



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасности технологических процессов  
и производств»

## **Практикум**

по дисциплине «Медико-биологические  
основы безопасности»

# **«Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата»**

Автор  
Евстропов В.М.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Методические указания предназначены для обучающихся очной и заочной форм обучения направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», изучающих дисциплину «Медико-биологические основы безопасности».

## Автор

д.мед.н., профессор кафедры «БТПиП»  
Евстропов В.М.





## Оглавление

<b>1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Теплообмен с окружающей средой .....	4
2.2. Механизмы теплоотдачи в процессе теплообмена ....	4
2.3. Терморегуляция и ее механизм.....	5
2.4. Микроклимат производственных помещений .....	6
2.5. Метеорологические условия и заболеваемость работающих на открытых площадках.....	7
2.6. Патология нарушения терморегуляции .....	9
<b>3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ .....</b>	<b>12</b>
3.1. Определение эквивалентной и эквивалентно- эффективной температур.....	12
3.2. Расчет по семибальной шкале тепловых ощущений человека .....	15
3.3. Расчет потерь тепла человеком путем излучения ....	18
3.4. Расчет потерь тепла конвекцией.....	19
3.5. Расчет потерь тепла испарением .....	20
<b>4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>23</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>24</b>

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться оценивать комфортность микроклимата и величину теплотерь организма тепловым излучением, конвекцией, испарением. Освоить технологический алгоритм приборного определения относительной влажности и скорости движения воздуха.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1. Теплообмен с окружающей средой

Теплообразование в организме человека происходит за счет биохимических механизмов обмена веществ (окислительных экзотермических реакций), сокращения мышц (биомеханика), а также физических механизмов поглощения тепла, получаемого из окружающей среды.

### 2.2. Механизмы теплоотдачи в процессе теплообмена

Процессы теплоотдачи обычно происходят на поверхности кожи и слизистых оболочек дыхательных путей.

Существуют три физических механизма теплоотдачи: теплопроводение (кондукция и конвекция), теплоизлучение и испарение. При кондукции происходит прямая передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому, неподвижно с ним соприкасающемуся (от поверхности тела в неподвижный воздух и т.д.), при конвекции – в условиях перемещения тела и внешней среды относительно друг друга (при обдувании тела ветром и т.д.). Интенсивность кондукции зависит, помимо температурной разницы более и менее нагретых тел, еще и от теплоемкости и теплопроводности среды. На интенсивность конвекции влияют как перечисленные факторы, так и скорость перемещения тел относительно друг друга. Конвекция играет в процессах теплоотдачи значительно большую роль, чем кондукция.

Теплоизлучение представляет собой теплоотдачу лучистым путем, в основном за счет инфракрасной части спектра. При теплоизлучении передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому прямо зависит от разницы температур между ними. Теплоотдача при испарении с влажной поверхности в воздух происходит за счет потерь тепловой энергии, уносимой молекулами, отрывающимися от этой поверхности. Теплоотдача испарением

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

находится в прямой зависимости от скорости движения воздуха и в обратной – от его относительной влажности.

В состоянии покоя человека и при нормальных метеорологических условиях теплопотери организма распределяются, в соответствии с их механизмом, следующим образом. Наибольший удельный вес от всей теплоотдачи организма составляет теплопередача излучением (в среднем 44 – 59 %) , конвекцией – несколько меньше (14 – 33 %), и, наконец, испарением пота – 22 – 29 %.

При пониженной температуре воздуха и окружающих поверхностей возрастает удельный вес теплоотдачи конвекцией и тепловым излучением, причем, при температурах окружающей среды ниже температуры поверхности тела, увеличению теплоотдачи, с помощью этих механизмов, способствует повышение скорости движения воздуха. При низкой температуре воздуха повышенная влажность способствует увеличению теплоотдачи конвекцией и за счет интенсивного поглощения водяными парами энергии излучения человека.

При повышенной температуре воздуха (горячие цеха и др.) увеличивается удельный вес испарения пота, на фоне существенного снижения теплопотерь путем конвекцией и излучением. С повышением температуры воздуха влияние уровня его влажности возрастает, поскольку увеличение содержания влаги в воздухе уменьшает физиологический дефицит его насыщения и тем самым ограничивает теплоотдачу испарением пота.

### 2.3. Терморегуляция и ее механизм

С помощью приспособительных механизмов (терморегуляция) организм человека может поддерживать температуру тела в физиологических пределах, изменяя соотношение процессов теплообразования и теплоотдачи в зависимости от температуры внешней среды. Под терморегуляцией понимают совокупность физиологических процессов, обеспечивающих при изменении показателей микроклимата постоянство температуры тела человека в допустимых физиологических границах 36,4 – 37,5°C, наиболее благоприятных для протекания всех химических реакций в организме и деятельности головного мозга.

