

В развитии острого профессионального отравления, как правило, имеются две фазы: первая — неспецифических проявлений (головная боль, слабость, тошнота и т.д.) и вторая — специфических (например, отек легких при отравлении оксидами азота или паралич дыхания при отравлении сероводородом).

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении вредных веществ в организм в относительно небольших количествах. Они развиваются в результате накопления массы вредного вещества в организме (материальная кумуляция) или вызываемых им нарушений (функциональная кумуляция). Поражаемые органы и системы в организме при хроническом и остром отравлениях одним и тем же веществом могут отличаться. Например, при остром отравлении бензолом в основном страдает нервная система и наблюдается наркотическое действие, при хроническом — система кроветворения.



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

Вредные вещества могут быть причиной не только острых, подострых и хронических отравлений, но и действовать аналогично ВИЧ, снижая иммунобиологическую сопротивляемость организма.

При повторяющемся воздействии небольших концентраций вредных веществ возможно развитие адаптации. Адаптация к действию химических веществ — приспособление организма, не выходящее за пределы его физиологических возможностей. Адаптацию к действию яда, например, успешно использовал граф Монте-Кристо в знаменитом романе Александра Дюма. Некоторые вещества — адаптогены (витамины, женьшень, элеутерококк и др.) способствуют активации биохимических процессов и повышают сопротивляемость организма многим вредными веществам.

Обезвреживание токсичных веществ, в том числе и их выведение, может быть ускорено с помощью антидотов (противоядий) и специального питания (молока).

## **ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**Токсичность** — это мера несовместимости вредного вещества с жизнью. Эффект токсического действия вредных веществ зависит от многих факторов: химического строения и физико-химических свойств, количества попавшего в организм вещества, пола, возраста, индивидуальной чувствительности, состояния окружающей среды (метеорологические условия, шум, вибрация и т.д.).

**Химическая структура и физико-химические свойства.** На *рис. 1.9* приведена схема взаимосвязи между химической структурой и

биологической активностью, предложенная российским токсикологом Н.В.Лазаревым. Согласно приведенной схеме большое влияние на степень токсичности оказывают физико-химические свойства вредных веществ: агрегатное состояние, летучесть, растворимость. Токсичность твердых и жидких веществ проявляется, в основном, тогда, когда они переходят в пылеобразное или парообразное состояние. Известно, что металлическая ртуть в виде жидкости не токсична, но очень опасна в виде паров. Низкокипящие жидкости (бензол, бензин) значительно более опасны, чем высококипящие (масла, мазут и др.).

Чем больше летучесть (максимально возможное содержание паров вещества в мг, содержащееся в единице объема воздуха — л или м<sup>3</sup> при данной температуре), тем большая концентрация вещества образуется в воздухе, увеличивая опасность отравления.

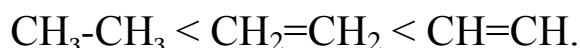
Растворимость различных соединений в воде близка к растворимости в крови. Поэтому увеличение растворимости влияет на скорость проникания вредных веществ и увеличивает токсическое действие. Кроме того установлено, что растворимость в значительной степени определяет характер действия. Чем больше растворимость вещества в липоидах (жироподобной ткани) по сравнению с растворимостью в воде, тем ярче выражено его нейротропное, наркотическое действие, так как нервная ткань богата липоидами.



**Рис. 1.9. Схема взаимосвязи между химическим строением и биологической активностью веществ**

Из приведенной выше схемы следует, что существует связь между химической структурой вещества и его токсическим действием. По правилу Ричардсона, которое применимо к алифатическим углеводородам и спиртам (кроме метилового), сила наркотического действия возрастает с увеличением числа атомов углерода в молекуле. В качестве примеров правила Ричардсона можно указать, что легкие бензины менее токсичны, чем тяжелые; бутиловый, амиловый и другие высшие спирты токсичнее, чем этиловый и пропиловый.

По правилу кратных связей химическая и биологическая активность веществ возрастает с увеличением числа ненасыщенных связей, т.е. с увеличением неопределенности. Так, токсичность возрастает в ряду этан, этилен, ацетилен:



По правилу разветвленных цепей токсичность снижается с увеличением разветвленности цепи. Это наблюдается среди углеводородов, являющихся изомерами. Например, изоктан менее токсичен, чем октан.

В ряде случаев токсичность вещества изменяется (возрастает или снижается) с изменением его валентности. Например, известно, что трехвалентный мышьяк ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) токсичнее пятивалентного ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ). Имеются, однако, и противоположные примеры: более токсичны высшие оксиды хрома и марганца, шестивалентные соединения хрома токсичнее трехвалентных.

Изменение характера действия, а часто и возрастание токсичности отмечаются при введении в молекулу атомов галогенов, металльных, амино- и нитрогрупп. Так, введение в молекулу органических соединений хлора или фтора придает им обычно раздражающие свойства и нередко увеличивает токсичность. Введение амино ( $\text{NH}_2$ ) — и нитрозо ( $\text{NO}$ ) —

групп превращает соединения в метгемоглобинообразователи, усиливает их нейротропное действие.

Введение же в молекулу гидроксильной группы уменьшает токсичность спирты менее токсичны, чем соответствующие углеводороды.

**Концентрация и продолжительность действия.** Токсический эффект в значительной степени определяется количеством поступившего в организм вещества. Для некоторых веществ имеет значение время воздействия. Определенную роль играет непрерывность и прерывистость воздействия.

В отношении многих веществ, поступающих в организм через дыхательные пути, установлено, что сила токсического действия ( $R$ ) находится в прямой зависимости от концентрации ( $c$ ) и времени воздействия ( $t$ ):  $R = ct$ .

Эта закономерность в большинстве случаев отражает зависимость эффекта от дозы, так как чем больше концентрация вещества в воздухе и продолжительнее действие, тем больше вещества поступает в организм.

Для некоторых веществ токсический эффект существенно зависит от фактора времени. К ним относятся вещества раздражающего действия, такие как фосген, сероводород, диоксид серы, ферментные, нарушающие обмен веществ, а также вещества, медленно насыщающие организм, например, ароматические углеводороды. Другую группу составляют вещества, токсический эффект действия которых почти не зависит от времени и определяется, главным образом, концентрацией (например, цианистый водород, многие летучие наркотики и др.).

На производстве, как правило, не бывает постоянных концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны в течение всего рабочего дня. Концентрации вредных веществ могут колебаться от нуля до превышающих предельно допустимые в зависимости от хода технологического процесса. В таких случаях имеет место *интермиттирующее воздействие* (от intermittent — перемежающийся, прерывистый). Как установлено в отношении многих вредных веществ окислы азота, окись углерода,

углеводороды), интермиттирующее действие дает более выраженный токсический эффект, чем непрерывное, что видимо, связано с нарушением процессов адаптации.

**Комбинированное действие вредных веществ.** Человек в условиях современного производства часто подвергается комбинированному действию вредных веществ. Комбинированное действие — это одновременное или последовательное действие на организм нескольких вредных веществ при одном и том же пути поступления. Различают несколько видов комбинированного действия.

*Аддитивное действие* (от англ. addition — сложение, дополнение) — суммарный эффект смеси равен сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется. Для гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия веществ используют выражение, предложенное А.Т. Аверьяновым:

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n < 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — концентраций каждого вещества в воздухе,  $\text{мг/м}^3$ ;  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — предельно допустимые концентрации этих веществ,  $\text{мг/м}^3$ .

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводородов.

*Потенцированное действие* (синергизм) — усиление эффекта, действие больше, чем аддитивное (от англ. potent — сильнодействующий). Компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Примером синергизма является действие сероводорода в смеси с углеводородами (характерный состав сероводородсодержащего природного газа). ПДК сероводорода составляет  $10 \text{ мг/м}^3$ , а для сероводорода в смеси с

углеводородами  $C_1$ - $C_5$  уменьшена до  $3 \text{ мг/м}^3$ . Диоксид углерода значительно усиливает токсические свойства ароматических углеводородов, поэтому в производствах, где используются эти вещества, нельзя газировать питьевую воду. Синергизм отмечен при совместном действии сернистого ангидрида и хлора, оксидов углерода и азота (продукты сгорания топлива). Алкоголь усиливает токсическое действие анилина, ртути и других веществ.

*Антагонистическое действие* — эффект комбинированного действия меньше ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект — меньше аддитивного. Примером может служить антидотное (обезвреживающее) взаимодействие между эзерином и атропином.

*Независимое действие* — компоненты смеси действуют на разные системы, токсические эффекты не связаны друг с другом. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например, бензол и раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли.

Наряду с комбинированным возможно *комплексное действие* вредных веществ, когда вредные вещества поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу). В связи с нарастающим загрязнением окружающей среды значение этого воздействия возрастает. *Влияние пола* в формировании токсического эффекта не является однозначным. К некоторым веществам более чувствительны женщины, к другим — мужчины. Отмечается большая чувствительность женского организма к действию некоторых органических растворителей, например, бензола. Установлено, что во время беременности опасность отравления повышается и отмечаются более тяжелые его формы. Некоторые вредные вещества, например соединения бора, обладают избирательной токсичностью в отношении гонад (половых органов) мужского организма.

Влияние возраста на проявление токсического эффекта при действии вредных веществ не является одинаковым. Одни вредные вещества оказываются более токсичными для молодых, другие — для старых; токсический эффект третьих не зависит от возраста. Организм подростков в 2-3 раза (до 10 раз в отношении некоторых веществ) более чувствителен к действию токсичных веществ, чем организм взрослых.

Индивидуальная чувствительность к действию вредных веществ выражена довольно значительно и зависит от особенностей течения биохимических процессов у разных людей. В обезвреживании веществ непосредственное участие принимает большая группа ферментов — так называемые ферменты детоксикации. Активность этих ферментных систем различна у разных лиц.

Индивидуальная чувствительность определяется и состоянием здоровья. Например, лица с заболеваниями крови более чувствительны к действию кроветворных токсичных веществ, с нарушениями со стороны нервной системы — к действию нейротропных веществ, с заболеваниями легких — к действию раздражающих веществ и пыли. Снижению сопротивляемости организма способствуют хронические инфекции, например гепатит.

На чувствительность организма к вредным веществам оказывает влияние и характер труда. При тяжелой физической работе усиливаются процессы дыхания и кровообращения, что ведет к ускоренному поступлению вредного вещества в организм.

**Состояние окружающей среды.** Токсический эффект является результатом взаимодействия вредного вещества, организма человека и факторов внешней среды. Установлено, что повышенный шум, вибрация, неблагоприятные микроклиматические условия (повышенная или пониженная температура, влажность воздуха), барометрическое давление увеличивают токсическое действие вредных веществ.

## КЛАССЫ ОПАСНОСТИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

По степени воздействия на организм человека все вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности (ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»):

- 1- вещества чрезвычайно опасные (3,4-бенз(а)пирен, тетраэтилсвинец, ртуть, озон, фосген и др.);
- 2- вещества высокоопасные (бензол, сероводород, оксиды азота, марганец, медь, хлор и др.);
- 3- вещества умеренно опасные (нефть, метанол, ацетон, сернистый ангидрид);
- 4- вещества малоопасные (бензин, керосин, метан, этанол и др.).

