



Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
"Томский государственный архитектурно-строительный университет"  
(ТГАСУ)

---

# РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА

Методические указания к практическим занятиям

Составитель М.В. Анисимов



Томск 2014

Расчет теплообмена человека в условиях искусственного микроклимата: методические указания к практическим занятиям / Сост. М.В. Анисимов – Томск. : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014.- 34 с.

Рецензент к.т.н., доцент кафедры охраны труда и окружающей среды В.М. Владимиров

Редактор к.г.-м.н., доцент кафедры охраны труда и окружающей среды В.В. Быкова

Программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине БЗ.В1.1 «Расчет и проектирование систем обеспечения комфортных условий труда» для бакалавров по направлению подготовки 280700 «Техносферная безопасность», профиль 280701 «Безопасность технологических процессов и производств» очной формы обучения.

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры охраны труда и окружающей среды. Протокол № 4 от 02.04.2014 г.

Срок действия

с 01.05.2014  
до 01.05.2019

Оригинал-макет подготовлен составителем М.В. Анисимовым.

Подписано в печать 25.04.14  
Формат 60×84. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Уч-изд. л. 1,78. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение .....</b>                                                                 | <b>4</b>  |
| <b>Введение к практической работе.....</b>                                            | <b>6</b>  |
| <b>1. Общие положения.....</b>                                                        | <b>7</b>  |
| 1.1. Основные понятия, термины и определения.....                                     | 7         |
| 1.2. Физические основы теплообмена человека<br>с окружающей средой.....               | 10        |
| 1.3. Последствия нарушения теплообмена организма<br>человека с окружающей средой..... | 18        |
| <b>2. Способы нормализации параметров микрокли-<br/>мата.....</b>                     | <b>22</b> |
| <b>3. Приборы контроля параметров микроклимата..</b>                                  | <b>28</b> |
| <b>4. Задание для самостоятельной работы.....</b>                                     | <b>29</b> |
| <b>Контрольные вопросы.....</b>                                                       | <b>31</b> |
| <b>Список рекомендуемой литературы.....</b>                                           | <b>32</b> |
| <b>Приложение .....</b>                                                               | <b>33</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения учебной дисциплины «Расчет и проектирование систем обеспечения комфортных условий труда» является освоение понятий микроклимата рабочей зоны, нормативных параметров микроклимата, их физиологического влияния на организм человека. Кроме того, в дисциплине рассматриваются вопросы по созданию и расчету оптимальных параметров микроклимата в современном здании с эффективным использованием энергии, климатологического обеспечения параметров микроклимата, комфортности условий для работающих, разработки теплозащитных свойств ограждений. В дисциплине рассматриваются методики расчета и проектирования современного инженерного оборудования, позволяющего обеспечить нормативные параметры микроклимата в зданиях различного назначения.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1: Способностью ориентироваться в перспективах развития техники и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера.

ПК-3: Способностью принимать участие в инженерных разработках среднего уровня сложности в составе коллектива.

ПК-5: Способностью использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности.

ПК-14: Способностью использовать методы определения нормативных уровней допустимых негативных воздействий на человека и природную среду.

ПК-19: Способностью ориентироваться в основных проблемах техносферной безопасности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- основные нормативные документы, регламентирующие параметры микроклимата внутри зданий различного назначения;
- классификацию инженерных систем обеспечения нормативных параметров микроклимата в зданиях и условия их применимости;
- способы устранения проблем, препятствующих повышению качества микроклимата в воздухе рабочей зоны.

**Уметь:**

- анализировать и оценивать условия работы человека с позиции его теплового взаимодействия со средой внутри помещений;
- дать инженерные рекомендации по эффективным способам решения проблем, связанных с обеспечением нормативных параметров микроклимата на рабочем месте;
- производить расчет технических характеристик инженерного оборудования, позволяющего повысить качество микроклимата;
- пользоваться современными нормативными документами в области требований к параметрам микроклимата и инженерному оборудованию.

**Владеть:**

- методикой использования специальных приборов для оценки параметров микроклимата;
- методиками определения экономически выгодных и технически обоснованных путей решения проблем, связанных с повышением качества параметров микроклимата в зданиях различного назначения;
- принципами теплотехнических расчетов инженерных систем, а также теплофизического расчета теплового взаимодействия здания с окружающей средой.

## ВВЕДЕНИЕ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

На протяжении всей своей жизни человек пребывает в постоянном тепловом взаимодействии с окружающей средой. Наверное, каждому с детства знакомы понятия «тепло», «холодно» и «жарко». Все эти ощущения возникают от воздействия на организм различных температур, которые могут вызывать либо состояние теплового комфорта, либо дискомфорта.

Организм человека в процессе эволюции научился приспосабливаться к постоянно изменяющимся тепловым условиям, при повышенной температуре воздуха происходит увеличение теплоотдачи, при низких температурах теплоотдача резко уменьшается.

Человек может переносить колебания температур воздуха в весьма широких пределах: от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. При этом внутренняя температура органов человека может изменяться в довольно узких пределах: от  $25$  до  $43 \div 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выход за границы этих пределов оканчивается смертью. Организм человека приспосабливается к столь широкому диапазону колебаний температур окружающей среды посредством регулирования теплопродукции и теплоотдачи человеческого организма, которое называется терморегуляцией.

В результате нормальной жизнедеятельности организма в нем постоянно происходит образование тепла и его отдача, то есть теплообмен.

В условиях искусственного микроклимата (пример, горячие цеха) большое значение имеет отдача тепла организмом, т.к. перегрев организма может привести не только к снижению качества и производительности труда, но и к ухудшению здоровья рабочего.

Под влиянием высокой температуры изменяется химический состав крови, в которой уменьшается содержание хлоридов и углекислоты и т. д. Это может привести человека к потере

сознания (судорожная болезнь и тепловой удар), а при длительном воздействии повышенных температур – к смерти. Поэтому при создании искусственного микроклимата на рабочих местах одним из важнейших вопросов остается обеспечение нормального теплообмена человека с окружающей средой за счет использования различных организационно-технических мероприятий.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **1.1. Основные понятия, термины и определения**

Для обеспечения безопасности на производстве и повышения качества и эффективности труда необходимо поддерживать в рабочих зонах нормируемый температурно-влажностный режим. В соответствии с категориями помещений и зданий различными нормативными документами (СНиП, ГОСТ, СанПиН) задаются параметры микроклимата в помещениях. В соответствии с ГОСТ 30494-96 [1] приняты следующие определения:

**Обслуживаемая зона помещения** (зона обитания) – пространство в помещении, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам: на высоте 0,1 и 2,0 м над уровнем пола (но не ближе чем 1 м от потолка при потолочном отоплении), на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

**Помещение с постоянным пребыванием людей** – помещение, в котором люди находятся не менее 2 ч непрерывно или 6 ч суммарно в течение суток.