Если физическая терморегуляция не обеспечивает тепловой баланс, в организме подключаются механизмы химической терморегуляции, заключающиеся в изменении скорости протекания окислительно-восстановительных реакций: скорости сжигания питательных веществ и, соответственно, выделяемой энер-

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

гии. При невысокой температуре окружающей среды теплообразование увеличивается, а при повышенной – уменьшается. При низкой температуре происходит сужение сосудов, повышение обмена веществ и др. При воздействии холода активизируется мышечная деятельность – появляется дрожь.

Терморегуляция осуществляется с помощью достаточно сложной системы, к основным звеньям которой относят терморцепторы (холодовые и тепловые), нервы и нервный центр, расположенный в гипоталамусе. Кроме того, эффекторными органами являются эндокринные и потовые железы, скелетные мышцы, кровеносные сосуды кожи и т. д. Эффективность терморегуляции обусловлена наличием трех основных способов ее реализации: биохимического (изменение интенсивности обмена веществ); путем изменения интенсивности кровообращения; путем изменения интенсивности потоотделения (изменении интенсивности процесса испарения). При терморегуляции с помощью изменения интенсивности кровообращения регулируется, путем сужения или расширения кровеносных сосудов, подача крови – как теплоносителя от внутренних органов к поверхности тела. При высокой температуре окружающей среды расширение сосудов кожи вызывает приток к ней большого количества крови, и, таким образом, повышение температуры поверхности тела, в результате чего увеличивается отдача тепла в окружающую среду. При низких температурах воздуха происходит наоборот сужение сосудов кожи, уменьшение притока крови к коже и, следовательно, уменьшение теплоотдачи.

### 2.4. Микроклимат производственных помещений

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды данных помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ), влажности (относительная влажность воздуха, %), скорости движения (подвижности) воздуха (м/с), температуры окружающих поверхностей и их теплового излучения (интенсивность теплового излучения,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Его параметры в значительной степени зависят не только от таких относительно глобальных микроклимат-формирующих факторов как климат и сезон года, но и от достаточно переменчивых локальных особенностей теплофизической специфики технологического процесса в помещении, условий отопления и вентиляции.

В состоянии покоя или выполнения лёгкой физической работы для здорового человека в повседневной одежде комфорт-

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

ными, обеспечивающими хорошее тепловое самочувствие, показателями микроклимата, при которых не происходит выраженного напряжения физиологических механизмов приспособления, считают следующие:

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

### **2.5. Метеорологические условия и заболеваемость работающих на открытых площадках**

Метеорологические условия – комплекс физических факторов окружающей среды, влияющих на теплообмен организма и его тепловое состояние, определяющихся в основном погодой и климатом. Метеоусловия включают в себя прежде всего совокупность атмосферных явлений: температуры, влажности и подвижности воздуха, атмосферного давления. Кроме того, микроклимат могут формировать инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, геомагнитное поле и ионизация воздуха.

Климат – устоявшееся многолетнее состояние погоды, характерное для данной местности. Показатели климата: многолетние среднестатистические данные температуры, влажности воздуха, количества выпадающих осадков, атмосферного давления, розы ветров и их скорости, количество солнечного излучения а также ясных и пасмурных дней, глубины промерзания почвы. С медицинских позиций выделяют щадящий и раздражающий климат. Щадящим считают климат, минимально нагружающий адаптационные механизмы – теплый с небольшими годовыми, месячными и суточными колебаниями метеофакторов (лесной климат средней полосы). Раздражающий климат – с большой суточной и сезонной амплитудой колебаний метеофакторов (холодный климат Севера, высокогорный и жаркий климат степей).

Характер метеоусловий важен для работающих на открытых площадках (строители, монтажники, сельскохозяйственные рабочие и др.). Жаркая безветренная погода с высокой влажностью воздуха напрягает терморегуляционные механизмы человека, приводя к перегреву. Низкая температура, высокая влажность воздуха и сильный ветер охлаждают организм, приводя к простудным заболеваниям: ангины, трахеобронхиты, пневмонии, нефриты и др. При интенсивном переохлаждении (сильные мо-

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

розы с ветром) могут возникать отморожения, либо (сильные морозы с сыростью) отморожение нижних конечностей («траншейная стопа»).