Следует отметить, что и вещества малоопасные в больших концентрациях могут вызвать тяжелые отравления.

Класс опасности вредного вещества устанавливают в зависимости от величины 7 показателей токсикометрии. Показатели токсикометрии — это количественные показатели токсичности и опасности вредного вещества. При оценке опасности для одного и того же вещества по ряду показателей можно получить разные классы, но определяющим должен быть показатель, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

**Предельно допустимая концентрация вредного вещества** в воздухе рабочей зоны — концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений, ПДК, мг/м.

**Рабочая зона** — пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих.



*Средняя смертельная доза* при введении в желудок — доза вещества, вызывающая гибель 50% животных (белых мышей) при однократном введении в желудок,  $DL_{50}^{ж}$ , мг/кг.

*Средняя смертельная доза* при нанесении на кожу — доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном нанесении на кожу,  $DL_{50}^{жк}$ , мг/кг.

*Средняя смертельная концентрация* в воздухе — концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при двух-, четырехчасовом ингаляционном воздействии,  $DL_{50}$ , мг/м .

Величины средних смертельных концентраций и доз, установленные непосредственно в эксперименте, рассматриваются как показатели абсолютной токсичности вредных веществ. Степень токсичности вещества тем больше, чем меньше величины  $DL_{50}$  и  $CL_{50}$ . Степень токсичности определяется отношением  $1/CL_{50}$  или  $1/DL_{50}$ .

***Коэффициент возможности ингаляционного отравления*** (КВИО) — отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей.

$$\text{КВИО} = C^{20} / CL_{50}.$$

КВИО объединяет два важнейших показателя опасности острого отравления: летучесть вещества и дозу, вызывающую наибольший биологический эффект, то есть гибель организма. Анализ оценки опасности различных вредных веществ по величине КВИО показывает, что в ряде случаев малотоксичное, но высоколетучее вещество в условиях производства может оказаться более опасным в развитии острого отравления, чем высокотоксичное, но малолетучее соединение. Так, например, ацетальдегид, обладая умеренной токсичностью ( $CL_{50} = 21800 \text{ мг/м}^3$ ), является высоколетучим ( $C^{20} = 182 \cdot 10^4 \text{ мг/м}^3$ ) и по величине КВИО относится к высокоопасным веществам (КВИО = 82).

*Зона острого (однократного) 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:  $Z_{ac} = DL_{50}/Lim_{ac}$ .

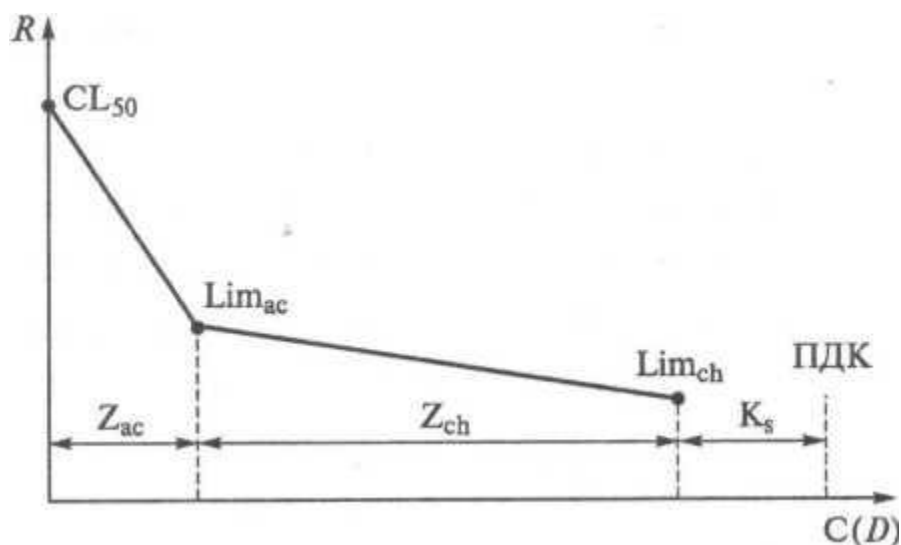
*Зона хронического действия* — отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по 4 часа, пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев:  $Z_{ch} = Lim_{ac}/Lim_{ch}$ ,

где  $Lim_{ac}$  — порог острого действия (от англ. limit — граница, предел и acute — острый);  $Lim_{ch}$  — порог хронического действия (от англ. chronic — хронический, длительный).

Зона острого действия характеризует способность организма к обезвреживанию и выведению вредного вещества и компенсации поврежденных функций. Чем меньше ее количественная характеристика, тем больше возможность развития острого отравления. При токсикологической оценке вредных веществ нельзя исходить только из результатов острых экспериментов, так как часто вредные вещества, обладающие низкой токсичностью в остром опыте, при хроническом воздействии в малых концентрациях оказываются высокоопасными.

Классическими примерами таких веществ являются ртуть, свинец, марганец и другие тяжелые металлы; среди органических соединений — бензол, тринитротолуол и др. Величина зоны хронического действия используется для характеристики опасности вещества при хроническом воздействии. Опасность хронического отравления прямо пропорциональна величине зоны хронического действия. Чем зона хронического действия шире, тем больше опасность хронической интоксикации и наоборот.

На *рис. 1.10.* приведена зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии.



**Рис.1.10. Зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии:**

$R$  — интенсивность вредного воздействия (летальное, острое, хроническое отравление);  $C(D)$  — параметры токсикометрии;  $CL_{50}$  — средняя смертельная концентрация в воздухе;  $Lim_{ac}$  — порог острого действия;  $Lim_{ch}$  — порог хронического действия; ПДК — предельно допустимая концентрация;  $Z_{ac}$ ,  $Z_{ch}$  — зоны острого и хронического действия (показаны на рис. условно);  $K_s$  — коэффициент запаса

## ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

При современном уровне развития производства требование полного отсутствия содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны является часто нереальным, требующим неоправданно больших материальных затрат. В связи с этим особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и ГН 2.2.5.686-98 «Предельно допустимые

концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» с дополнениями и изменениями от 10 марта 1998 г., 20 декабря 1999 г., 20 июля 2000 г.

При установлении ПДК вредных веществ руководствуются следующими основными принципами:

- Принцип пороговости действия всех типов вредных веществ (в том числе мутагенного и канцерогенного действия). Есть концентрации, при которых нет вредного воздействия на человека, при превышении порога происходит переход количества в качество и начинается вредное действие.

- Принцип приоритета медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов по сравнению с технической достижимостью и экономическими требованиями сегодняшнего дня.

- Принцип опережения токсикологических исследований и установления гигиенических нормативов по сравнению с внедрением вещества в производство.

Гигиеническое нормирование вредных веществ в настоящее время проводится в 3 этапа:

- обоснование ОБУВ (ориентировочного безопасного уровня воздействия);
- обоснование ПДК;
- корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья.

1 этап соответствует периоду лабораторной разработки новых соединений, 2 — периоду полужаводских испытаний, а 3 выполняется после внедрения вещества в производство в сроки, установленные в зависимости от токсикологической характеристики вещества и гигиенической характеристики производства.

Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.687-98 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»). Значение ОБУВ определяется путем расчета по параметрам токсикометрии и физико-химическим свойствам или путем интерполяций и экстраполяции в гомологических (близких по строению) рядах соединений. ОБУВ должны пересматриваться через 3 года после их утверждения или заменяться утвержденной в установленном порядке ПДК с учетом накопленных данных о соотношении здоровья работающих с условиями труда.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны является обязательным санитарным нормативом и устанавливается на основании медико-биологических исследований. Обоснование величины ПДК основывается на показателях токсикометрии, установленных в экспериментах на животных. Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия  $Lim_{ch}$ , в который вводится коэффициент запаса  $K_s$ :  $ПДК = Lim_{ch}/K_s$ .

ПДК устанавливают на уровне в 2... 3 раза более низком, чем  $Lim_{ch}$ . При определении *коэффициента запаса* учитывают следующее. Коэффициент запаса увеличивается с увеличением абсолютной токсичности и КВИО, с уменьшением зоны острого действия, увеличением зоны хронического действия, при наличии кумулятивных свойств и кожно-резорбтивного действия. При выявлении специфического действия — сенсibilизирующего, мутагенного, канцерогенного — принимаются наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более). Решение в каждом конкретном случае зависит от особенностей действия вредного вещества.

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимальные разовые ПДК<sub>мр</sub>. Превышение их даже в течение короткого времени запрещалось. В последние годы для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (медь, ртуть, свинец и его неорганические соединения, пыль металлической сурьмы, оксид кадмия и др.) для гигие-

нического контроля введена вторая величина — среднесменная концентрация ПДК<sub>сс</sub>. Это средняя концентрация, полученная при непрерывном или периодическом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены или средневзвешенная концентрация в течение всей смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

*Постоянное рабочее место* — место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% времени или более 2 ч непрерывно).

При отсутствии постоянных рабочих мест среднесменная концентрация определяется как средневзвешенная величина, вычисленная по концентрациям, определенным на основных стадиях технологического процесса с учетом времени пребывания работающих в этих условиях.

Среднесменная концентрация рассчитывается по формуле:

$$K_{cc} = (K_1 t_1 + K_2 t_2 + \dots + K_n t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n),$$

где  $K_{cc}$  — среднесменная концентрация;  $K_1, K_2, \dots, K_n$  — среднеарифметическая величина концентраций химического вещества на отдельных стадиях технологического процесса;  $t_1, t_2, \dots, t_n$  — продолжительность пребывания рабочих на соответствующих рабочих местах.

Первые ПДК для 40 веществ были установлены в СССР в 1924 г. В настоящее время установлены ПДК 2300 веществ и ОБУВ 511 веществ (на 1.09.1998 г.). Свои ПДК устанавливают еще только 19 стран мира, в США установлены гигиенические нормативы для 646 веществ, в ФРГ для 529 веществ. ПДК, установленные в России, являются наиболее низкими. Например, в США установлена величина — пороговый предел — TLV (threshold limit value), единицы измерения — ppm (part per million). Это концентрация вещества в воздухе, ежедневное воздействие которой не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья у большинства работающих.

Список ПДК вредных веществ непрерывно расширяется, а величины ПДК пересматриваются по мере накопления новых данных в гигиенической науке и практике. Так, например, ПДК бензола в несколько этапов была снижена с 200 до 5 мг/м<sup>3</sup>, анилина — с 10 до 0,1 мг/м<sup>3</sup>, ПДК же метана, наоборот, была увеличена с 300 до 7000 мг/м<sup>3</sup>.

Для веществ, обладающих кожно-резорбтивным действием (бензол, толуол, нитробензол, метанол и др.) устанавливается предельно допустимый уровень (ПДУ) загрязнения кожи (мг/см<sup>3</sup>) в соответствии с ГН 2.2.5.563-96 «Предельно-допустимые уровни (ПДУ) загрязнения кожных покровов вредными веществами».

## **ЗАЩИТА ОТ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, должны быть разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ, а также выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий, направленных на защиту работающих.