**Микроклимат помещения** – состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

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

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

**Температура воздуха** – характеризует тепловое состояние микроклимата. Измеряется в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) или в градусах Кельвина [K].

**Скорость движения воздуха** – усреднённая скорость перемещения воздушных потоков под действием различных побуждающих сил. Измеряется в метрах в секунду (м/с).

**Терморегуляция организма** – способность организма поддерживать постоянной температуру при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется **конвекцией** в результате омывания тела воздухом, **теплопроводностью**, **излучением** на окружающие предметы и в процессе **теплообмена** при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами и при дыхании.

**Излучение тепла** – это перенос тепла от человеческого тела к окружающим предметам за счет электромагнитного излучения. Это основной путь отдачи тепла в производственных условиях. Излучением отдают тепло все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля ( $- 273^{\circ}\text{C}$ ). Человек отдаёт тепло,



когда температура окружающих его предметов ниже температуры наружных слоёв одежды или открытой кожи.

**Теплопроводность** – отдача тепла предметам (имеющим температуру ниже, чем человеческое тело), непосредственно соприкасающихся с телом человека.

**Конвекция** – передача тепла через воздушную среду, осуществляется за счет омывания воздухом человеческого тела. При высокой подвижности воздуха теплоотдача увеличивается в несколько раз.

**Тепломассообмен** – потеря тепла за счет испарения воды с поверхности кожи и слизистой оболочки верхних дыхательных путей человеком и за счет нагрева вдыхаемого воздуха. Этот путь является основным путем отдачи тепла при повышенной температуре воздуха, особенно, когда затрудняется или прекращается отдача излучением или конвекцией. В обычных условиях испарение идет в результате неощутимого потоотделения на большей части поверхности тела в результате диффузии воды без активного участия потовых желёз. В целом организм теряет 0,6 л воды в сутки. При выполнении физической работы в условиях повышенной температуры воздуха идёт повышенное потоотделение, при котором количество теряемой жидкости 10-12 л за смену. Если пот не успел испариться, то он покрывает кожу влажным слоем, что не способствует отдаче тепла, и создаются условия для перегрева организма. Это приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов (С, В1, В2 к сгущению крови, нарушению солевого обмена и нарушению водно-солевого обмена.

## 1.2. Физические основы теплообмена человека с окружающей средой

**Нормальное тепловое самочувствие** имеет место, когда тепловыделение человека полностью воспринимается окружающей средой и когда имеет место тепловой баланс. В этом случае температура внутренних органов остается постоянной. Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде, то происходит рост температуры внутренних органов, и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием **жарко**.

Теплоизоляция человека, находящегося в состоянии покоя (отдых, сидя или лежа), от окружающей среды приведет к повышению температуры внутренних органов уже через 1 ч на 1,2 °С. Теплоизоляция человека, производящего работу средней тяжести, вызовет повышение температуры уже на 5 °С и вплотную приблизится к максимально допустимой.

В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек, происходит переохлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием **холодно**.

Тепло образуется вследствие окислительных процессов, из которых две трети приходится на окислительные процессы в мышцах.

Увеличение теплоотдачи всегда связано с увеличением кровенаполнения периферических кожных сосудов. Об этом свидетельствует покраснение кожных покровов при воздействии на человека повышенной температуры или инфракрасного излучения. Кровенаполнение поверхностных сосудов ведет к повышению температуры кожных покровов, что способствует более интенсивной отдаче тепла в окружающее пространство конвекцией и излучением. Приток крови к кожным покровам активизирует деятельность расположенных в подкожной клет-

чатке потовых желез, что ведет к увеличению потовыделения и, следовательно, к более интенсивному охлаждению организма.

На рис. 1 схематично показан теплообмен человека с окружающей средой.

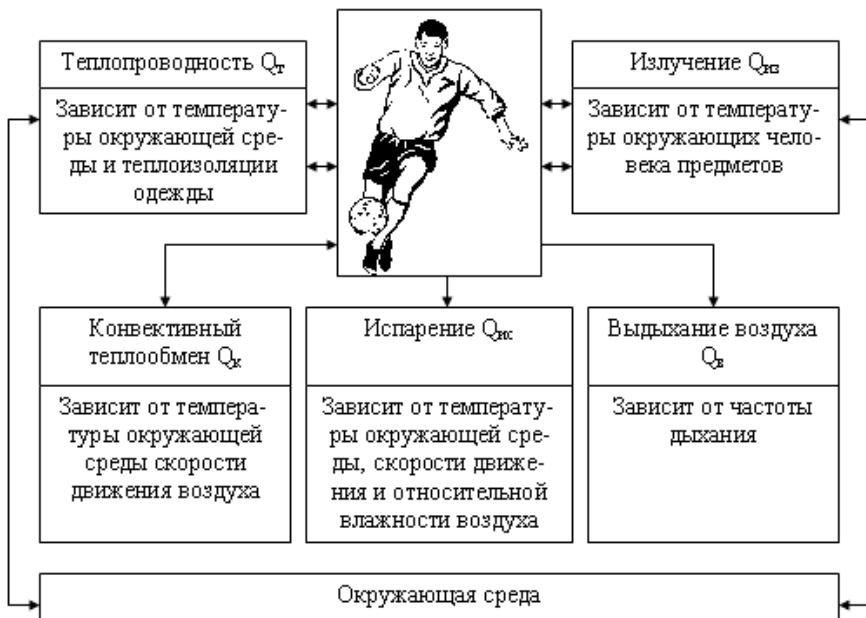


Рис. 1. Теплообмен человека с окружающей средой

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией  $Q_k$  в результате омывания тела воздухом, теплопроводностью  $Q_T$ , излучением на окружающие поверхности  $Q_{из}$  и в процессе теплообмена ( $Q_{TM} = Q_{ис} + Q_v$ ), при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами  $Q_{ис}$ , и при дыхании  $Q_v$ :

$$Q_{ТП} = Q_k + Q_T + Q_{из} + Q_{TM}, \quad (1)$$

Конвективный теплообмен определяется законом Ньютона:

$$Q_K = \alpha_K F_3 (t_{нов} - t_{oc}), \quad (2)$$

где  $\alpha_K$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией; при нормальных параметрах микроклимата  $\alpha_K = 4,06 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $F_3$  – эффективная поверхность тела человека (размер эффективной поверхности тела зависит от положения его в пространстве и составляет приблизительно 50...80 % геометрической внешней поверхности тела человека); для практических расчетов  $F_3 = 1,8 \text{ м}^2$ ;  $t_{пов}$  – температура поверхности тела человека (для практических расчетов зимой – около  $27,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , летом – около  $31,5^\circ\text{C}$ );  $t_{oc}$  – температура воздуха, омывающего тело человека. В прил. 2 приведена температура отдельных частей тела человека.