При пониженной температуре, большой подвижности и влажности воздуха может быть переохлаждение организма (гипотермия). Увеличение подвижности воздуха на 1м/с повышает ощущение холода на 1,5 – 2 0 С. Возрастает тонус периферических кровеносных сосудов, происходит их сокращение, вследствие чего повышается артериальное давление и увеличивается нагрузка на сердечную мышцу. Появляется скованность движений, боли во всем теле, нервно-психические отклонения. Значительно возрастает производственно-обусловленная заболеваемость: легочные заболевания (трахеиты, бронхиты, пневмонии), заболевания уха, горла, носа (отит, ангина, ринит и др.), сердечнососудистые заболевания (артериальная гипертония, ишемическая болезнь сердца) вторичные иммунодефициты, болезни эндокринной системы и язвенная болезнь.

При работе при температуре воздуха ниже 0°С, сильном ветре и повышенной влажности могут возникнуть холодовые травмы: отморожения ушей, носа и пальцев, проявляющиеся побелением отмороженной части тела и потери ее чувствительности. Они рассматриваются как производственная травма (несчастный случай).

Под влиянием холода могут развиваться профессиональные заболевания: облитерирующий эндоартериит и вегето-сосудистая полиневропатия. При облитерирующем эндоартериите (перемежающаяся хромота) вследствие сужения артерий на ногах ослабляется их пульсация, возникают боли в икроножных мышцах, онемение пальцев стоп, ощущение холода конечностей и бледность их кожи, позднее могут появиться изъязвления и гангренозные изменения.

Вегето-сенсорная полиневропатия – ангионевроз (чаще рук), т.е. заболевание нейро-сосудистого характера, сопровождающееся повышенной зябкостью пальцев, приступами боли, ощущением ползания мурашек. Кожа синее, отекает, может изъязвляться (онемение, ощущение «мурашек», зябкость и боли в конечностях).

К одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия производственной сред, относится температура воздуха (t). Она характерна для производств сопровождающихся существенными тепловыделениями (в металлургической, машиностроительной, текстильной, пищевой промышленности и др.), а

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

также при выполнении строительных, сельскохозяйственных и др. работ на открытом воздухе в условиях жаркого климата ( $t$  более  $30^{\circ}\text{C}$ ). При этом нагревание воздуха в цехах происходит обычно в результате переноса тепла от нагретых поверхностей оборудования потоками воздуха при недостаточном удалении теплоизбытков. В таких цехах, характеризующихся преобладанием конвекционного тепла, поступающего в большом количестве в виде конвекционных потоков от нагретых поверхностей оборудования и материалов, температура может достигать  $35 - 45^{\circ}\text{C}$ .

Пониженная температура воздуха может быть в неотапливаемых рабочих помещениях (элеваторы, склады, некоторые цехи судостроительных заводов), а также при работе на открытом воздухе в холодное и переходное время года (строительство, лесозаготовки, добыча нефти, газа, геологоразведка) в средних широтах ( $t$  от  $0$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ , а в условиях Заполярья и Арктики от  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже).

Тепловое (инфракрасное) излучение, представляет собой электромагнитное излучение (ЭМИ) с длиной волны от  $0,76$  до  $540$  нм, обладающее волновыми, квантовыми свойствами. В производственных условиях гигиеническое значение имеет тепловое (инфракрасное) излучение более в диапазоне  $0,76 - 70$  мкм. Энергия инфракрасных лучей при поглощении твердыми телами трансформируется в тепловую вызывая их нагревание.

### 2.6. Патология нарушения терморегуляции

При длительном пребывании в неблагоприятных метеорологических условиях с постоянным напряжением механизмов терморегуляции возможны стойкие изменения физиологических функций организма – нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы, угнетение функционирования центральной нервной системы, нарушение водно-солевого обмена, снижение иммунитета и общей сопротивляемости организма вредным факторам окружающей среды.

Воздействие высоких температур воздуха в производственных условиях вызывает у работающих обильное потоотделение, быструю утомляемость и негативные изменения функционального состояния центральной нервной системы, проявляющиеся ослаблением внимания, нарушением точности и координации движений, замедлением ответных реакций, что увеличивает риск возникновения производственного травматизма. Нарушение водно-солевого обмена вследствие интенсивного выделения из организма с потом ионов хлора, калия, кальция и витаминов, а также

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

приема большого количества воды ведет к снижению секреции желудочного сока и его бактерицидности, что создает благоприятные условия для развития воспалительных процессов желудочно-кишечного тракта.

При воздействии высоких температур воздуха и интенсивного теплового облучения ограничение отдельных путей теплоотдачи может вызвать значительное напряжение или нарушение терморегуляции, в результате чего становится возможен перегрев организма (профессиональное заболевание).