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при работе с вредными веществами должны предусматривать:

- замену более токсичных веществ менее токсичными. Например, свинцовые белила заменены цинковыми; бензол как наиболее опасный растворитель в ряде производств заменен толуолом, метиловый спирт в производстве жирных кислот заменен на бутиловый и т.д.;

применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами. Например, современные технологические процессы в химической, нефтехимической, нефтяной, газовой и др. отраслях

промышленности, как правило, полностью автоматизированы, управление технологическими процессами осуществляется дистанционно из операторных, расположенных на расстоянии от технологического оборудования, что защищает человека от воздействия вредных веществ;

- выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации при нормальном ведении технологического процесса;

- очистку технологических выбросов с целью улавливания, рекуперации и нейтрализации вредных веществ, содержащихся в отходящих газах, промывочных и сточных водах;

- наличие рабочей и аварийной вентиляции, средств дегазации, активных и пассивных средств взрывозащиты и взрывоподавления;

- рациональную планировку промышленных площадок и зданий;

- контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК. Периодичность контроля для веществ 1 класса — не реже 1 раза в 10 дней, 2 класса — не реже 1 раза в месяц, 3 и 4 классов — не реже 1 раза в квартал;

- включение токсикологических характеристик вредных веществ в технологические регламенты, стандарты на сырье, продукты и материалы;

- применение средств индивидуальной защиты. Для защиты работающих от действия вредных веществ (особенно при проведении плановых ремонтных работ и в аварийных ситуациях) основное значение имеют средства индивидуальной защиты органов дыхания — фильтрующие и изолирующие противогазы, спецодежда, спец обувь, защитные перчатки и специальные дерматологические средства — пасты и мази;

- специальную подготовку и инструктаж персонала, в том числе по оказанию неотложной доврачебной помощи пострадавшим при



отравлении;

- проведение предварительных (профессиональный отбор) и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами. Цель предварительного осмотра — не допустить к работе лиц с такими заболеваниями, которые могут обостриться при поступлении в организм даже небольших количеств токсичных веществ, а также тех, которые могут способствовать более быстрому развитию отравления (например, заболевания крови при работе с бензолом, заболевания нервной системы при работе с марганцем и т.д.). После поступления на работу, связанную с возможностью отравлений, работающие периодически, как правило, один раз в год, проходят диспансеризацию с целью выявления наиболее ранних признаков интоксикации и своевременного прекращения работы с вредными веществами;

- разработку медицинских противопоказаний для работы с конкретными вредными веществами. На ряд производств, где вредные вещества действуют на специфические функции организма, не допускаются женщины и подростки, например, алкилирование бензола пропиленом (бензол влияет на репродуктивную функцию).

## **ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ**

Методы контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны подразделяются на *непрерывные (автоматические), экспрессные (мгновенные) и лабораторные.*

Для постоянного контроля состояния воздушной среды наибольшее применение нашли *автоматические приборы* — газосигнализаторы, настроенные на определенный уровень загазованности. В случае превышения этого уровня приборы через систему автоматики подают звуковой и световой сигнал тревоги на пульт управления.

*Экспрессные методы* измерения выполняются с помощью газоанализаторов различного типа (оптических, электрических, термохимических и т.д.). Например, газоанализатор АНКАТ, измеряющий оксиды азота, оксиды серы, сероводород, оксид углерода или индикаторные трубки ТИ. В основе действия индикаторных трубок лежит колориметрический метод анализа. При прокачивании загрязненного воздуха происходит изменение окраски индикаторного порошка, которым заполнены трубки. Длина окрашенного слоя пропорциональна концентрации исследуемого вещества, измеряемой по шкале в мг/л.

Кроме российских приборов существует большое количество газоанализаторов известных зарубежных фирм, таких как «Auergesellschaft» концерна MSA (США), «Dräger» (ФРГ), «Treleborg» (Швеция) и др., которые составляют серьезную конкуренцию отечественным приборам.

Лабораторные методы исследований (фотометрические, хроматофические, спектроскопические и др.) отличаются высокой точностью, но требуют специального оборудования и реактивов для отбора проб и не всегда достаточно оперативны.

Определение содержания вредных веществ осуществляется в соответствии с Приложением 9 «Методика контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны» Р 2.2.755-99 и различными (для различных веществ) Методическими указаниями Минздрава РФ.

### **Защита от пыли**

Производственная пыль является наиболее распространенным вредным фактором производственной среды. Многочисленные технологические процессы и операции в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве сопровождаются образованием и выделением пыли, воздействию которой могут подвергаться большие контингента работающих.

В горнорудной промышленности значительное количество пыли возникает во время бурения и при взрывных работах, в угольной — при

работе комбайнов и породопогрузочных машин, при сортировке угля и т.д. Вся промышленность строительных материалов связана с процессами дробления, помола, смешения и транспортировки пылевидного сырья и продукта (цемент, кирпич, шамот и др.). В нефтяной и газовой промышленности пыль образуется при бурении скважин, проведении электросварочных работ, при неполном сгорании топлива. В химической и нефтехимической промышленности многие производства (например, катализаторное) также связаны с пылеобразованием.

В сельском хозяйстве пыль образуется при рыхлении и удобрении почвы, использовании порошкообразных пестицидов, очистке зерна и семян, хлопка, льна и др.

Пыль выводит из строя оборудование, снижает качество продукции, уменьшает освещенность производственных помещений, может быть причиной профессиональных заболеваний органов дыхания, поражения глаз и кожи, острых и хронических отравлений работающих.

Некоторые виды производственной пыли способны к самовозгоранию и даже взрыву, что позволяет относить *пыль не только к вредным, но и опасным производственным факторам.*

Поэтому борьба с пылью является важной гигиенической и социально-экономической задачей.

## **ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПЫЛИ**

**Производственной пылью** называют взвешенные в воздухе, медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков до долей мкм. Пыль представляет собой аэрозоль, т.е. дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой — воздух.

**Пыль** — это физическое состояние твердого вещества. Специфической особенностью пылевидного состояния является раздробленность вещества на мельчайшие частицы и, следовательно, чрезвычайно большая поверхность

твердых частиц, в связи с чем свойства пыли приобретают самостоятельное значение.

Измельчение 1 см<sup>3</sup> твердого тела до частиц размером 0,1 мкм увеличивают его общую поверхность с 6 см<sup>2</sup> до 600000 см<sup>2</sup>, т.е. в 100 тысяч раз.

**По происхождению** пыль разделяют на органическую, неорганическую и смешанную. **Органическая пыль** может быть естественной, животного или растительного происхождения (древесная, хлопковая, льняная, костяная, шерстяная и др.) и искусственной — пыль пластмасс, резины, смол, красителей и других синтетических веществ. **Неорганическая пыль** может быть минеральной (кварцевая, силикатная, асбестовая, цементная, наждачная, фарфоровая и др.) и металлической (цинковая, железная, медная, свинцовая, марганцевая). В условиях производства особенно распространена пыль смешанного состава, состоящая из минеральных и металлических частиц (например, смесь пыли железа и кремния), органическая и неорганическая (например, пыль злаков и почвы).

В зависимости **от способа образования** различают аэрозоли дезинтеграции и аэрозоли конденсации. **Аэрозоли дезинтеграции** образуются при механическом измельчении, дроблении и разрушении твердых веществ (бурение, дробление, размол и др.), при механической обработке изделий (шлифовка, полировка и др.).

**Аэрозоли конденсации** образуются при термических процессах возгонки твердых веществ (плавление, электросварка и др.) вследствие охлаждения и конденсации паров металлов и неметаллов. Типичным примером образования аэрозоля конденсации из перенасыщенных паров является так называемый сварочный аэрозоль. Металл, входящий в состав стержня сварочного электрода, а также компоненты обмазки электрода и флюса в значительной мере испаряются при температуре электрической дуги, а попав в более холодную зону, конденсируются в виде мельчайших частиц окислов железа и других элементов.

Нередко встречаются аэрозоли, дисперсная фаза которых содержит частицы, образующиеся как при измельчении, так и конденсации паров (шлифовально-полировальные, заточные работы и др.).

В зависимости от размера частиц (дисперсности) различают видимую пыль размером более 10 мкм (быстро выпадающую из воздуха) микроскопическую — размером от 0,25 до 10 мкм (медленно выпадающую из воздуха), ультрамикроскопическую — менее 0,25 мкм (длительно витающую в воздухе по законам броуновского движения). Производственная пыль, как правило, **полидисперсна**, т.е. в воздухе встречаются одновременно пылевые частицы различных размеров. В любом образце пыли обычно число мелких частиц больше, чем крупных. В большинстве случаев до 60... 80% частиц пыли имеют диаметр до 2 мкм, 10... 20% — от 2 до 5 мкм и до 10% — свыше 10 мкм. Однако общий вес пылевых частиц от 2 мкм весьма незначителен и обычно не превышает 1...3% веса всего образца пыли.

## **ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛИ**

Пыль характеризуется совокупностью свойств, определяющих поведение ее в воздухе, превращение и действие на организм человека. Из различных свойств пыли наибольшее значение имеют химический состав, растворимость, дисперсность, взрывоопасность, форма частиц, электрозаряженность, адсорбционные свойства.

**Химический состав пыли.** В зависимости от состава пыль может оказывать на организм фиброгенное, раздражающее, токсическое, аллергическое действие.

Пыль некоторых веществ и материалов (стекловолокна, слюды и др.) оказывает раздражающее действие на верхние дыхательные пути, слизистую оболочку глаз, кожи.

Пыли токсичных веществ (свинца, хрома, бериллия и др.), попадая через легкие в организм человека, оказывают характерное для них токсическое действие в зависимости от их физико-химических и химических свойств.

**Фиброгенным** называется такое действие пыли, при котором в легких происходит разрастание соединительной ткани, нарушающее нормальное строение и функции органа.

Очень высокой фиброгенной активностью обладает диоксид кремния или кремнезем. «Как углерод составляет главную и чрезвычайно существенную часть животных и растительных веществ, так кремний составляет существенную часть земных, в особенности горных образований» (Д.И. Менделеев). После кислорода кремний является наиболее распространенным элементом на земле. Он составляет 27,6% массы земной коры, которая в значительной степени построена из различных его соединений, главным образом кремнезема и силикатов (солей кремневой кислоты).

**Растворимость пыли**, зависящая от ее химического состава, может иметь как положительное, так и отрицательное гигиеническое значение. Если пыль не токсична, как, например, сахарная, то хорошая растворимость такой пыли — благоприятный фактор, который способствует быстрому удалению ее из легких. В случае токсичной пыли (никеля, бериллия) хорошая растворимость сказывается отрицательно, так как в этом случае токсичные вещества попадают в кровь и приводят к быстрому развитию явлений отравления.

Нерастворимая, в частности, волокнистая пыль надолго задерживается слизистой оболочкой дыхательных путей, нередко приводя к патологическому состоянию.