Удерживаемый на внешней поверхности тела пограничный слой воздуха (до 4...8 мм при скорости движения воздуха  $v = 0$ ) препятствует отдаче теплоты конвекцией. При увеличении атмосферного давления (В) и в подвижном воздухе толщина пограничного слоя уменьшается и при скорости движения воздуха 2 м/с составляет около 1 мм. Передача теплоты конвекцией тем больше, чем ниже температура окружающей среды и чем выше скорость движения воздуха. Заметное влияние оказывает и относительная влажность воздуха  $\phi$ , так как коэффициент теплопроводности воздуха является функцией атмосферного давления и влагосодержания воздуха.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяются в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влагосодержанием воздуха, т.е.  $Q_K = f(t_{oc}; \beta; v; \phi)$ .

Передачу теплоты теплопроводностью можно описать уравнением Фурье, Вт

$$Q_T = (\lambda_0 / \delta_0) F_3 (t_{нов} - t_{oc}), \quad (3)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности тканей одежды человека,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $\delta_0$  – толщина одежды человека, м.

Теплопроводность тканей человека мала, поэтому основную роль в процессе транспортирования теплоты играет конвективная передача с потоком крови.

Лучистый поток при теплообмене излучением тем больше, чем ниже температура окружающих человека поверхностей. Он может быть определен с помощью обобщенного закона Стефана – Больцмана, Вт

$$Q_{из} = C_{пр} \varepsilon F_1 \psi_{1-2} [(T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4], \quad (4)$$

где  $C_{пр}$  – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $\varepsilon$  – степень черноты окружающих предметов;  $F_1$  – площадь поверхности, излучающей лучистый поток, м<sup>2</sup>;  $\psi_{1-2}$  – коэффициент облучаемости, зависящий от расположения и размеров поверхностей  $F_1$  и  $F_2$  и показывающий долю лучистого потока, приходящегося на поверхность  $F_2$  от всего потока, излучаемого поверхностью  $F_1$ ;  $T_1$  – средняя температура поверхности тела и одежды человека, К;  $T_2$  – средняя температура окружающих поверхностей, К.

Для практических расчетов в диапазоне температур окружающих человека предметов 10 ÷ 60 °С приведенный коэффициент излучения  $C_{пр} \approx 4,9$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>). Коэффициент облучаемости  $\psi_{1-2}$  обычно принимают равным 1,0. В этом случае значение лучистого потока зависит в основном от степени черноты  $\varepsilon$  и температуры окружающих предметов, т. е.  $Q_{из} = f(T_{оп}; \varepsilon)$ .

Количество теплоты, передаваемое человеком окружающей среде при испарении влаги, выводимой на поверхность потовыми железами, Вт

$$Q_{ис} = G_{п} r, \quad (5)$$

где  $G_{п}$  – масса выделяемой и испаряющейся влаги, 1 кг/с;  $r$  – скрытая теплота испарения выделяющейся влаги, Дж/кг.

На величину потовыделения, кроме температурных факторов влияет и категория работ, выполняемых человеком. В зависимости от степени тяжести работ увеличивается и количест-

во влаги, выделяемой человеком.

Все условия работ условно подразделяются на несколько категорий. Первая категория – это легкие физические работы, выполняемые сидя, стоя или связанные с ходьбой. Вторая категория – это физические работы средней тяжести, к которым относят работы связанные с ходьбой и переноской тяжестей до 10 кг. Третья категория – это тяжелые и очень тяжелые работы, связанные с постоянными передвижениями и переноской тяжестей свыше 10 кг.

Данные о потовыделении в зависимости от температуры воздуха и физической нагрузки человека приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Количество влаги, выделяемой с поверхности кожи и из легких человека, г/мин**

| Характеристика выполняемой работы (по Н.К. Витте) | Температура воздуха, °С |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
|                                                   | 16                      | 18   | 28   | 35   | 45   |
| Покой, $J = 100^*$ Вт                             | 0,6                     | 0,74 | 1,69 | 3,25 | 6,2  |
| Легкая, $J = 200$ Вт                              | 1,8                     | 2,4  | 3,0  | 5,2  | 8,8  |
| Средней тяжести, $J = 350$ Вт                     | 2,6                     | 3,0  | 5,0  | 7,0  | 11,3 |
| Тяжелая, $J = 490$ Вт                             | 4,9                     | 6,7  | 8,9  | 11,4 | 18,6 |
| Очень тяжелая, $J = 695$ Вт                       | 6,4                     | 10,4 | 11,0 | 16,0 | 21,0 |

*Примечание: J – интенсивность труда, Вт*

Как видно из табл. 1, количество выделяемой влаги меняется в значительных пределах. Так, при температуре воздуха 28 °С у человека, не занятого физическим трудом, влаговыделение составляет 1,69 г/мин, а при выполнении тяжелой работы увеличивается до 11 г/мин.

Количество теплоты, отдаваемой в окружающий воздух с поверхности тела при испарении пота, зависит не только от тем-

пературы воздуха и интенсивности работы, выполняемой человеком, но и от скорости движения окружающего воздуха и его относительной влажности, т.е.  $Q_{п} = f(t_{oc}; v; \varphi; J)$ .

Отдача тепла испарением пота зависит от относительной влажности и скорости движения воздуха. Зависимость переносимости высоких температур воздуха от длительности их воздействия приведена на рис. 2.

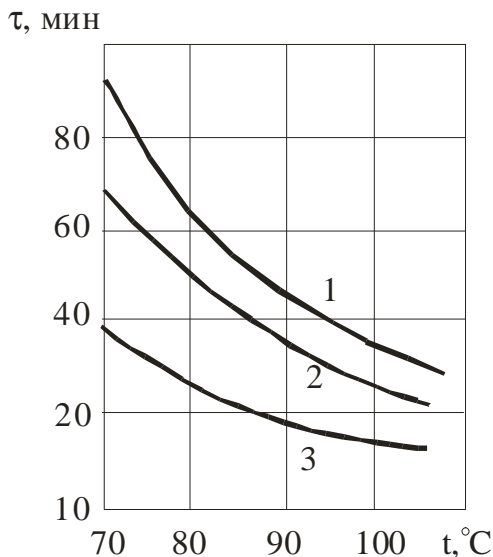


Рис. 2. Переносимость высоких температур в зависимости от длительности их воздействия:

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

В нормальных метеорологических условиях окружающей среды (температура воздуха около  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ) конвекцией отдается около 30%, излучением около 45% и испарением влаги с поверхности – около 25% тепла.