При сильном перегреве могут возникнуть следующие виды патологии:

1. Острый перегрев (острая гипертермия). Повышается температура тела (до 38°C и более), увеличивается потоотделение (до 200 мл/час и более), возрастает частота сердечных сокращений (до 100 и более в минуту) и дыхательных движений (до 25 и более в минуту). Это сопровождается слабостью, сильным головокружением, нарушением зрительного восприятия, резким ухудшением общего самочувствия и работоспособности.

2. Тепловой удар – возникает в условиях резкого снижения или отсутствия возможности отдачи тепла испарением (сочетание высокой влажности и высокой температуры воздуха).

3. Судорожная форма перегрева – возникает в результате больших потерь минеральных солей при сильном испарении пота, что вызывает нарушение электролитного баланса и приводит к острой мышечной дистрофии. Это сопровождается расстройством координации движений, помрачением сознания или судорогами в мышцах, сухостью кожи, учащенным пульсом, снижением артериального давления и др.

4. Хронический перегрев – возникает при длительном пребывании или работе в условиях сочетания температуры воздуха более 28°C, относительной влажности более 80% и низкой (менее 0,1 м/с) скорости движения воздуха, радиационной температуре выше 23...24°C. При этом чаще возникают обострения и ухудшается течение многих хронических заболеваний (сердечнососудистых, эндокринных, аллергических и др.), ослабляется иммунитет, снижается умственная и физическая работоспособность, а также быстрее наступают утомление и переутомление.

Продолжительное действие на человека низких температур воздуха приводит к понижению температуры кожи и ее тактильной чувствительности, а также – к местному и общему охлаждению организма, проявлением чего является снижение температуры тела. При общем охлаждении организма происходит преимуще-

---

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

щественно изменение функционального состояния центральной нервной системы ЦНС, что проявляется в своеобразном наркотическом эффекте холода (сонливость, адинамия, резкое снижение болевой чувствительности, ослабление мышечной деятельности). Кроме того, при общем охлаждении организма могут возникать простудные заболевания – ОРВИ, грипп, пневмония, а также профессиональные заболевания – полиневрит и радикулит. Развитию простудных заболеваний способствует и местное охлаждение, особенно ног.

### 3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1. Определение эквивалентной и эквивалентно-эффективной температур

Так как измерить «комфортность» какими-либо физическими единицами невозможно, были введены условные единицы измерения в виде эффективных и эквивалентно-эффективных температур. Под эффективной понимают такую температуру насыщенного на 100% влагой воздуха, при которой нормально одетый человек чувствует себя приблизительно так же, как при оцениваемых температуре и относительной влажности воздуха. Эквивалентно-эффективная температура – такая температура неподвижного и насыщенного на 100% влагой воздуха, при которой человек чувствует себя приблизительно так же, как при оцениваемых температуре, влажности и скорости движения воздуха.

**Объект исследования:** человек

**Материалы и оборудование, их применение:** аспирационный психрометр Асмана (рис.3), чашечный (рис.2) или крыльчатый (рис.1) анемометр.

Скорость движения воздуха ( $V$ ) измеряют с помощью крыльчатых или чашечных анемометров. Крыльчатый анемометр АСО-3 типа Б применяют для измерения скорости воздуха в диапазоне от 0,3 до 5 м/с, чашечный анемометр МС-13 – от 1 до 30 м/с. Принцип действия анемометров этих типов основан на том, что частота вращения крыльчатки прямо пропорциональна скорости движения воздуха. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с., а специальный тарировочный паспорт, прилагаемый к прибору, позволяет по вычисленной величине делений определить скорость движения воздуха.

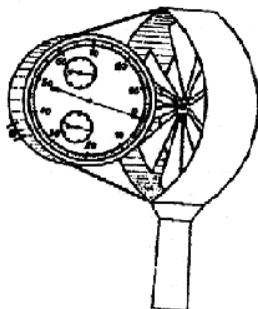


Рис. 1. Анемометр крыльчатый

Особенность работы с чашечным анемометром состоит в том, что его ось вращения крыльчатки должна быть направлена перпендикулярно потоку воздуха, в то время как при работе с крыльчатый – перпендикулярно. До начала работы регистрируют исходное положение стрелки на циферблатах анемометра ( $C_1$ ). После набора постоянной скорости включают счетчик оборотов и отмечают время начала замера. Через 60 секунд ( $\tau$  – время замера) работы прибора счетчик выключают и записывают его показания ( $C_2$ ). Рассчитывают число оборотов в секунду:  $V = (C_2 - C_1) / \tau$ . Величина этого показателя переводится в м/с с помощью графика в паспорте прибора.



Рис. 2. Анемометр чашечный

Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

Особенность работы с психрометром Асмана заключается в том, что перед началом измерений батистовую ткань, обернутую вокруг части колбы с ртутью влажного термометра, смачивают дистиллированной водой, используя пипетку. Заводным ключом заводят пружину вентилятора и через 4 – 5 мин регистрируют показания обоих термометров, затем при помощи психрометрической номограммы определяют относительную влажность воздуха.