**Дисперсность пыли.** Дисперсность производственной пыли имеет большое гигиеническое значение, так как от размера пылевых частиц зависит длительность пребывания пыли в воздухе и характер воздействия на органы дыхания. В легкие при дыхании проникает пыль размером от 0,2 до 5 мкм. Более крупные пылинки задерживаются слизистой оболочкой верхних дыхательных путей, а более мелкие — выдыхаются. Дисперсность частиц имеет значение не только для элиминации пыли из легких. От величины частиц зависит степень фиброгенного действия пыли. С повышением

дисперсности степень биологической агрессивности пыли увеличивается до определенного предела, а затем уменьшается. Наибольшей фиброгенной активностью обладают аэрозоли дезинтеграции с размером пылинок от 1... 2 до 5 мкм и аэрозоли конденсации с частицами менее 0,3... 0,4 мкм.

Уменьшение фиброгенности аэрозоля конденсации диоксида кремния с размером частиц 0,05 мкм и менее объясняется тем, что скорость выведения его из легких опережает темпы проявления токсичности.

**Взрывоопасность** является важным свойством некоторых пылей. Пылевые частицы, сорбируя кислород воздуха, становятся легко воспламеняющимися при наличии источников зажигания. Известны взрывы каменноугольной, сахарной, мучной пыли. Способностью взрываться и воспламеняться при наличии источника зажигания обладают также крахмальная, сажевая, алюминиевая, цинковая и некоторые другие виды пылей.

Для различных пылей взрывоопасная концентрация вещества неодинакова. Для пыли крахмальной, алюминиевой и серной минимальной взрывоопасной концентрацией является  $7\text{ г/м}^3$  воздуха, для сахарной —  $10,3\text{ г/м}^3$ .

Кроме того значительные концентрации пыли в воздухе снижают видимость вследствие поглощения светового потока плотными частицами и рассеяния света..

Форма пылинок влияет на устойчивость аэрозоля в воздухе и поведение в организме/Форма пылевых частиц, образующихся в производственных условиях, может быть различной: сферической, плоской, волокнистой, оскольчатой, игольчатой и др.

При образовании аэрозолей конденсации пылинки большей частью имеют округлую форму, а в составе аэрозолей дезинтеграции — неправильную многоугольную, плоскую форму. Частицы сферической формы быстрее выпадают из воздуха, но и легче проникают в легочную ткань. Пылевые частицы слюды, имеющие пластинчатую форму, и пыль стекловолокна, имеющая игольчатую форму, могут длительно витать в воздухе, даже если размер их равен 50 мкм и более. Нитевидные частицы асбеста, хлопка, пеньки

и др. практически не оседают из воздуха, даже если длина их превышает сотни и тысячи микрон. Пылинки стекловолокна, асбеста и других, имеющих острые края, попадая на слизистые оболочки верхних дыхательных путей, глаз и кожу, могут оказывать травмирующее и раздражающее действие.

**Электрозаряженность** пылевых частиц влияет на устойчивость аэрозоля и его биологическую активность. В момент образования пыли (бурение, дробление, измельчение твердых веществ) большинство частиц (85-95%) приобретает электрический заряд обоих знаков — положительный и отрицательный. Часть пыли заряжается за счет адсорбции ионов из воздуха, а также в результате трения частиц в пылевом потоке. Величина наведенных зарядов различна и зависит от размеров, условий образования и массы частиц. Установлено, что крупные пылинки несут большой заряд. Наличие разноименно заряженных частиц пыли приводит к укрупнению и выпадению частиц пыли из воздуха. Установлено, что пылинки, несущие электрический заряд, несколько дольше задерживаются в организме. Аэрозоли дезинтеграции имеют большую величину заряда, чем аэрозоли конденсации.

Адсорбционные свойства пыли находятся в зависимости от дисперсности и суммарной поверхности. Чем меньше раздроблено вещество, тем больше его суммарная поверхность и адсорбционная активность.

Пыль может быть носителем микробов, грибов, клещей. Описаны легочные формы сибирской язвы у рабочих, вдыхающих пыль шерсти.

## **ДЕЙСТВИЕ ПЫЛИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

*Профессиональные заболевания* под действием пыли относятся к числу наиболее тяжелых и распространенных во всем мире профессиональных заболеваний. Основными пылевыми профессиональными заболеваниями являются пневмокониозы, хронический бронхит и заболевания верхних дыхательных путей.



Производственная пыль может быть причиной возникновения не только *заболеваний дыхательных путей, но и заболеваний глаз (конъюнктивиты) и кожи (шелушение, огрубление, экземы, дерматиты).*

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ПЫЛЬЮ**

Борьба с пылью на производстве и профилактика заболеваний, развивающихся от воздействия аэрозолей, осуществляется комплексом санитарно-гигиенических, технологических, организационных и медико-биологических мероприятий.

**Гигиеническое нормирование.** Основой проведения мероприятий по борьбе с пылью является гигиеническое нормирование содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны. Так, например, для аэрозолей, способных вызвать выраженный пневмокониоз, ПДК не превышает  $1...2\text{мг/м}^3$ ; для аэрозолей, оказывающих фиброгенное действие средней выраженности, —  $4... 6\text{ мг/м}^3$ , для аэрозолей с незначительной фиброгенностью —  $8... 10\text{ мг/м}^3$ . Уровень допустимого содержания пыли с выраженным токсическим действием для большинства веществ значительно меньше  $1\text{ мг/м}^3$ . В настоящее время установлены ПДК более чем для 100 видов пыли, оказывающих фиброгенное действие.

**Технологические мероприятия.** В борьбе с образованием и распространением пыли наиболее эффективны технологические мероприятия. К ним относятся:

- внедрение непрерывной технологии производства, при которой отсутствуют ручные операции;
- автоматизация и механизация процессов, сопровождающихся выделением пыли;
- рационализация технологического процесса, обработка пылящих материалов во влажном состоянии, например, внедрение мокрого бурения в горнорудной и угольной промышленности (бурение с промывкой канала водой);

- дистанционное управление;
- герметизация и изоляция пылящего оборудования, работа такого оборудования под вакуумом;
- устройство местных вентиляционных отсосов, вытяжной или приточно-вытяжной вентиляции. Удаление пыли происходит непосредственно от мест пылеобразования. Перед выбросом в атмосферу запыленный воздух очищается с помощью пылеуловителей различной конструкции.

Например, частыми видами работ, при которых наблюдается интенсивное загрязнение воздуха пылью, являются транспортировка, погрузка, разгрузка и затаривание сухих, пылящих материалов. Улучшение условий труда при этих процессах достигается переходом на закрытые способы транспортировки и механизацию отдельных операций. Пневмотранспорт, т.е. перемещение материалов по трубам с помощью сжатого воздуха, герметичность оборудования для погрузочно-разгрузочных операций, современные машинные методы расфасовки и упаковки готовой продукции — все это широко применяется во многих производствах и дает хороший гигиенический эффект.

**Организационные мероприятия.** Для горных рабочих установлены: сокращенный рабочий день, дополнительный отпуск, выход на пенсию по возрасту в 50 лет. Используется защита временем при работе в условиях повышенной запыленности. В соответствии с российским трудовым законодательством на работы в подземных условиях не допускаются лица моложе 20 лет, так как пневмокониозы в молодом возрасте развиваются раньше и протекают тяжелее. Обязательным является проведение предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров. Противопоказаниями к приему на работу, связанную с воздействием пыли, являются все формы туберкулеза, хронические заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, глаз, кожи.

**Средства индивидуальной защиты** — респираторы, специальные шлемы и скафандры с подачей в них чистого воздуха применяются в тех случаях, когда не удастся снизить запыленность воздуха в рабочей зоне до допустимых пределов более радикальными технологическими мероприятиями. (Подробно средства индивидуальной защиты будут рассматриваться позднее.) К индивидуальным средствам защиты от пыли относятся также защитные очки, специальная противопылевая одежда, защитные пасты и мази.

**Медико-биологические мероприятия** направлены на повышение сопротивляемости организма человека и ускорение выведения из него пыли. Сопротивляемость развитию пылевого поражения повышается при ультрафиолетовом облучении в фотариях, применении щелочных ингаляций и специального питания.

#### **Предельно допустимые концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (извлечение из ГН 2.2.5.686-98)**

### **ЗАЩИТА ВРЕМЕНЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АЭРОЗОЛЕЙ ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ФИБРОГЕННОГО ДЕЙСТВИЯ (АПФД)**

Для оценки степени воздействия пыли на органы дыхания работающих рассчитывают *пылевую нагрузку* за весь период реального или предполагаемого контакта с пылью. В случае превышения среднесменной ПДК фиброгенной пыли расчет пылевой нагрузки является обязательным.

**Пылевая нагрузка (ПН)** на органы дыхания работающего — это реальная или прогнозная величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую рабочий вдыхает за весь период фактического или предполагаемого профессионального контакта с пылью.

ПН на органы дыхания рабочего рассчитывается исходя из:

- фактических среднесменных концентраций АПФД в воздухе рабочей зоны;

- объема легочной вентиляции, зависящего от тяжести труда;
- продолжительности контакта с пылью:  $H = KNTQ$ ,

где  $K$  — фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника,  $\text{мг/м}^3$ ;  $N$  — число рабочих смен в календарном году;  $T$  — количество лет контакта с АПФД;  $Q$  — объем легочной вентиляции за смену,  $\text{м}^3$ .

Рекомендуется использовать следующие усредненные величины объемов легочной вентиляции, которые зависят от уровня энергозатрат и, соответственно, от категории работ согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»:

- для работ категории Ia—16 объем легочной вентиляции за смену —  $4\text{м}^3$ ;
- для работ категории Па-Пб —  $7\text{м}^3$ ;
- для работ категории Ш-10  $\text{м}^3$ .

Полученные значения фактической ПН сравнивают с величиной контрольной пылевой нагрузки, значение которой рассчитывают в зависимости от фактического или предполагаемого стажа работы, предельно допустимой концентрации пыли и категории работ.

**Контрольный уровень пылевой нагрузки (КПН)** — это пылевая нагрузка, сформировавшаяся при условии соблюдения среднесменной ПДК пыли в течение всего периода профессионального контакта с фактором:  $\text{КПН} = \text{ПДК}_{\text{СС}}NTQ$ ,

где  $\text{ПДК}_{\text{СС}}$  — среднесменная предельно допустимая концентрация пыли в зоне дыхания работника,  $\text{мг/м}^3$ . Зона дыхания — пространство радиусом 0,5 м от лица работающего.

Для расчета допустимого стажа работы в условиях запыленности необходимо сопоставление фактических и контрольных уровней пылевой нагрузки. В случае превышения КПН рассчитывают стаж работы, при котором ГТН не будет превышать КПН. При этом КПН рекомендуется

определять за средний рабочий стаж, равный 25 годам. Тогда допустимый стаж работы в данных условиях ( $T_1$ ) определяется по формуле:  $T_1 = KPH_{25}/(KNQ)$ .

## **ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ**

Методы определения запыленности воздуха разделяют на две группы:

- с выделением дисперсной фазы из аэрозоля — весовой (гравиметрический), счетный (кониметрический), радиоизотопный, фотометрический;
- без выделения дисперсной фазы из аэрозоля — фотоэлектрические, оптические, акустические, электрические.