В табл. 2 представлены данные о зависимости субъективных ощущений человека от параметров рабочей среды.

Таблица 2

**Зависимости субъективных ощущений человека от параметров рабочей среды**

| Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Субъективное ощущение                    |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| 21                      | 40                                 | Наиболее комфортное состояние.           |
|                         | 75                                 | Хорошее состояние.                       |
|                         | 85                                 | Отсутствие неприятных ощущений.          |
|                         | 90                                 | Усталость, подавленное состояние.        |
| 24                      | 20                                 | Отсутствие неприятных ощущений.          |
|                         | 65                                 | Неприятные ощущения.                     |
|                         | 80                                 | Потребность в покое.                     |
|                         | 100                                | Невозможность выполнения тяжелой работы. |
| 30                      | 25                                 | Неприятные ощущения отсутствуют.         |
|                         | 50                                 | Нормальная работоспособность.            |
|                         | 65                                 | Невозможность выполнения тяжелой работы. |
|                         | 80                                 | Повышение температуры тела.              |
|                         | 90                                 | Опасность для здоровья.                  |

В процессе дыхания воздух окружающей среды, попадая в легочный аппарат человека, нагревается и одновременно насыщается водяными парами. В технических расчетах можно принимать (с запасом), что выдыхаемый воздух имеет температуру



37 °С и полностью насыщен.

Количество теплоты, расходуемой на нагревание вдыхаемого воздуха, Вт

$$Q_B = V_{\text{лв}} \rho_{\text{вд}} C_p (t_{\text{вд}} - t_{\text{вд}}), \quad (6)$$

где  $V_{\text{лв}}$  – объем воздуха, вдыхаемого человеком в единицу времени, «легочная вентиляция», м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{\text{вд}}$  – плотность вдыхаемого влажного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – удельная теплоемкость выдыхаемого воздуха, Дж/(кг · °С);  $t_{\text{вд}}$  – температура выдыхаемого воздуха, °С;  $t_{\text{вд}}$  – температура вдыхаемого воздуха, °С.

«Легочная вентиляция» определяется как произведение объема воздуха, вдыхаемого за один вдох,  $V_{\text{вв}}$ , м<sup>3</sup>, на частоту дыхания в секунду  $n$  ( $V_{\text{лв}} = V_{\text{вв}}n$ ). Частота дыхания человека непостоянна и зависит от состояния организма и его физической нагрузки. В состоянии покоя с каждым вдохом в легкие поступает около 0,5 л воздуха. При выполнении тяжелой работы объем вдоха-выдоха может возрасть до 1,5...1,8 л. Среднее значение легочной вентиляции в состоянии покоя примерно  $0,4 \div 0,5$  л/с, а при физической нагрузке в зависимости от напряжения может достигать 4 л/с.

Таким образом, количество теплоты, выделяемой человеком с выдыхаемым воздухом, зависит от его физической нагрузки, влажности и температуры окружающего (вдыхаемого) воздуха  $Q_{\text{тм}} = f(J; \varphi; t_{\text{oc}})$ . Чем больше физическая нагрузка и ниже температура окружающей среды, тем больше отдается теплоты с выдыхаемым воздухом. С увеличением температуры и влажности окружающего воздуха количество теплоты, отводимой через дыхание, уменьшается.

Анализ приведенных выше уравнений позволяет сделать вывод, что тепловое самочувствие человека, или тепловой баланс, в системе «человек – среда обитания» зависит от температуры среды, подвижности и относительной влажности воздуха, температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма  $Q_{\text{тп}} = f(t_{\text{oc}}; v; \psi; T_{\text{оп}}; J)$ .

### 1.3. Последствия нарушения теплообмена организма человека с окружающей средой

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для нормального течения физиологических процессов в организме человека необходимо, чтобы выделяемое организмом тепло отводилось в окружающую среду. Когда это условие соблюдается, наступают условия комфорта, и у человека не ощущается беспокоящих его тепловых ощущений: холода или перегрева.

При одновременном воздействии на человека определенных параметров микроклимата опытным путем установлена эффективная температура и зона комфорта, которые можно определить по номограмме, приведенной в приложении.

При высокой температуре воздуха кровеносные сосуды поверхности тела расширяются, повышается приток крови и теплоотдача увеличивается. При снижении температуры воздуха сосуды поверхности тела сужаются, при этом уменьшается приток крови и отдача тепла. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Нормальной температурой окружающей среды можно считать  $15 - 25$  °С, относительную влажность  $\phi = 40 - 60\%$  и атмосферное давление  $P = 760$  мм. рт. ст.

Повышенная влажность (больше 85%) затрудняет терморегуляцию вследствие снижения испарения пота, а слишком низкая (меньше 20%) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Нормальной считается влажность  $40 - 60\%$ . Относительная влажность – это отношение содержания водяных паров в  $1 \text{ м}^3$  воздуха к их максимально возможному содержанию при данной температуре, выраженное в процентах.

Движение воздуха в помещении способствует теплоотдаче организма, но при низкой температуре является неблагоприят-

ным фактором. В зимнее время года скорость движения воздуха не должна превышать 0,2 – 0,3 м/с, а летом – 0,3 – 0,5 м/с. Снижение теплоотдачи организма может привести к перегреву тела.

Большая влажность воздуха, его неподвижность и наличие непроницаемой для воздуха и пота одежды способствуют перегреву – нарушению терморегуляции организма. С другой стороны, при повышенной влажности воздуха (либо промокшей одежде) и низкой температуре воздуха возникает обратный эффект: переохлаждение организма, возникающее за счет того, что теплопроводность воды значительно превышает теплопроводность воздуха.

В условиях производства может присутствовать тепловое (инфракрасное) излучение – невидимое электромагнитное излучение. В зависимости от длины волны оно делится на коротковолновое, средневолновое, длинноволновое. Проходя через воздух, эти лучи его не нагревают, но, поглотившись твёрдым телом, лучистая энергия переходит в тепловую.

Особенности действия лучистого тепла зависят от длины волны инфракрасного излучения. Длинные волны (1,4 – 10 мкм) поглощаются слоем кожи, вызывая нагревательный эффект. Короткие волны проникают глубоко внутрь организма, нагревая внутренние органы, мозг, кровь.