**Ход работы**

1. Измерьте скорость движения воздуха с помощью крыльчатого анемометра.
2. Измерьте температуру воздуха по показаниям сухого и влажного термометров психрометра.
3. Определите эквивалентную температуру по номограмме эквивалентно-эффективной температуры (рис.1).
4. Определите эквивалентно-эффективную температуру по номограмме эквивалентно-эффективной температуры.

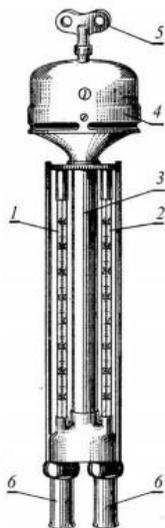


Рис.3. Аспирационный психрометр Асмана  
 1 – сухой термометр; 2 – влажный термометр;  
 3 – термодержатель; 4 – корпус вентилятора; 5 – заводной ключ;  
 6 – гильзы.

**Оценка результатов**

Сравните полученные результаты с номограммой и характе-

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

ризуйте их с позиций микроклиматического комфорта. При этом учитываем, что для спокойно сидящих и нормально одетых людей зона комфорта находится в 15 диапазоне от 20 до 22,2°С эффективной температуры летом и от 18 до 20°С зимой.

### Пример 1

Оцените по величине эффективной температуры степень комфортности спокойно сидящего и нормально одетого оператора с учетом сезона года (лето).

1.Регистрируем скорость движения воздуха ( $v$ ). Она составила 1,5м/с.

2. Определяем температуру воздуха по показаниям термометров психрометра Асмана: сухого ( $T_c$ ) = 24,5°С, влажного ( $T_{вл}$ ) = 14°С.

3. Определяем эффективную температуру по номограмме эквивалентно-эффективной температуры (рис.4), на которой точки, соответствующие этим показаниям психрометра соединены прямой пунктирной линией. На пересечении этой линии с кривой скорости движения воздуха  $v = 0$ м/с находим эффективную температуру:  $T_{эф} = 20,5°С$ .

4. Определяем по номограмме величину эквивалентно-эффективной температуры для скорости движения воздуха  $v = 1,5$ м/с для показаний психрометра, отмеченных на номограмме пунктирной линией ( $T_c = 24,5°С$  и  $T_{вл} = 14°С$ ); эквивалентно-эффективная температура  $T_{э.эф} = 18,6°С$ .

5. Оцениваем полученные результаты. Согласно полученным значениям эффективной и эквивалентно-эффективной температур испытуемый находится вне зоны (диапазона) комфорта.

### 3.2. Расчет по семибалльной шкале тепловых ощущений человека

По семибалльной шкале тепловые ощущения человека, одетого в тонкие брюки, рубашку с длинным рукавом, легкое нижнее белье и выполняющего в помещении не менее 3 ч легкую работу в сидячем положении, оценивают с помощью следующей формулы:

$$B_7 = 0,243t + 0,049p - 2,803, \quad (1)$$

где  $B_7$  – число баллов (по семибалльной шкале), соответствующее определенному теплоощущению работника;

$t$  – температура воздуха в помещении, °С;

$p$  – парциальное давление водяных паров в воздухе,

Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии  
 производственного микроклимата

кПа.

Необходимое для расчетов парциальное давление паров определяют по формуле:

$$p = p_n W / 100, \quad (2)$$

где  $p_n$  – парциальное давление насыщенных водяных паров при данной температуре, кПа: 12,513 при 10°C, 23,83 при 20°C и 43,25 при 30°C;

$W$  – относительная влажность воздуха, %.