В основу **гигиенического нормирования** содержания пыли в воздухе рабочей зоны положен весовой метод. Метод основан на протягивании запыленного воздуха через специальный фильтр, задерживающий пылевые частицы. Зная массу фильтра до и после отбора пробы, а также количество отфильтрованного воздуха, рассчитывают содержание пыли в единице объема воздуха.

Для отбора проб рекомендуется использовать аспиратор модели 822 или автоматический одноканальный пробоотборник АПП-6-1. Методы и аппаратура, используемые для определения концентрации пыли, должны обеспечивать определение величины концентрации пыли на уровне 0,3 ПДК с относительной стандартной погрешностью, не превышающей  $\pm 40\%$  при 95% вероятности. При этом для всех видов пробоотборников относительная стандартная ошибка определения пыли на уровне ПДК не должна превышать  $\pm 25\%$ . Для отбора проб рекомендуется использовать фильтры АФА-ВП-10, 20, АФА-ДП-3.

Суть **счетного способа** состоит в следующем: проводится отбор определенного объема запыленного воздуха, из которого частички пыли осаждаются на специальный мембранный фильтр (рекомендуется использовать мембранные фильтры «Миллипор» — Франция). После чего

проводится подсчет числа пылинок, исследуется их форма и дисперсность под микроскопом. Концентрация пыли при счетном методе выражается числом пылинок в  $1 \text{ см}^3$  воздуха.

**Радиоизотопный метод** измерения концентрации пыли основан на свойстве радиоактивного излучения (обычно  $\alpha$ -излучения) поглощаться частицами пыли. Концентрацию пыли определяют по степени ослабления радиоактивного излучения при прохождении через слой накопленной пыли (концентратор радиоизотопный «Прима» модели 01 и 03).

Минздравом утверждены **нормативные документы** по определению содержания пыли:

МУ № 4436-87 «Измерение концентраций аэрозолей преимущественно фиброгенного действия»;

МУ № 4945-88 «Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы)».

## **ТЕМА 2: ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ**

**Вентиляцией** называется организованный и регулируемый воздухообмен.

**Назначение вентиляции** — обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция используется для удаления из производственного помещения загрязненного или перегретого (охлажденного) воздуха и подачи вместо него чистого и охлажденного (нагретого) воздуха. В результате этого в рабочей зоне создаются необходимые благоприятные условия воздушной среды.

Устройство и эксплуатация вентиляционных систем регламентируются нормативными документами:

- СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
- ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования».

Рационально спроектированные и правильно эксплуатируемые вентиляционные системы способствуют улучшению самочувствия работающих, повышению производительности труда.

## 2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

По способу перемещения воздуха в рабочих помещениях вентиляция делится на *естественную* и *искусственную* или механическую. При **естественной вентиляции** перемещение воздуха происходит под влиянием естественных факторов (теплового напора или действия ветра). При искусственной вентиляции воздух перемещается с помощью механических устройств (вентиляторов, эжекторов и др.).

В зависимости от назначения вентиляция бывает **приточная** (для подачи воздуха), **вытяжная** (для удаления воздуха) или **приточно-вытяжная** (одновременно для подачи и удаления воздуха) и системы с рециркуляцией.

**Приточная общеобменная** вентиляция распределяет свежий воздух, взятый из места вне здания по всему объему помещения. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого загрязненный воздух вытесняется через двери, окна, фонари или щели строительных конструкций. Приточную систему применяют для вентиляции помещений, в которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне.

**Вытяжная общеобменная** вентиляция удаляет загрязненный воздух из всего объема помещения. При этом в помещении создается пониженное давление, и чистый воздух для замещения удаленного подсасывается извне через двери, окна, щели строительных конструкций. Вытяжную систему целесообразно применять в том случае, когда загрязненный воздух данного помещения не должен попадать в соседние, например, во вредных цехах, химических и биологических лабораториях.

**Приточно-вытяжная общеобменная** вентиляция имеет две отдельные системы: через одну подается чистый воздух, через другую удаляется загрязненный.

Приточно-вытяжная вентиляция может быть организована с рециркуляцией воздуха, заключающейся в том, что часть удаляемого из помещения воздуха не выбрасывается наружу, а возвращается из вытяжной системы в приточную по специальному воздуховоду. Целью рециркуляции является экономия тепла в зимнее время, поскольку рециркуляционный воздух возвращает в помещение затраченное на его нагрев тепло. Порция свежего воздуха в таких системах составляет 10...20% общего количества подаваемого воздуха. Систему вентиляции с рециркуляцией разрешается использовать только для тех помещений, в которых отсутствуют выделения вредных веществ или выделяющиеся вещества относятся к 4-му классу опасности, и концентрация их в воздухе, подаваемом в помещение, не превышает 30% ПДК. Применение рециркуляции запрещено, если в воздухе содержатся болезнетворные вирусы, бактерии и грибки или имеются резко выраженные неприятные запахи.

**По месту действия** вентиляция бывает общеобменной, местной и комбинированной.

**При общеобменной** вентиляции смена воздуха происходит во всем объеме помещения. Эту систему вентиляции наиболее часто применяют в случаях, когда вредные вещества, теплота, влага выделяются равномерно по всему помещению. При такой системе вентиляции обеспечивается поддержание необходимых параметров воздушной среды во всем объеме помещения (рис. 2.1, а).

Назначением **местной** вентиляции является удаление вредных выделений непосредственно от мест их образования и предотвращение их перемешивания с воздухом помещения. Например, если помещение очень велико, а число людей, находящихся в нем мало, причем место их

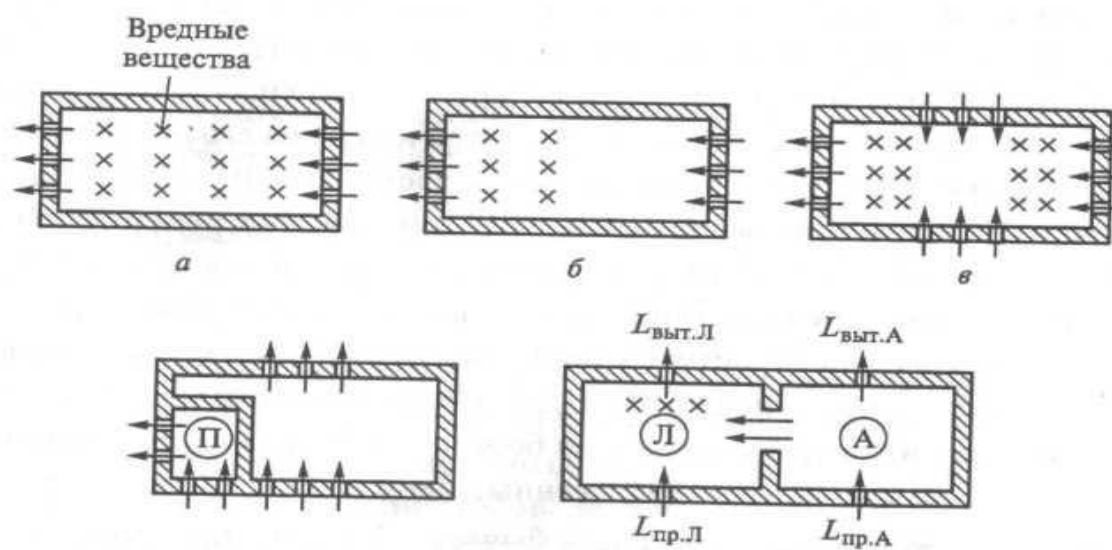


нахождения фиксировано, имеет смысл (из экономических соображений) ограничиться оздоровлением воздушной среды только в местах нахождения людей. Примером такой вентиляции могут служить кабины наблюдения и управления в прокатных цехах, в которых устраивается местная приточно-вытяжная вентиляция, рабочие места в химических лабораториях, оборудованные местными вытяжными шкафами.

***Местная вентиляция по сравнению с общеобменной требует значительно меньше затрат на устройство и эксплуатацию.***

В производственных помещениях, где возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны больших количеств вредных газов и паров при нарушении технологического режима или авариях, наряду с рабочей предусматривается устройство аварийной вентиляции. Аварийная вентиляция, как правило, проектируется вытяжной.

На производстве часто устраивают комбинированные системы вентиляции: общеобменную с местной (рис. 2.1, з), общеобменную с аварийной.



**Рис. 2.1. Системы вентиляции:**

а, б, в — общеобменная; г — общеобменная и местная; д — организация воздухообмена; П — помещение пульта управления, А — аудитория, Л — лаборатория

## 2.2. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ СИСТЕМАМ

Для эффективной работы системы вентиляции важно, чтобы еще на стадии проектирования были выполнены определенные санитарно-гигиенические и технические требования:

- Количество приточного воздуха  $L_{ПР}$  должно соответствовать количеству удаляемого  $L_{ВЫГ}$  (вытяжки). Разница между ними должна быть минимальной.

$$L_{ПР} = L_{ВЫГ}$$

*Такой вентиляционный баланс называется уравновешенным.*

Однако в ряде случаев необходимо так организовать воздухообмен, чтобы одно количество воздуха было больше другого.

Если,  $L_{ПР} > L_{ВЫГ}$  вентиляционный баланс считается положительным, имеется некоторое избыточное давление в помещении.

Если же  $L_{ПР} < L_{ВЫГ}$ , то вентиляционный баланс считается отрицательным, т.е. имеется некоторое разряжение.

Например, при проектировании вентиляции двух смежных помещений, в одном из которых выделяются вредные вещества: химической лаборатории в вузе и учебной аудитории (рис.2.1, д). Количество удаляемого из лаборатории воздуха должно быть больше количества приточного воздуха, т.е.  $L_{ВЫГ\ л} > L_{ПР\ л}$ . В результате этого в лаборатории создается небольшое разряжение, и незагрязненный воздух из аудитории, где  $L_{ПР\ ауд} > L_{ВЫГ\ ауд}$  с небольшим избыточным давлением будет попадать в лабораторию, не давая возможности вредным веществам попадать в аудиторию.

Возможны такие схемы организации воздухообмена, когда во всем помещении поддерживается избыточное по отношению к атмосферному давление. Например, в цехах электровакуумного производства, для которого особенно важно отсутствие пыли, проникающей через различные

неплотности в ограждениях. Количество приточного воздуха делается больше удаляемого, за счет чего и создается избыточное давление. В общем случае разница между объемами приточного и вытяжного воздуха не должна превышать 10... 15%.

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, где выделения максимальны (*рис. 2.1, б, в*).

Приток воздуха должен производиться, как правило, в рабочую зону, а вытяжка — из верхней зоны помещения. В ряде случаев при удалении вредных газов и паров с плотностью большей, чем у воздуха, например, сероводорода, оксидов азота, ароматических углеводородов и др., вытяжку можно производить из нижней зоны.

- Система вентиляции **не должна** вызывать переохлаждения и перегрева работающих.
- Система вентиляции **не должна** создавать шум на рабочих местах, превышающий предельно допустимый уровень.
- Система вентиляции **должна** быть электро-, пожаро-, взрывобезопасна, надежна в эксплуатации и эффективна.