Длительное воздействие повышенной температуры в сочетании с большой влажностью может привести к перегреванию организма. При этом у человека возникает головная боль, тошнота, сердцебиение, общая слабость, рвота, потоотделение, частое дыхание, тахикардия. В результате облучения головы инфракрасными лучами коротковолнового диапазона, происходит тяжелое поражение мозговой ткани вплоть до выраженного менингита и энцефалита. В тяжелых случаях наблюдаются судороги, бред, потеря сознания. При этом температура тела остается нормальной или повышается незначительно.

Влияние микроклимата с недопустимыми параметрами на организм человека представлено в виде схемы на рис. 3.



Рис. 3. Влияние дискомфортного микроклимата на человека

В случае несоблюдения гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека и возрастает опасность появления травм и ряда заболеваний, в том числе и профессиональных.

Воздействие на организм высокой температуры вызывает понижение кровяного давления. Это результат перераспределения крови в организме, где происходит отток крови от внутренних органов и глубоких тканей и переполнение периферических (кожных) сосудов. Кроме того, высокая температура воздуха неблагоприятно действует на функции органов пищеварения и на витаминный обмен.

При тяжёлой работе в условиях повышенной температуры воздуха теряется 30 – 40 г соли NaCl (всего в организме около 140 г NaCl). Дальнейшая потеря солей вызывает мышечные спазмы, судороги.

При низких температурах окружающей среды в организме усиливаются окислительные процессы, увеличивается внутренняя теплопродукция, за счет чего и сохраняется постоянная температура тела. На холоде люди стараются больше двигаться или работать, так как работа мышц ведет к усилению окислительных процессов и увеличению теплопродукции. Дрожь, появляющаяся при длительном нахождении человека на холоде, есть не что иное, как мелкие подергивания мышц, что также сопровождается усилением окислительных процессов и, следовательно, повышением теплопродукции.

В горячих цехах, где температура окружающего воздуха может достигать высоких величин и имеется интенсивное инфракрасное излучение, терморегуляция организма осуществляется несколько иначе. Если температура окружающего воздуха равна или выше температуры кожного покрова (32–34 °С), человек лишен возможности отдавать избытки тепла конвективным путем. В этих условиях терморегуляция крайне затруднена, так как основная нагрузка падает на третий путь: теплоотда-

чи испарением влаги. Это приводит к перегреву тканей человеческого организма и к повышению вероятности отказа сердечно-сосудистой системы.

Таким образом, высокая и низкая температуры воздуха (неблагоприятные для человеческого организма) оказывает негативное влияние на жизненно важные органы и системы человека (сердечно-сосудистую, центральную нервную систему, пищеварительную), вызывая нарушения нормальной их деятельности, а при наиболее неблагоприятных условиях может вызвать серьезные заболевания в виде перегревания организма, называемые в быту тепловыми ударами.

## **2. СПОСОБЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Создание оптимальных метеорологических условий в производственных помещениях является сложной задачей, решить которую можно за счет комплексного применения следующих мероприятий и средств:

1. Усовершенствование и внедрение новых технологий и оборудования, не связанных с необходимостью проведения работ в условиях интенсивного нагрева дает возможность уменьшения выделений тепла в производственные помещения.

2. Рациональное размещение технологического оборудования. Основные источники тепла желательно размещать непосредственно под аэрационным фонарем, около внешних стен здания и в один ряд на таком расстоянии друг от друга, чтобы тепловые потоки от них не перекрещивались на рабочих местах.

3. Автоматизация и дистанционное управление технологическими процессами позволяют во многих случаях вывести человека из производственных зон, где действуют неблагоприятные факторы.

4. Рациональная вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха. Они являются наиболее распространенными способами нормализации микроклимата в производственных помещениях. Использование такого метода, как воздушное душирование, позволяет эффективно бороться с перегревом рабочих в горячих цехах.

5. Рационализация режимов труда и отдыха. Достигается сокращением длительности рабочего времени за счет дополнительных перерывов, созданием условий для эффективного отдыха в помещениях с нормальными метеорологическими условиями.

6. Применение теплоизоляции оборудования и защитных экранов. В качестве теплоизоляционных материалов широко используют: асбест, асбоцемент, минеральную вату, стеклоткань, керамзит, пенопласт.

7. Использование средств индивидуальной защиты.

Если параметры микроклимата выходят за пределы не только оптимальных, но и допустимых температур, их приводят в соответствие с нормами техническими способами или используют медико-профилактические и индивидуальные защитные меры которые представлены на рис. 4.

Как наиболее распространенные меры по нормализации параметров микроклимата производственной среды рассмотрим подробнее принцип вентиляции и кондиционирования воздушного пространства производственных помещений.

Под вентиляцией понимают систему мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения на постоянных рабочих местах, в рабочей и обслуживаемой зонах помещений допустимых (оптимальных) параметров микроклимата и чистоту воздушной среды, соответствующих гигиеническим и техническим требованиям.

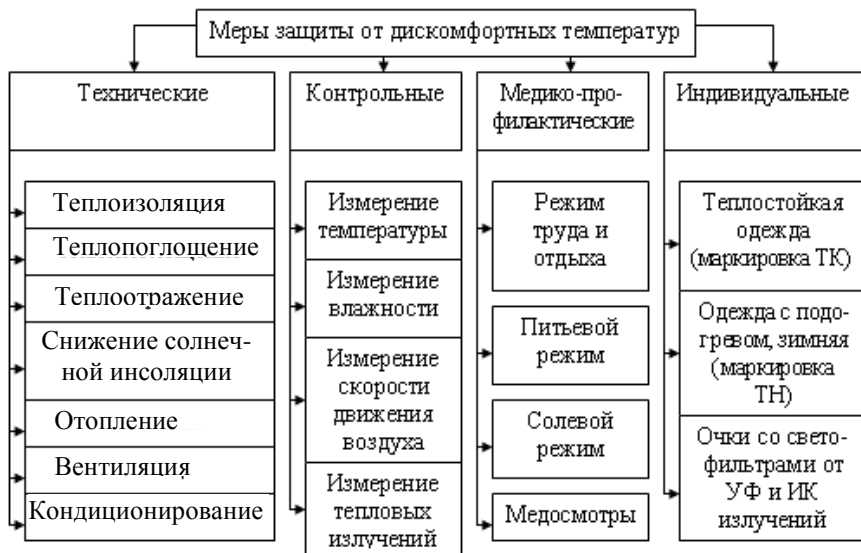


Рис. 4. Меры защиты от дискомфортной температуры

Вентиляция классифицируется по таким признакам:

1. По способу перемещения воздуха: естественная, искусственная (механическая) и совмещенная (естественная и искусственная одновременно).
2. По направлению потока воздуха: приточная, вытяжная, приточно-вытяжная.
3. По месту действия: общеобменная, местная, комбинированная.