**Объект исследования:** человек

**Материалы и оборудование, их применение:** ртутный термометр и психрометр Асмана.

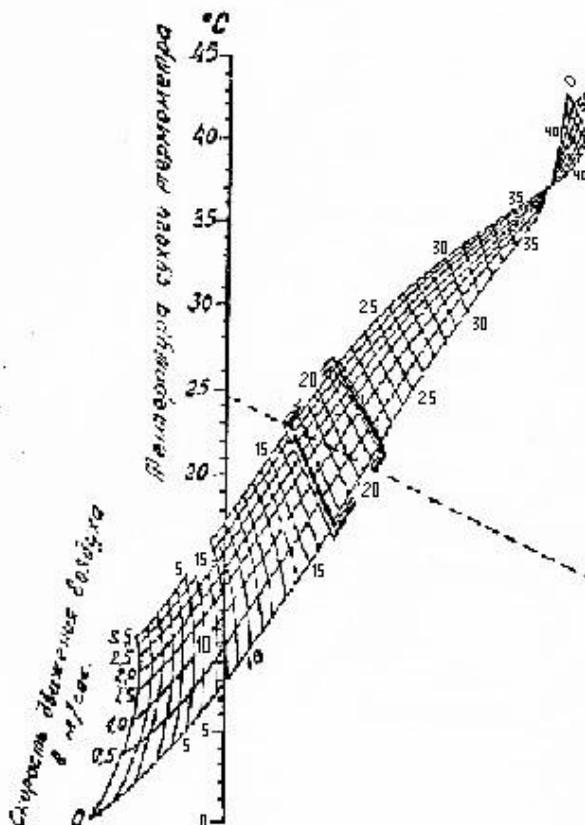


Рис. 4. Номограмма эквивалентно-эффективной температуры

Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии  
производственного микроклимата

***Ход работы***

1. Измерьте температуру воздуха в помещении с помощью ртутного термометра или сухого термометра психрометра Асмана.
2. Определите влажность воздуха в помещении с помощью психрометра Асмана и психрометрической номограммы (рис.5).
3. Рассчитайте по формуле (2) необходимое парциальное давление паров.
4. Рассчитайте по формуле (1) величину балльности теплоощущений.
5. Оцените качественно полученные результаты.

***Оценка результатов***

Теплоощущения человека обычно оценивают по семибалльной шкале: очень холодно (1 балл), холодно (2 б), прохладно (3 б), комфорт (4 б), тепло (5 б), жарко (6 б), очень жарко (7 б).

Пример 2

Рассчитать по семибалльной шкале тепловые ощущения человека, одетого в тонкие брюки, рубашку с длинным рукавом, легкое нижнее белье и выполняющего в помещении не менее 3 ч легкую работу в сидячем положении.

1. Измеряем температуру воздуха в помещении с помощью ртутного термометра спустя 15 минут после его установки в зоне рабочего места. Температура воздуха равна 25°C.
2. Определяем относительную влажность. Регистрируем показания сухого (25°C) и влажного (20°C) термометров психрометра Асмана. По психрометрической номограмме относительная влажность при этих значениях температур равна 64%.

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

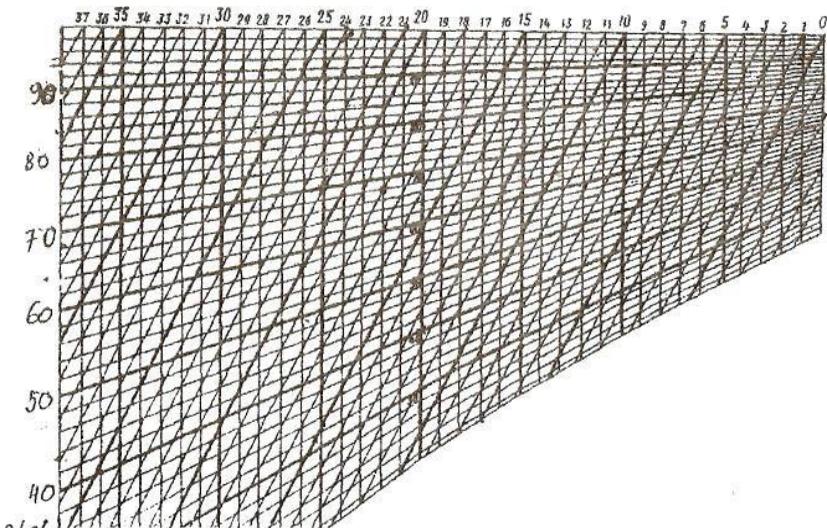


Рис. 5. Психрометрическая номограмма для определения влажности воздуха

3. Рассчитываем по формуле (2) необходимое парциальное давление паров:

$$p = (33,54 \times 64) / 100 = 21,46 \text{ кПа}$$

4. Рассчитываем по формуле (1) величину балльности теплоощущений:

$$B_7 = 0,243 \times 25 + 0,049 \times 21,46 - 2,803$$

$$B_7 = 0,243 \cdot 25 + 0,049p - 2,803 = 4,32$$

5. Величина показателя  $B_7 = 4,32$ , что соответствует ощущению комфорта (4 балла по семибальной шкале теплоощущений человека).