### 2.3. ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Воздухообмен при естественной вентиляции происходит в результате разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, а также в результате действия ветра.

Разность температур воздуха внутри (более высокая температура) и снаружи помещения, а следовательно и разность плотностей вызывают поступление в помещение холодного воздуха и вытеснение из него теплого. При действии ветра с заветренной стороны здания создается разрежение, вследствие чего происходит вытяжка теплого и загрязненного воздуха из

помещения, с наветренной стороны здания создается избыточное давление, и свежий воздух поступает в помещение на смену вытягиваемому воздуху.

Естественная вентиляция производственных помещений может быть неорганизованной и организованной.

При **неорганизованной вентиляции** поступление и удаление воздуха происходит через неплотности и поры наружных ограждений (инфильтрация), через окна, форточки, специальные проемы (проветривание).

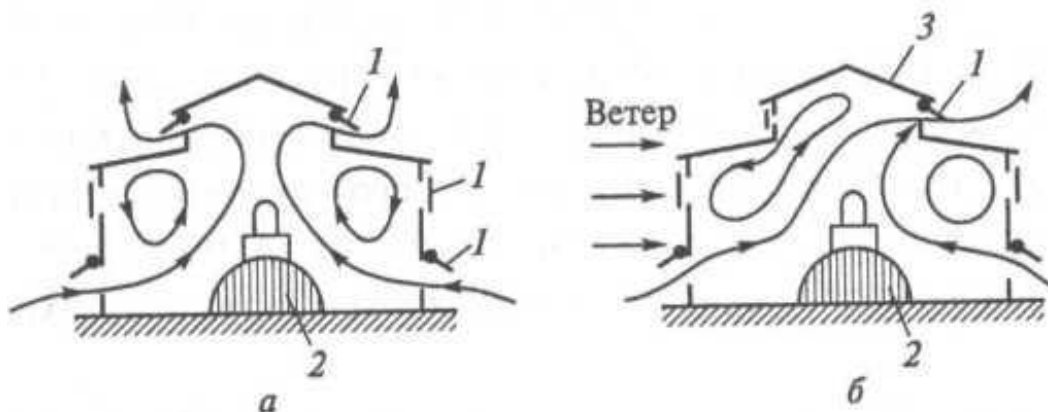
Инфильтрация может быть значительной для жилых зданий и достигать 0,5...0,75 объема помещения в час, а для промышленных предприятий — до 1...1,5 ч<sup>-1</sup>.

**Организованная** (поддающаяся регулировке) естественная вентиляция производственных помещений осуществляется аэрацией и дефлекторами.

**Аэрацией** называется организованная естественная общеобменная вентиляция помещений в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон и фонарей. Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг (в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра).

Здание оборудовано двумя рядами оконных проемов с фрамугами. На крыше вентилируемого помещения устраиваются вытяжные аэрационные фонари с фрамугами, также открывающимися с земли. Наружный воздух, имеющий более низкую температуру и большую плотность, чем воздух внутри помещения, поступает через нижние проемы (1...1,5 м от пола) и, вытесняя воздух, находившийся в помещении, выходит наружу через проемы в фонаре здания (рис. 2.2, а).

В зимнее время поступление свежего воздуха осуществляется через проемы, расположенные на высоте 4...7 м от пола. Высота принимается с таким расчетом, чтобы холодный наружный воздух, опускаясь до рабочей зоны, успел достаточно нагреться за счет перемешивания с теплым воздухом помещения. Меняя положение створок, можно регулировать воздухообмен.



## 2.2. Аэрация здания:

а) – при безветрии, б) – при ветре; 1- нижний, верхний ярус оконных проёмов, проёмы в фанаре здания; 2 – выделяющий теплоагрегат; 3 – аэрационный фанарь.

Расчетный тепловой напор ( $\Pi_a$ ) определяется выражением:

$$\Delta p_m = g \cdot h \cdot (\rho_n - \rho_v),$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $h$  — вертикальное расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий,  $\text{м}$ ;  $\rho_n$  и  $\rho_v$  — плотность наружного и внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ .

Ветер усиливает аэрацию (рис. 10.2, б). Ветровой напор ( $\Pi_a$ ) определяется выражением:  $\Delta p_v = k_A \frac{w_v^2}{2} \rho_n$ ,

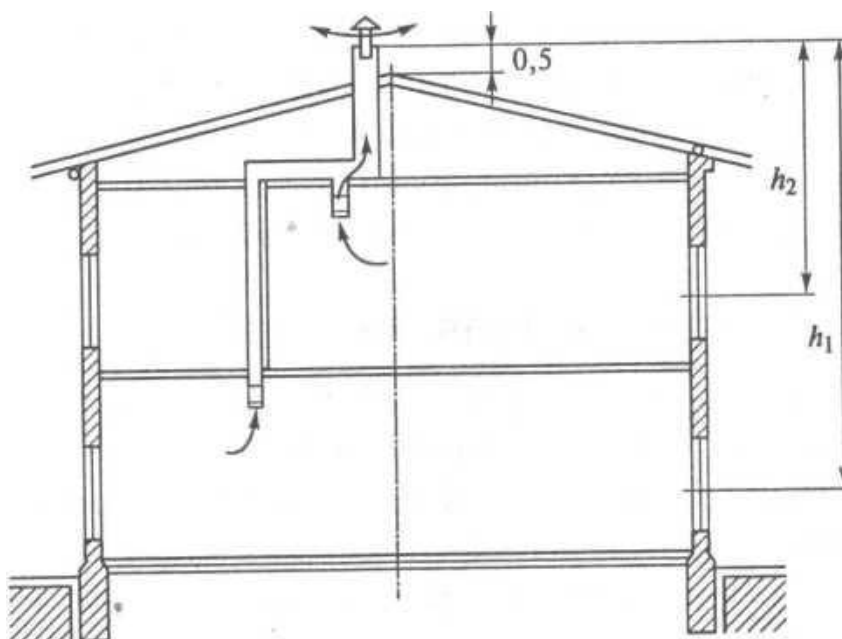
где  $k_A$  — коэффициент аэродинамического сопротивления здания. Значение  $k_A$  не зависит от ветрового потока, а определяется эмпирическим

путем и для геометрически подобных зданий остается постоянным;  $\omega_в$  — скорость ветрового потока, м/с.

Расчетная разность давлений определяется как сумма теплового и ветрового напоров:

$$\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_в = g \cdot h \cdot (\rho_n - \rho_в) + k_A \frac{\omega_в^2}{2} \rho_n.$$

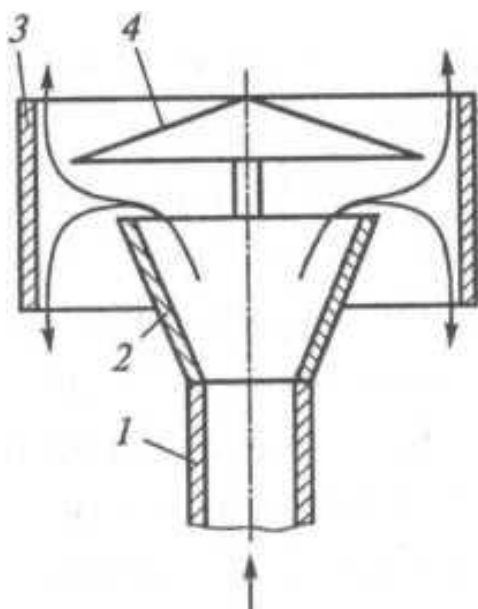
**Преимуществом аэрации** является то, что большие объемы воздуха — до нескольких миллионов кубических метров в час подаются в производственное помещение и удаляются из него без затрат механической энергии. Система аэрации значительно дешевле механических систем вентиляции. Она является эффективным средством борьбы с избытками явного тепла в горячих цехах: прокатных, литейных, кузнечных. К недостаткам аэрации следует отнести существенное снижение эффективности в летнее время, когда повышается температура наружного воздуха, особенно в безветренную погоду. Кроме того, приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый — не очищается от выбросов и загрязняет наружный атмосферный воздух.



**Рис. 2.3. Схема естественной канальной вытяжки:**

$h_1$  — нижний ярус окон,  $h_2$  — верхний ярус окон

Канальная естественная вытяжная вентиляция без организованного притока воздуха широко применяется в жилых и административных зданиях (рис. 10.3). Для использования кинетической энергии ветра в целях усиления вытяжки в системах естественной вентиляции на устье вытяжных шахт устанавливают специальные насадки — дефлекторы. Наибольшее распространение получили дефлекторы типа ЦАГИ (рис. 10.4). Дефлектор представляет собой цилиндрическую обечайку, укрепленную над вытяжной трубой, заканчивающуюся плавным расширением — диффузором. Поток воздуха, обтекая обечайку, создает вокруг большей части ее разрежение, обеспечивающее подсос воздуха из вытяжного патрубка. Дефлекторы устанавливают в местах, хорошо обдуваемых ветром.



#### 2.4. Принципиальная схема дефлектора

1 – патрубок; 2 – диффузор; 3 – цилиндрическая обечайка;

4 – зонт.

Эффективность работы дефлектора зависит от силы ветра и высоты его установки над коньком крыши. При ориентировочном подборе

дефлекторов определяют диаметр подводящего патрубка  $D_o$  (в мм) и соответствующие ему конструктивные размеры:  $D_o = 0,0188 \cdot \sqrt{L_d / v_d}$ , где  $L_d$  - производительность дефлектора  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $v_d$  - скорость воздуха в патрубке дефлектора,  $\text{м}/\text{с}$ , которая принимается равной половине скорости ветра; обычно  $v_d = 1,5 \dots 2 \text{ м}/\text{с}$  при скорости ветра  $3 \dots 4 \text{ м}/\text{с}$  (для каждой местности известна средняя скорость ветра за наиболее жаркие месяцы, для Ростова такая скорость равна  $5,4 \text{ м}/\text{с}$ ).

Более точно дефлекторы подбираются по специальным номограммам. Диаметр патрубков дефлекторов обычно равен  $0,2 \dots 1,0$  м.

## 2.4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

В системах механической вентиляции движение воздуха осуществляется вентиляторами и в некоторых случаях эжекторами.

*Механическая вентиляция по сравнению с естественной имеет ряд преимуществ, а именно возможность:*

- подвергать необходимой обработке как вводимый в помещение воздух (очищать, нагревать или охлаждать, увлажнять или подсушивать), так и удаляемый из него (очищать);
- сохранять необходимый воздухообмен независимо от внешних метеорологических условий;
- организовывать оптимальное воздухораспределение с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам;

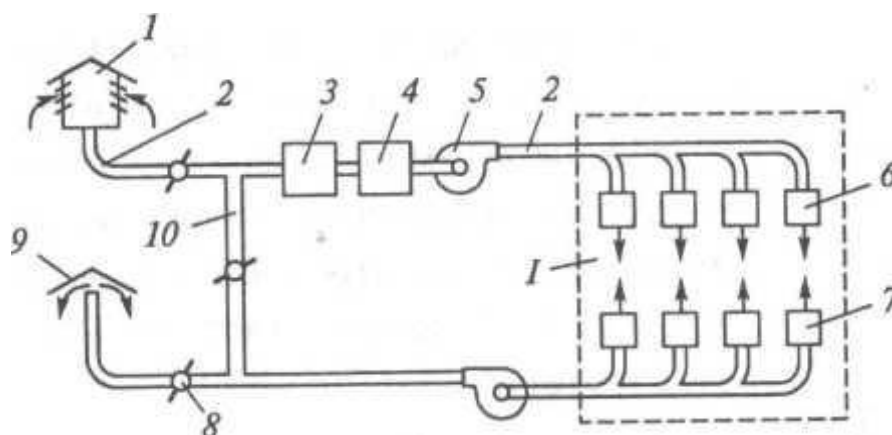


- улавливать вредные выделения непосредственно в местах их образования, предотвращая их распространение по всему объему помещения.