Естественная вентиляция в помещениях организуется за счет теплового (разницы плотностей приточного и вытяжного воздуха) и ветрового (под действием силы ветра) напоров. Естественная вентиляция может быть неорганизованной и организованной. Организованная естественная вентиляция называется аэрацией. Для аэрации в стенах здания делают отверстия для поступления наружного воздуха, а на крыше или в верхней час-



ти здания устанавливают специальные устройства (фонари) для удаления отработанного воздуха. Преимуществом естественной вентиляции является ее дешевизна и простота эксплуатации. Основным ее недостаток в том, что воздух поступает в помещение без предварительной очистки, а удаляемый отработанный воздух также не очищается и загрязняет окружающую среду.

Искусственная (механическая) вентиляция, в отличие от естественной, предоставляет возможность очищать воздух перед его выбросом в атмосферу, улавливать вредные вещества непосредственно около мест их образования, обрабатывать приточный воздух (очищать, подогревать, увлажнять), более целенаправленно подавать воздух в рабочую зону. Кроме того, механическая вентиляция позволяет организовать воздухозабор в наиболее чистой зоне территории предприятия и даже за ее пределами.

Местная вентиляция может быть приточной и вытяжной. Местная приточная вентиляция, при которой осуществляется концентрированная подача приточного воздуха заданных параметров (температуры, влажности, скорости движения), выполняется в виде воздушных душей, воздушных и воздушно-тепловых завес. Воздушные души используются для предотвращения перегрева рабочих в горячих цехах, а также для образования так называемых воздушных оазисов (участков производственной зоны, которые резко отличаются своими физико-химическими характеристиками от остального помещения).

Воздушные и воздушно-тепловые завесы предназначены для предотвращения проникновения в помещения значительных масс холодного наружного воздуха при необходимости частого открывания дверей или ворот. Воздушная завеса создается струей воздуха, которая направляется из узкой длинной щели, под некоторым углом навстречу потоку холодного воздуха. Местная вытяжная вентиляция осуществляется при помощи местных вытяжных зонтов, всасывающих панелей, вытяжных

шкафов, бортовых отсосов и других устройств. Конструкция местного отсоса должна обеспечить максимальное улавливание вредных выделений при минимальном количестве удаляемого воздуха. Кроме того, она не должна быть громоздкой и мешать обслуживающему персоналу работать и следить за технологическим процессом.

Естественная и искусственная вентиляции должны отвечать следующим санитарно-гигиеническим требованиям:

1. Создавать в рабочей зоне помещений соответствующие нормам метеорологические условия труда (температуру, влажность и скорость движения воздуха).

2. Полностью удалять из помещений вредные газы, пары, пыль и аэрозоли или растворять их до предельно допустимых концентраций.

3. Не вносить в помещение загрязненный воздух снаружи или путем засасывания из смежных помещений.

4. Не создавать на рабочих местах сквозняков или резкого охлаждения.

5. Быть доступными для управления и ремонта в процессе эксплуатации.

6. Не создавать в процессе эксплуатации дополнительных неудобств (например, шума, вибраций, попадания дождя, снега).

Кондиционирование воздуха – это создание и автоматическое поддержание в помещениях постоянных или изменяющихся по программе определенных метеорологических условий, наиболее благоприятных для работающих или требуемых для нормального протекания технологического процесса.

На промышленных предприятиях кондиционирование воздуха применяется либо для обеспечения комфортных санитарно-гигиенических условий, создание которых обычной вентиляцией невозможно, либо как составная часть технологического процесса.

Кондиционирование воздуха может быть полным и неполным. Полное кондиционирование воздуха предусматривает регулирование температуры, влажности, подвижности и чистоты воздуха, а также, в ряде случаев, возможность его дополнительной обработки (обеззараживания, ароматизации, ионизации), например, с помощью центрального кондиционера (рис. 5). При неполном кондиционировании регулируется только часть параметров воздуха.

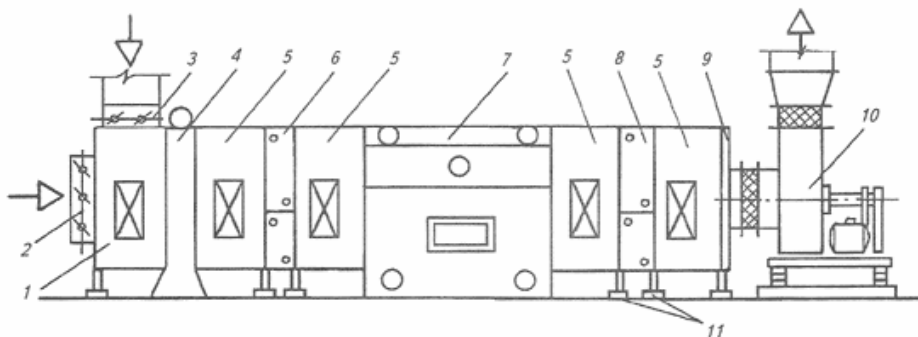


Рис. 5. Принципиальная схема кондиционера:

1 - смесительная камера; 2 - утепленный клапан; 3 - регулирующий клапан; 4 - противопоыльный фильтр; 5 - воздушная камера; 6 - секция первого подогрева; 7 - форсуночная камера орошения; 8 - секция второго подогрева; 9 - переходная секция; 10 - вентилятор; 11 - опоры

Кондиционирование применяют:

а) для поддержания определенных температурно-влажностных условий, позволяющих производить обработку материалов и изделий с минимальными допусками (точное машиностроение);

б) обеспечения особой чистоты воздуха и исключения выделения влаги из него, а также пота с рук рабочих на точно обработанные поверхности изделий (полупроводниковая, электровакуумная промышленность);

в) поддержания заданного влагосодержания материалов и изделий.

Центральный кондиционер состоит из трех основных частей:

1) отделения смешения воздуха (рис. 5, поз. 1), где рециркуляционный воздух из помещения смешивается с наружным, а в холодное время подогревается калорифером;

2) промывной камеры (рис. 5, поз. 4, 7), где воздух очищается, увлажняется и охлаждается (в летнее время) водой, распыляемой форсунками;

3) отделения первого и второго подогрева (рис. 5, поз. 6, 8), где очищенный воздух вновь подогревается калорифером, его относительная влажность снижается до заданной, и воздух вентилятором направляется в воздуховод.