### 3.3. Расчет потерь тепла человеком путем излучения

Этот вид теплопотерь возможен в том случае, когда температура окружающей среды ниже температуры открытых участков поверхности кожи ( $32..34,5^\circ\text{C}$ ) или наружных слоев одежды ( $27..28^\circ\text{C}$  для легко одетого человека и приблизительно  $24^\circ\text{C}$  для человека в теплой зимней одежде). При этом теряемое организ-



## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

мом в единицу времени количество теплоты, Дж/с (1 Дж/с = 1 Вт), рассчитывают по формуле:

$$P_p = S \cdot \sigma \cdot (T_ч^4 - T_о^4), \quad (3)$$

где  $S$  – площадь поверхности тела человека ( $m^2$ ), определяется по графику (рис.6);

$\sigma$  – приведенный коэффициент излучения, Вт/( $m^2 K^4$ ): для хлопчатобумажной ткани  $\sigma = 4,2 \cdot 10^{-8}$ , для шерсти и шелка  $\sigma = 4,310$ , для кожных покровов человека  $\sigma = 5,110^{-8}$ ;

$T_ч$  – температура поверхности тела человека: для раздетого человека  $306^\circ K$  (это соответствует  $33^\circ C$ );

$T_о$  – температура окружающей среды, К.

### 3.4. Расчет потерь тепла конвекцией

Данный вид теплотерь характерен для ситуации при которой температура поверхности кожи или верхних слоев одежды выше температуры омывающего их воздуха.

Приближенно потери теплоты в единицу времени конвекцией, Дж/с, можно определить по формулам 4 (при  $V \leq 0,6$  м/с) или 5 – при  $V > 0,6$  м/с:

$$P_{к1} = 7(0,5 + \sqrt{V})S(T_ч - T_о); \quad (4)$$

$$P_{к2} = 8,4(0,273 + \sqrt{V})S(T_ч - T_о) \quad (5)$$

где  $V$  – скорость движения воздуха, м/с.

## Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии производственного микроклимата

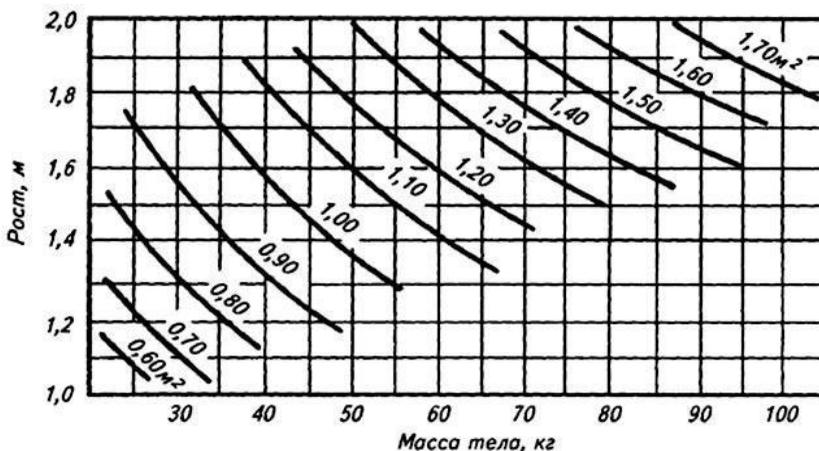


Рис. 6. График для определения площади поверхности тела человека в зависимости от его массы и роста

### 3.5. Расчет потерь тепла испарением

Путем испарения пота организм человека в сутки теряет в среднем около 0,6 л воды. Кроме того, через дыхательные пути испаряется еще около 300...350 г влаги. Потери теплоты организмом можно рассчитать с учетом испарения пота по формуле Витте, либо определить общие потери теплоты испарением в единицу времени.

1.1. Расчет потерь теплоты за счет испарения пота по формуле Витте

Расчет производится по формуле:

$$Q_{\text{исп}} = 17,3 (\epsilon_{\text{ф}} - e) (0,5 - \sqrt{V}), \quad (6)$$

где  $\epsilon_{\text{ф}}$  – максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре кожи, мм рт.ст. (Табл.1);

$e$  – максимально возможное парциальное давление водяного пара в воздухе при его температуре (абсолютная влажность), мм рт.ст. (Табл.1);

$(\epsilon_{\text{ф}} - e)$  – физиологический дефицит насыщения.

1.2. Общие потери теплоты испарением в единицу времени, Дж/с, приближенно определяют по формуле:

$$P_{\text{и}} = 0,6547q(1 + k_{\text{п}}), \quad (7)$$

Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии  
 производственного микроклимата

где  $q$  – интенсивность выделения пота, г/ч, определяемая взвешиванием человека на точных весах (цена деления – 1 г);

$k_l$  – коэффициент пересчета теплоотдачи через легкие, зависящий от температуры окружающего воздуха: при 0 °С  $k_l = 0,43$ ; при 18 °С – 0,3; при 28 °С – 0,23; при 35 °С – 0,035 и при 45 °С  $k_l = 0,015$ . Для взвешивания используют точные весы с ценой деления 1г, например, весы GP 100KS.