К недостаткам механической вентиляции относятся значительные затраты энергии и необходимость проведения мероприятий по борьбе с шумом.

В производственных зданиях наиболее распространена приточно-вытяжная общеобменная вентиляция, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной; системы работают одновременно (рис. 10.5).

Приточные вентиляционные системы обычно состоят из воздухозаборных устройств, устанавливаемых снаружи здания в тех местах, где воздух наименее загрязнен; устройств, предназначенных для придания воздуху необходимых качеств (фильтры, калориферы); воздуховодов для перемещения воздуха к месту назначения; возбудителей движения воздуха — вентиляторов или эжекторов; воздухораспределительных устройств (патрубков, насадок), обеспечивающих подачу воздуха в нужное место с заданной скоростью и в требуемом количестве.



**Рис. 2.5. Схема приточно-вытяжной механической вентиляции:**

1 — воздухоприемник; 2 — воздуховоды; 3 — фильтр; 4 — калорифер; 5 — центробежный вентилятор; 6 — приточные отверстия; 7 — вытяжные отверстия; 8 — регулировочный клапан; 9 — устройство для

выброса воздуха;  $10$  — воздуховод для рециркуляции;  $I$  — защищаемое помещение

Вытяжные вентиляционные системы состоят из вытяжных отверстий или насадок, через которые воздух удаляется из помещения, побудителя движения, воздуховодов, устройств для очистки воздуха от пыли или газов, устанавливаемых для защиты атмосферы и устройство для выброса воздуха, которое располагается на  $1 \dots 1,5$  м выше конька крыши.

В отдельных случаях для сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха применяют системы вентиляции с частичной рециркуляцией. В них к поступающему снаружи воздуху подмешивают воздух, отсасываемый из помещения вытяжной системой. Свежая порция воздуха в таких системах обычно составляет  $20 \dots 10\%$  общего количества подаваемого воздуха. Количество свежего, вторичного и выбрасываемого воздуха регулируется клапанами 8 (см. рис. 2.5).

Фильтры, калориферы и вентиляторы приточной вентиляции устанавливают в так называемых вентиляционных камерах, которые часто располагают в подвалах.

Вытяжные вентиляционные камеры устраивают отдельно от приточных вентиляционных камер. В них размещают вентиляторы для побуждения движения воздуха. Вытяжные камеры в общественных зданиях обычно размещают на чердаке или технических этажах.

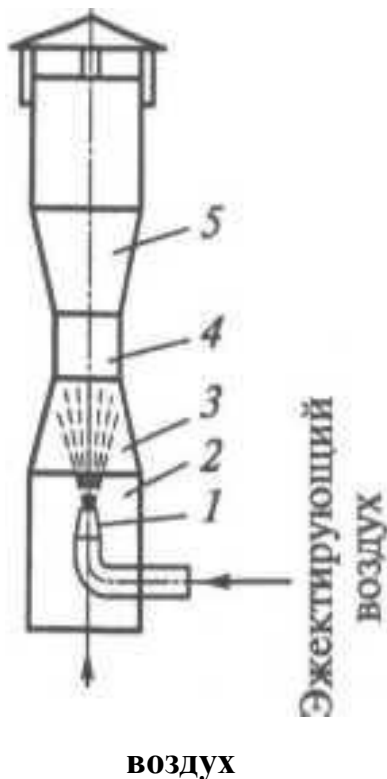
**Вентиляторы** — это воздуходувные машины, создающие определенное давление и служащие для перемещения воздуха при потерях давления в вентиляционной сети не более  $12 \text{ кПа}$ . Наиболее распространенными являются осевые и радиальные (центробежные) вентиляторы.

**Эжекторы** применяют в вытяжных системах в тех случаях, когда необходимо удалить очень агрессивную среду, пыль, способную к взрыву не только от удара, но и от трения, или легко воспламеняющиеся взрывоопасные

газы (ацетилен, эфир и т.д.). *Принцип действия эжектора* заключается в следующем (рис. 2.6).

Воздух нагнетается в эжектор компрессором или вентилятором высокого давления, установленным за пределом вентилируемого помещения, подводится по трубе к соплу 1 и, выходя из него с большой скоростью, создает за счет эжекции разрежение в камере 2, куда подсасывается воздух из

вентилируемого помещения. В диффузоре 3 и горловине 4 происходит перемешивание эжектируемого (из помещения) и эжектирующего воздуха. Диффузор 5 служит для преобразования динамического давления в статическое. Недостатком эжектора является низкий КПД, не превышающий 25%.



**Рис. 2.6. Эжектор:**

1 – сопло; 2 – камера разрежения; 3 – конфузор; 4 – горловина; 5 – диффузор

## 2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ВОЗДУХООБМЕНА ПРИ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В соответствии с санитарными нормами все производственные помещения должны вентилироваться.

Количество воздуха, необходимое для вентиляции производственного помещения, называется вентиляционным воздухообменом ( $L$ , м<sup>3</sup>/ч).

Вентиляционный воздухообмен следует определять расчетом исходя из условий производства и наличия избыточной теплоты, влаги или вредных веществ.

**1. При нормальных микроклиматических условиях** и отсутствии выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны (концентрация не превышает ПДК), количество воздуха при общеобменной вентиляции принимают в зависимости от объема помещения, приходящегося на одного работающего. Если этот объем меньше 20 м<sup>3</sup>, расход воздуха на каждого работающего должен быть не менее 30 м<sup>3</sup>/ч. Если объем помещения на одного человека составляет 20...40 м<sup>3</sup>, то расход воздуха на каждого человека составляет не менее 20 м<sup>3</sup>. В помещениях, где на одного работающего приходится более 40 м<sup>3</sup> и при наличии естественной вентиляции воздухообмен не рассчитывают. В случае отсутствия естественной вентиляции (герметичные кабины) расход воздуха на одного работающего должен составлять не менее 60 м<sup>3</sup>.

Необходимый воздухообмен для всего помещения в целом:  $L = n \cdot L_1$ , где  $n$  — число работающих в данном помещении,  $L_1$  — расход воздуха на одного работающего, м<sup>3</sup>/ч.

**2. При выделении вредных газов или паров** вентиляционный воздухообмен определяют исходя из разбавления их до допустимых концентраций:

$$L = \frac{G_{BP}}{(C_{ПДК} - C_{ПР})},$$

где  $G_{BP}$  - количество выделяющихся вредных веществ, мг/ч. Принимают по технологическим данным или из справочной литературы;  $C_{ПР}$  — концентрация вредных веществ в приточном воздухе, должна быть по возможности минимальной и не превышать 30% ПДК.

Этим методом расчета пользуются при равенстве количества приточного и удаляемого системой вентиляции воздуха, отсутствии в производственном помещении местных вентиляционных отсосов, равномерном распределении вредных веществ по помещению и постоянстве концентрации вредных веществ, равной ПДК.

**3. При выделении избытков явной теплоты** в помещении вентиляционный воздухообмен (без учета количества тепла, уносимого с воздухом, удаляемым через местные отсосы) определяют следующим соотношением:

$$L = \Delta Q_{изб} / C_p \cdot \rho_{ПР} (t_y - t_{П}),$$

где  $\Delta Q_{изб}$  - избытки явного тепла в помещении, кВт;  $C_p$  - удельная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг°С);  $\rho_{ПР}$  - плотность приточного воздуха кг/м<sup>3</sup>;  $t_y$  - температура удаляемого воздуха, °С;  $t_{П}$  - температура воздуха, подаваемого в помещение °С

Температуру воздуха, удаляемого из помещения, определяют по формуле:  $t_y = t_{PЗ} + a \cdot (H - 2)$ ,

где  $t_{PЗ}$  — температура в рабочей зоне, которая не должна превышать допустимую по нормам, т.е.  $t_{PЗ} \leq t_{доп}$ ;  $a$  — температурный градиент по высоте помещения, °С/м; для помещений с избытками явного тепла меньше 23 Вт/м<sup>3</sup> можно принять  $a = 0,5^\circ\text{С/м}$ . Для «горячих» цехов, где избытки явного тепла равны или больше 23 Вт/м<sup>3</sup> —  $a = 0,7... 1,5^\circ\text{С/м}$ ;  $H$  — расстояние от пола до центра вытяжных отверстий, м; 2 — высота рабочей зоны, м.

Температура приточного воздуха при наличии избытка явной теплоты должна быть на 5...8°С ниже температуры воздуха в рабочей зоне.

**4. При выделении влаги** необходимый воздухообмен находят по формуле:  $L = G_{ВП} / \rho_{ПР} (d_y - d_{ПР})$ ,

где  $G_{ВП}$  — масса водяных паров, выделяющихся в помещении, г/ч;  $\rho_{ПР}$  — плотность воздуха, поступающего в помещение, кг/м<sup>3</sup>;  $d_y$  — допустимое содержание водяного пара в воздухе при нормативной температуре и относительной влажности воздуха, г/кг;  $d_{ПР}$  — влагосодержание приточного воздуха, г/кг.

При одновременном выделении теплоты, влаги, вредных веществ следует рассчитывать воздухообмен для каждого из этих факторов и принимать наибольшее из полученных значений.

**5. Метод определения необходимого количества воздуха по кратности вентиляционного воздухообмена.** Применяют для ориентировочных расчетов, когда неизвестно количество выделяющихся вредных веществ.

Кратность воздухообмена  $k$  (час<sup>-1</sup>) показывает, сколько раз в час меняется воздух в помещении. Тогда:  $L = kV$ ,

где  $L$  — объем воздуха, подаваемого или удаляемого из помещения, м<sup>3</sup>/ч;  $V$  — объем вентилируемого помещения, м<sup>3</sup>.

Величина  $k$  обычно составляет 1... 10.

*Расчет вентиляционных систем сводится к определению вентиляционного воздухообмена ( $L$ ), выбору схемы вентиляции, определению давления, развиваемого вентилятором, подбору вентилятора и электродвигателя необходимой мощности.*

## **26. МЕСТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ**

С помощью местной вентиляции необходимые метеорологические параметры и чистота воздуха создаются на отдельных рабочих местах. **Местная вытяжная вентиляция** удаляет вредные вещества непосредственно у источника возникновения (у сальников насосов, мешалок и

т.д.). **Местная приточная вентиляция** подает чистый охлажденный (нагретый) воздух на рабочее место, создавая благоприятную метеорологическую обстановку.