### **3. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Для поддержания требуемых параметров микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха в рабочей зоне) на рабочем месте необходим их постоянный контроль. Для этого на рабочих местах проводится анализ состояния воздушной среды с помощью различных устройств.

Для контроля параметров микроклимата применяются:

1. Термометры (для определения температуры).
2. Гигрометры и психрометры (для определения относительной влажности).
3. Анемометры (для определения подвижности воздуха).

Влажность воздуха определяют психрометром Августа. Он состоит из двух термометров – сухого и влажного. Зная разность температур сухого и влажного термометров, по специ-

альным психрометрическим таблицам, прилагаемым к каждому прибору, определяют относительную влажность воздуха.

На рис. 6 приведен внешний вид приборов контроля параметров микроклимата.

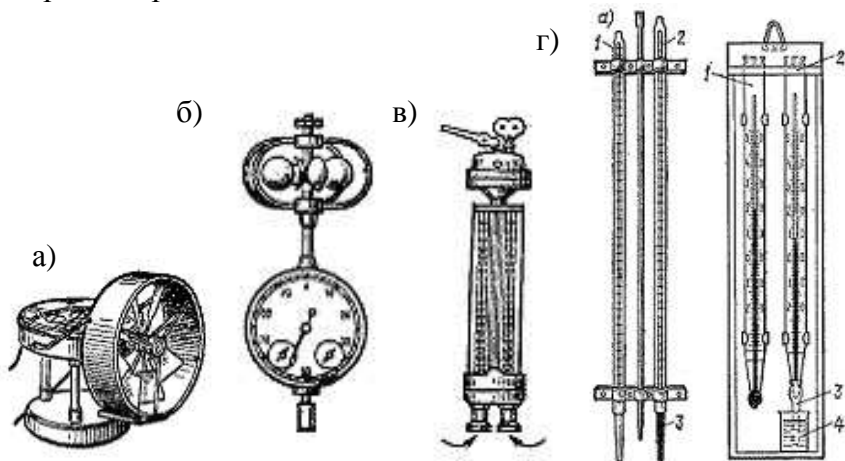


Рис. 6. Приборы контроля параметров микроклимата:  
*a* – анемометр крыльчатый; *б* – анемометр чашечный; *в* – психрометр Ассмана; *г* – психрометр Августа

Считается, что использование психрометра Ассмана (рис. 6) позволяет определить относительную влажность воздуха точнее, чем с применением психрометра Августа. Это объясняется тем, что конструкция психрометра Ассмана более совершенна – термометры обдуваются воздухом во время измерений, чтобы исключить влияние различных тепловых потоков.

#### 4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

##### Задача 1

Рассчитать, пользуясь формулой (2), потерю теплоты человеком путем конвективного теплообмена. Данные для расче-

та: коэффициент теплоотдачи конвекцией принять для нормальных параметрах микроклимата ( $\alpha_k = 4,06 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ). Температуру поверхности тела человека зимой принять равной  $t_{\text{пов}} = 27,7 \text{ °С}$ . Температуру воздуха окружающей среды принять равной  $t_{\text{ос}} = - 20 \text{ °С}$ . Эффективная поверхность тела человека для практических расчетов  $F_{\text{Э}} = 1,8 \text{ м}^2$ .

#### Задача 2

Рассчитать, пользуясь формулой (3), потерю теплоты человеком путем теплопроводности. Коэффициент теплопроводности тканей одежды человека принять равным  $\lambda_0 = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$ , толщину одежды человека  $\delta_0 = 0,005 \text{ м}$ . Данные по температурам тела и воздуха, а также площади тела человека принять по условиям задачи 1.

#### Задача 3

Рассчитать, пользуясь формулой (4), потерю теплоты человеком путем излучения. Для практических расчетов принять приведенный коэффициент излучения  $C_{\text{пр}} \approx 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ , степень черноты окружающих предметов  $\varepsilon = 0,6$ ; площадь поверхности, излучающей лучистый поток ( $F_1$ ), принять равной площади тела (задача 1),  $\text{м}^2$ . Коэффициент облучаемости принять равным  $\psi_{1-2} = 1$ . Среднюю температуру поверхности тела и одежды человека ( $T_1$ ) принять из задачи 1, К; среднюю температура окружающих поверхностей ( $T_2$ ) принять также из задачи 1.

#### Задача 4

Рассчитать, пользуясь формулой (5), потерю теплоты человеком за счет испарения влаги с поверхности кожи. Массу выделяемой и испаряющейся влаги принять как для очень тяжелой работы, при температуре воздуха равной  $18 \text{ °С}$ . Скрытую теплоту испарения выделяющейся влаги принять равной  $r = 2260 \text{ кДж}/\text{кг}$  (для воды).

#### Задача 5

Рассчитать, пользуясь формулой (6), потерю теплоты человеком за счет нагрева вдыхаемого воздуха. Объем воздуха,

вдыхаемого человеком в единицу времени, принять равным  $V_{\text{лв}} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$  (как для тяжелой работы). Плотность вдыхаемого воздуха принять равной  $\rho_{\text{вд}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; удельную теплоемкость выдыхаемого воздуха принять  $C_p = 1,2 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ; температуру выдыхаемого воздуха и температуру вдыхаемого воздуха принять равными соответственно  $t_{\text{выд}} = 37 ^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{вд}} = -20 ^\circ\text{C}$ .

#### Задача 6

Рассчитать суммарные тепловые потери человеком по результатам полученных данных решений задач 1 – 5.

Данные для расчетов по вариантам со 2-го по 12-й принять из следующей таблицы.

| № варианта | Задача 1        |                | Задача 2    |            | Задача 4        | Задача 5        |
|------------|-----------------|----------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
|            | $t_{\text{oc}}$ | $F_{\text{э}}$ | $\lambda_0$ | $\delta_0$ | $t_{\text{oc}}$ | $t_{\text{вд}}$ |
| 2          | - 30            | 1,5            | 0,038       | 0,001      | 16              | -30             |
| 3          | - 15            | 1,6            | 0,045       | 0,003      | 28              | -15             |
| 4          | - 25            | 1,7            | 0,05        | 0,005      | 35              | -25             |
| 5          | - 35            | 1,8            | 0,06        | 0,005      | 45              | -35             |
| 6          | - 40            | 1,9            | 0,1         | 0,01       | 16              | -40             |
| 7          | - 45            | 1,6            | 0,038       | 0,008      | 18              | -45             |
| 8          | - 50            | 1,8            | 0,05        | 0,005      | 28              | -50             |
| 9          | - 30            | 1,8            | 0,08        | 0,01       | 35              | -30             |
| 10         | - 15            | 1,7            | 0,038       | 0,003      | 45              | -15             |
| 11         | - 25            | 1,6            | 0,02        | 0,01       | 16              | -25             |
| 12         | - 35            | 1,7            | 0,02        | 0,009      | 18              | -35             |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют основные термины микроклимата производственных помещений, перечислите их.