Таблица 1  
 Парциальное давление водяных паров в воздухе

t, °С	Р <sub>в.п.</sub> водяных паров при относительной влажности воздуха, %								
	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	80,0	90,0	10,0
18	6,7	7,5	8,2	9,0	9,8	10,5	12,0	12,0	15,0
20	7,9	8,3	9,3	10,2	11,0	11,9	13,6	14,6	17,0
22	8,5	9,8	10,8	11,7	12,8	13,8	15,7	17,3	19,6
24	9,9	11,1	12,2	13,4	14,6	15,6	17,8	20,0	22,2
26	11,1	12,2	13,4	15,0	16,2	17,5	20,0	22,0	25,0
28	12,5	14,0	15,4	16,8	18,2	19,6	22,4	25,2	28,1
30	14,3	15,8	17,4	18,8	20,2	22,0	25,3	28,4	31,5
32	15,8	17,6	19,4	21,3	23,0	24,7	28,4	31,6	35,3
34	17,8	19,6	21,8	24,6	26,4	28,6	31,6	35,6	39,5
36	20,0	22,1	24,3	26,6	28,9	32,0	35,4	40,0	44,2
38	22,1	24,6	27,1	29,6	32,1	34,4	39,4	44,2	49,3
40	24,9	27,4	30,2	32,9	35,6	38,2	44,6	49,6	54,7
42	27,4	30,4	33,4	36,4	39,4	42,4	48,6	54,8	60,7
44	30,4	33,7	37,1	40,3	43,5	47,0	53,9	60,8	67,4
47	33,6	37,2	41,3	44,8	48,8	52,2	59,8	62,7	74,4
48	37,2	41,3	45,4	49,6	53,6	57,7	66,2	74,4	82,7
50	41,6	46,2	50,8	55,5	60,2	64,5	74,0	83,2	92,5

Оценка характеристик теплообмена человека при воздействии  
производственного микроклимата

Пример 2

Рассчитать общие потери теплоты испарением при работе машиниста разливочного крана мартеновского цеха при температуре 45°C.

1. Определяем величину взвешиванием работника до начала работы и три часа спустя. Вес до начала работы составил 72155г, спустя три часа – 72035г;  $q = 72155 - 72035 = 120 \text{ г} / 3 \text{ (часа)} = 40 \text{ г/ч}$ .

2. Рассчитываем общие потери теплоты испарением в единицу времени, Дж/с  $P_{и} = 0,654740(1 + 0,015) = 26,58 \text{ Дж/с}$ .

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте механизмы отдачи тепла организмом в окружающую среду?
2. Физические механизмы теплоотдачи при теплообмене с окружающей средой: (теплопроводение, теплоизлучение и испарение)?
3. Механизмы химической терморегуляции?
4. Микроклимат производственных помещений?
5. Что такое нагревающий микроклимат и каковы его медико-биологические последствия?
6. Производственные травмы и производственно – обусловленная заболеваемость при нагревающем микроклимате?
7. Охарактеризуйте тепловой удар и перегрев?
8. Профессиональные заболевания при нагревающем микроклимате. Виды перегрева?
9. Метеорологические условия и климат. Показатели и виды климата?
10. Значение характера метеоусловий для работающих на открытых площадках?
11. Охарактеризуйте охлаждающий микроклимат и гипотермию?
12. Производственно-обусловленная заболеваемость при охлаждающем микроклимате?
13. Холодовые травмы. Профессиональные заболевания при действии холода?
14. Технологический алгоритм приборного определения относительной влажности и скорости движения воздуха?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.В., Усенко В.Р. Гигиена труда. – М.: Медицина, 1988. – 576 с.
2. Лабораторный практикум по дисциплине Безопасность жизнедеятельности. Ю.А. Амелькович [и др.]. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. 236 с.
3. Бояршинов А.В., Дик А.А., Дмитриев В.М. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2. Производственная санитария: курс лекций. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 84 с.
4. Дивиченко И.В., Рыбка О.А. Физиология человека: учебное пособие. – Белгород, 2008. – 222 с.
5. Еремина Т.В., Гусева Н.И., Перевалова О.А., Тимофеева И.Г. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Ч. 1. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 272 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: лабораторный практикум. С.Ш.Залаева [и др.]. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 114 с.
7. Занько Н.Г., Ретнев В.М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: лабораторный практикум. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 256 с.
8. Занько Н.Г., Ретнев В.М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: учебник. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
9. Зотов Б.И., Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве: учебник для студентов вузов. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Колос, 2003. – 432 с.
10. Колосов Ю.В., Красильщикова С.В. Физиологические основы охраны труда: учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2006. – 56 с.