Местная приточная вентиляция применяется в виде воздушных душей и воздушных завес.

**Воздушный душ** представляет собой подачу на человека струи воздуха заданных параметров (температура, влажность, скорость). Для устройства воздушного оазиса часть рабочей площадки отделяют вертикальными, обычно стеклянными щитами, между которыми оставляют необходимые проходы. Выгороженную часть, имеющую открытый верх, «затопляют» приточным воздухом необходимых параметров. Воздушное душирование предусматривают на постоянных рабочих местах при воздействии на работающих теплового излучения.

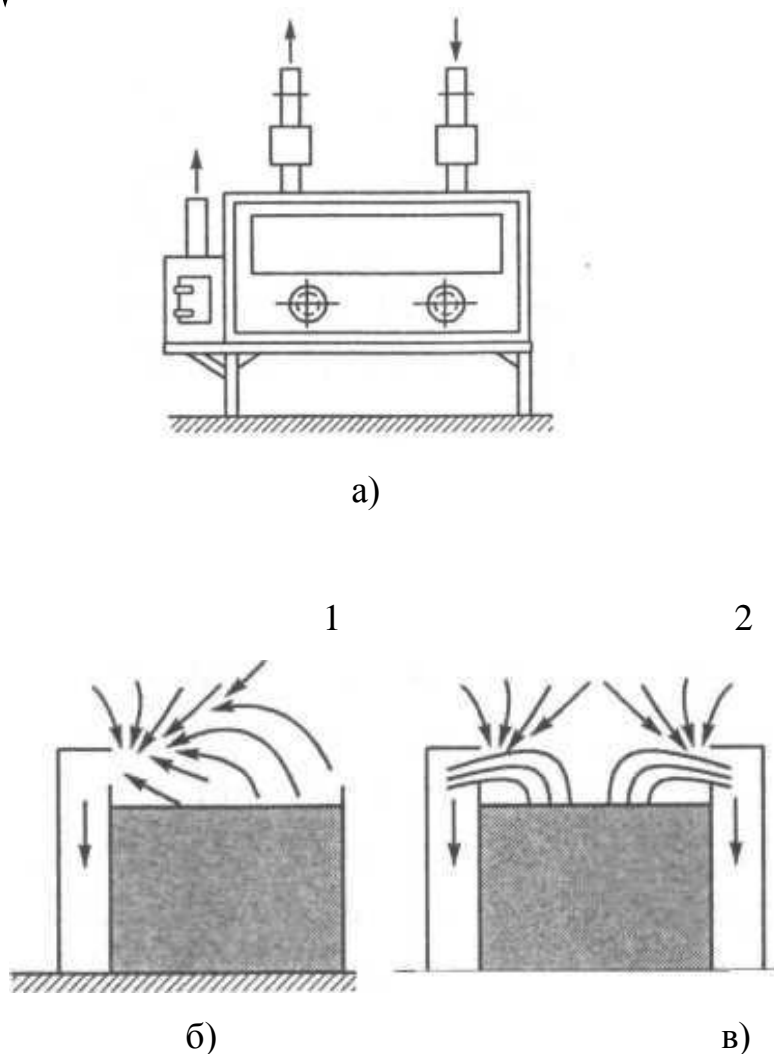
Воздушная завеса создается струей воздуха, поступающей из узкой щели со скоростью

10...15 м/с для предотвращения прохода воздуха через открытый проем. Воздушные завесы устраивают у дверных проемов в наружных стенах для отклонения потока холодного воздуха, устремляющегося через открытые двери в помещение, а также в проемах во внутренних стенах. В этом случае воздушные завесы препятствуют перетеканию загрязненного воздуха из одного помещения в другое.

**Местная вытяжная вентиляция** осуществляется с помощью местных отсосов и укрытий. Конструкции местных отсосов могут быть полностью закрытыми, полуоткрытыми или открытыми. Наиболее эффективны закрытые отсосы. К ним относятся кожухи, камеры, герметично закрывающие технологическое оборудование (рис. 2.7, а).

Если по условиям технологии или обслуживания такие укрытия устроить невозможно, то применяют отсосы с частичным укрытием или открытые: вытяжные зонты, отсасывающие панели, вытяжные шкафы, бортовые отсосы и т.д.

Бортовые отсосы используют, когда пространство над поверхностью выделения вредных веществ должно оставаться совершенно свободным — при загрузке и выгрузке обрабатываемых изделий с помощью подъемно-транспортных устройств. Примером могут служить бортовые отсосы гальванических и травильных ванн. Принцип действия бортовых отсосов, представляющих собой щелевидные воздуховоды размером 40...100 мм, состоит в том, что затягиваемый в щель воздух, двигаясь над поверхностью ванны, увлекает за собой вредные выделения, не давая им распространиться по производственному помещению.



**Рис 2.7 Устройство местной вентиляции:**

а – укрытие – бокс, б – односторонний (1) и двусторонний (2) отсосы



Бортовые отсосы делают у одного борта, если ширина ванны не превышает 0,7 м (рис. 2.7, б), или у двух противоположных бортов, когда ширина ванны составляет 0,7... 1,0 м (рис. 2.7, в). Кроме обычных бортовых отсосов применяют бортовые отсосы с передувом, когда в узкую щель, расположенную у одной длинной стороны ванны, подают струю воздуха, а с противоположной стороны ванны производят отсос.

*Вытяжной зонт* является одним из самых простых видов местных отсосов. Вытяжные зонты применяют для улавливания вредных веществ, имеющих меньшую плотность, чем окружающий воздух. Зонты делают открытыми со всех сторон или частично открытыми с одной, двух, трех сторон, а по форме сечения — прямоугольными или круглыми. Главное условие, чтобы поток удаляемых вредных веществ не проходил через зону дыхания работающего. Эффективность работы вытяжного зонта зависит от размеров, высоты подвеса и угла его раскрытия. Чем больше размеры и чем ниже установлен зонт над местом выделения вредных веществ, тем он эффективнее.

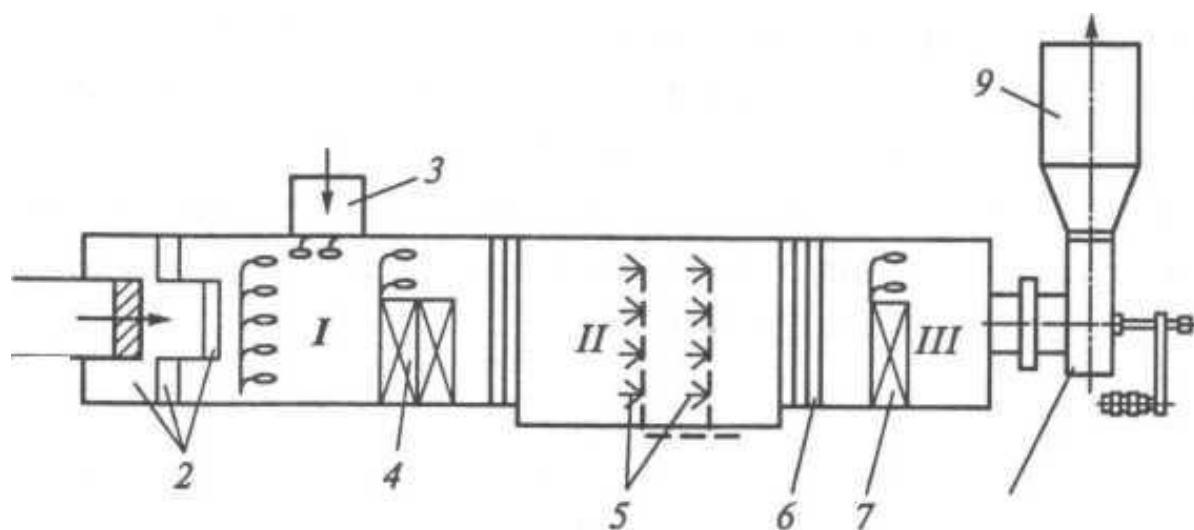
*Вытяжные шкафы* почти полностью закрывают источник выделения вредных веществ, поэтому они эффективнее других отсосов. Незакрытыми остаются лишь проемы для работы внутри шкафа, через которые воздух из помещения поступает в шкаф. Форма проема определяется характером технологических операций.

Необходимый воздухообмен в системах местной вытяжной вентиляции рассчитывают для обеспечения локализации примесей, выделяющихся из источника образования:  $L = v \cdot F$

где  $L$  — вентиляционный воздухообмен, м<sup>3</sup>/с;  $v$  — скорость воздуха в проеме отсоса (принимается 0,5... 1,5 м/с в зависимости от класса опасности вредного вещества и типа воздухоприемного устройства);  $F$  — площадь аэродинамического проема, м<sup>2</sup>.

Обычные системы вентиляции не способны поддерживать сразу все метеорологические параметры в пределах, обеспечивающих комфортные

условия труда. Эту задачу может выполнить кондиционирование, которое является наиболее совершенным видом механической вентиляции. **Кондиционированием** называется процесс создания и автоматического поддержания оптимальных параметров воздушной среды в производственных помещениях. При кондиционировании независимо от наружных метеорологических условий и режима работы технологического оборудования в помещении автоматически регулируются температура, относительная влажность, скорость движения воздуха и осуществляется очистка воздуха от пыли. В некоторых случаях воздух проходит специальную обработку: ионизацию, дезодорацию, озонирование и т.д. Для обеспечения кондиционирования используются специальные установки, называемые кондиционерами. Кондиционеры могут быть местными (для обслуживания отдельных помещений) и центральными (для обслуживания нескольких отдельных помещений). Принципиальная схема кондиционера приведена на *рис. 2.8*.



**Рис. 2.8. Схема кондиционера:**

1 — заборный воздуховод; 2 — фильтр; 3 — соединительный воздуховод; 4 — калорифер; 5 — форсунки увлажнителя воздуха; 6 — каплеуловитель; 7 — калорифер второй ступени; 8 — вентилятор; 9 — отводной воздуховод.

Наружный воздух очищается от пыли, проходя через фильтр 2, и поступает в камеру I, где он смешивается с воздухом из помещения. Воздух из помещений, где установлены кондиционеры, как правило, удаляется специальной вытяжной системой 8, 9. В целях экономии теплоты зимой и холода летом часть этого воздуха не выбрасывается наружу, а снова поступает в кондиционер 3 (схема с рециркуляцией воздуха). Пройдя через ступень предварительной температурной обработки в калориферах 4, воздух поступает в камеру II, где подвергается увлажнению 5 для обеспечения заданных параметров относительной влажности и очистке 6. При последующей температурной обработке в камере III зимой воздух подогревается частично за счет температуры воды, поступающей в форсунки 5, а частично в калориферах 4 и 7. Летом воздух охлаждается частично подачей в камеру II охлажденной воды, но главным образом за счет работы специальных холодильных машин. Отечественной промышленностью выпускаются неавтономные (без холодильной машины) и автономные кондиционеры (со встроенной холодильной машиной).

Кондиционирование воздуха требует по сравнению с вентиляцией больших затрат, но эти затраты быстро окупаются, так как на 4... 10% увеличивается производительность труда и снижается заболеваемость работающих.