2. Какими путями осуществляется теплообмен человека с окружающей средой? Сколько процентов от общего составляет

каждый путь теплового взаимодействия человека с окружающей средой от общего теплообмена?

3. Чем опасно нарушение процессов теплообмена для жизни и здоровья человека?

4. Когда человек скорее почувствует холод – когда он в сухой или влажной одежде? Почему человек, длительное время находящийся в холодной воде, может погибнуть, несмотря на то, что температура незамерзшей воды выше 0 °С?

5. Какие существуют способы нормализации параметров микроклимата? Какие системы (вентиляции или кондиционирования) служат для создания оптимальных, а какие допустимых параметров микроклимата?

6. Какие существуют приборы контроля параметров микроклимата? Применение какого типа психрометра позволяет получить более точные данные?

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 03.01.99. – М. : Госстрой России, 1999. – 12 с.

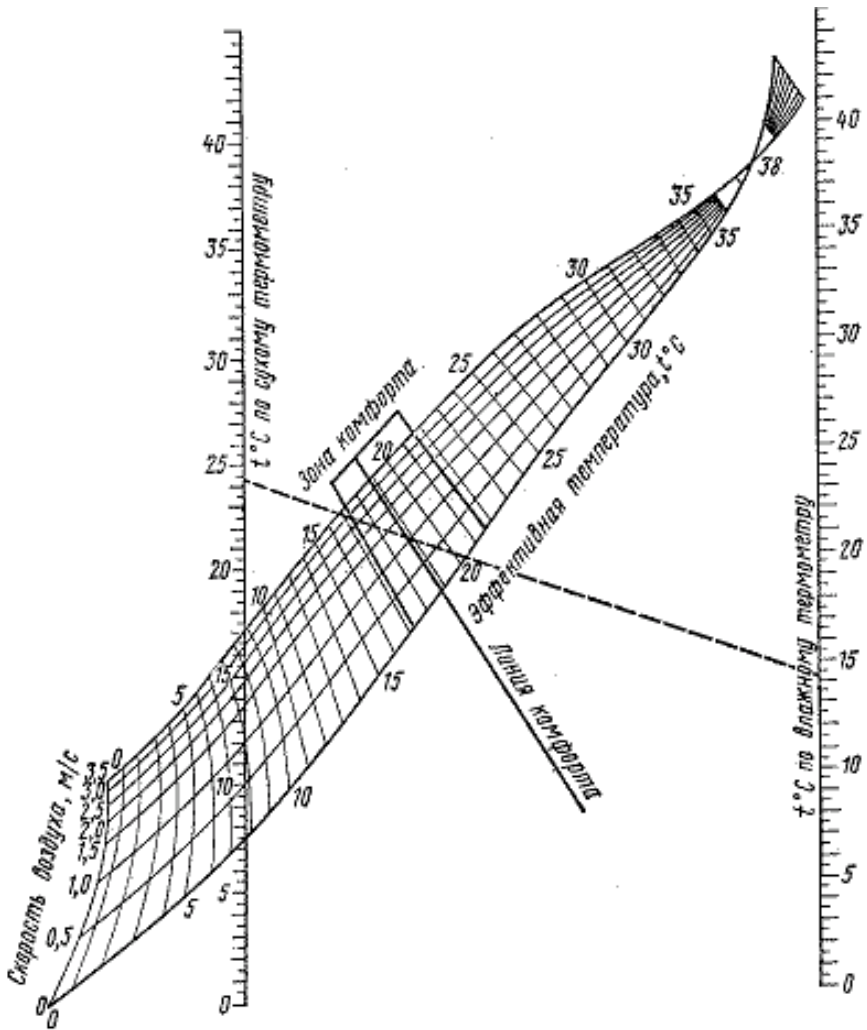
2. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков [и др.]. – М.: Высш. шк., 2011. – 606 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88. ССТБ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ. 01.01.89. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 30 с.

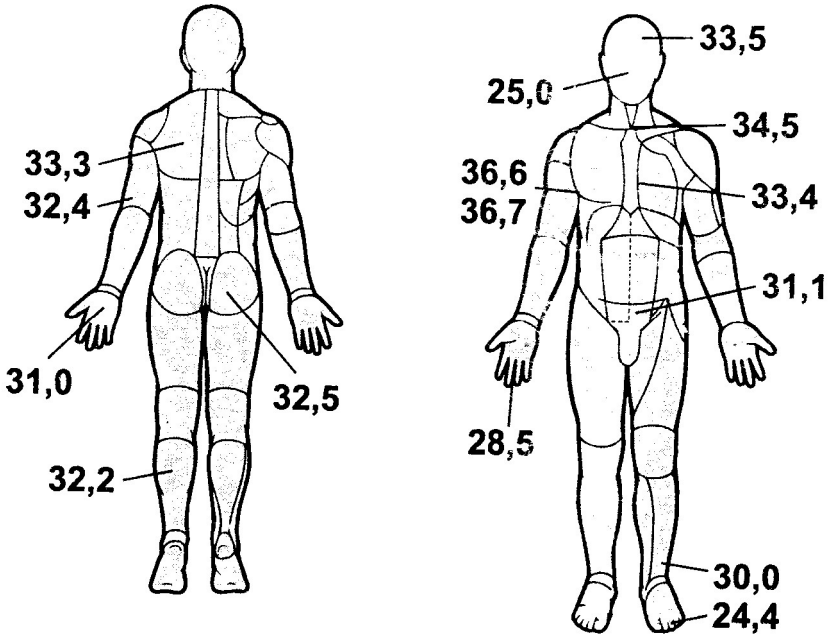
4. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/Под ред. Л.А.Михайлова. – СПб.: Питер, 2009 г. – 461с.: ил.

5. Охрана труда: Универсальный справочник. – 4 изд., перераб. и доп./Под ред. Касьяновой. – М.: АБАК, 2009. – 560с. + CD.





Номограмма для определения эффективной температуры и зоны комфорта



Температура отдельных частей тела человека, °C при температуре воздуха  $t = 0$  °C