

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ИНДЕКСЫ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА

Учебно-методическое пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2016

УДК 628.8

Индексы теплового комфорта: Учеб.-метод. пособие / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин; Под ред. А.Б. Сулина и Т.В. Рябовой. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 36 с.

Представлены основные сведения о тепловом балансе человека и методе расчета индексов теплового комфорта. Описан порядок выполнения контрольной работы. В конце работы дан список литературы.

Предназначено для бакалавров направления 16.03.03 Холодильная криогенная техника и системы жизнеобеспечения, изучающих дисциплины «Введение в специальность» и «Основы теории кондиционирования» всех форм обучения.

Рецензент: доктор техн. наук, проф. А.Ю. Баранов

Рекомендовано к печати Советом факультета холодильной, криогенной техники и кондиционирования, протокол № 6 от 15.02.2016 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2016

© Коллектив авторов, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА..... | 4 |
| 2. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЧЕЛОВЕКА..... | 7 |
| 3. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ..... | 10 |
| 4. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДЕЖДЫ | 15 |
| 5. ИНДЕКСЫ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ИСО 7730..... | 19 |
| 6. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ИНДЕКСОВ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В ТАБЛИЧНОМ РЕДАКТОРЕ MICROSOFT EXCEL | 21 |
| 7. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИНДЕКСОВ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА | 25 |
| 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ | 27 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 28 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 29 |

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Находясь в различных метеорологических условиях, человек сохраняет постоянную температуру тела, что обеспечивается терморегуляцией – совокупностью физиологических процессов, обусловленных деятельностью центральной нервной системы.

Процессы терморегуляции можно разделить на три группы:

- обеспечивающие увеличение или уменьшение теплоотдачи (физическая терморегуляция);
- обеспечивающие изменение теплопродукции (химическая терморегуляция);
- действия человека, направленные на создание благоприятного микроклимата и использование одежды (поведенческая терморегуляция).

В условиях нагревающего или охлаждающего микроклимата через терморцепторы формируется ощущение теплового дискомфорта, что вызывает различные поведенческие реакции, которые запускают имеющиеся механизмы терморегуляции для достижения равновесия между теплопродукцией и теплоотдачей и, соответственно, для поддержания постоянной температуры внутренней среды организма.

При таких параметрах микроклимата, когда человек субъективно оценивает свое состояние как комфортное (нейтральное), тепловой баланс между теплопродукцией и теплоотдачей отличается от нуля не более чем на 2 Вт. При превышении теплопродукции над теплоотдачей на величину более чем на 2 Вт микроклимат оценивается как нагревающий. При преобладании теплоотдачи над теплопродукцией на величину более 2 Вт микроклимат оценивается как охлаждающий.

В условиях нагревающего микроклимата при выполнении определенной работы поддержание теплового баланса возможно лишь за счет увеличения теплоотдачи. Теплоотдача может быть увеличена либо путем повышения температуры кожи за счет усиления кровотока, либо увеличением теплоотдачи испарением за счет усиления потоотделения. Отметим, что второй путь более эффективен. В ответ на тепловое воздействие через терморцепторы кожи запускаются механизмы, приводящие к расширению сосудов кожи и уси-

лению деятельности сердечно-сосудистой системы. В результате этих физиологических реакций происходит перераспределение тепла между ядром и оболочкой, направленное на сохранение постоянной температуры внутренней среды (ядра). При значительной тепловой нагрузке, когда температура воздуха и температура окружающих поверхностей выше температуры кожи, теплоотдача испарением при потовыделении является единственным способом отдачи тепла. Меньшее значение по сравнению с испарением пота имеет увеличение теплоотдачи испарением с поверхности дыхательных путей вследствие увеличения частоты и глубины дыхания.

В условиях охлаждающего микроклимата для поддержания температуры ядра на постоянном уровне физиологические механизмы системы терморегуляции обеспечивают увеличение теплопродукции и уменьшение теплопотерь.

Теплопродукция является результатом обмена веществ и энергии в организме вследствие экзотермических химических реакций. Изменение теплопродукции осуществляется сокращением или расслаблением скелетных мышц (ведущий механизм выделения тепла), а также – усилением или ослаблением метаболизма в тканях организма. При мышечных сокращениях большая часть вырабатываемой энергии (до 70–80 %) переходит в тепло. Теплопродукция при физической работе может увеличиваться по сравнению с уровнем в состоянии покоя в 4–5 раз.

Уменьшение теплопотерь достигается за счет спазма микрососудов кожи, падения скорости кровотока и, соответственно, снижения температуры кожи. При этом из-за снижения разности температур кожи и окружающего воздуха и поверхностей снижается теплоотдача конвекцией и радиацией. При сужении сосудов под действием холодного раздражителя происходит перераспределение кровотока с увеличением количества крови, проходящей через сосуды внутренних органов. Это позволяет поддерживать температуру ядра за счет временного снижения температуры оболочки.

Комфортное тепловое состояние создается в условиях микроклимата, когда за счет физической терморегуляции сохраняется тепловой баланс в организме. При этом увеличение теплопродукции вследствие физической работы компенсируется увеличением теплоотдачи без напряжения процессов терморегуляции, а на теплоотдачу испарением приходится не более 30 % всей теплоотдачи.

Комфортным теплоощущениям соответствуют следующие физиологические показатели.

1. Температура тела: в состоянии покоя 36,7 °С (подмышечная), 37,1–37,2 °С (ректальная); при тяжелой физической работе 37,5–37,7 °С (ректальная).

2. Температура кожи в состоянии покоя: на лбу 33,8 °С, на груди 34,2 °С, на кистях 33,1 °С, на голени и на стопах 31,0 °С. Средневзвешенная температура кожи в покое и при легкой физической нагрузке 32,5–33,5 °С. При тяжелой физической работе в связи с охлаждением вследствие испарения средневзвешенная температура кожи составляет 30,2–31,4 °С.

3. Влагопотери в состоянии покоя составляют до 50 г/ч вследствие испарения диффузной влаги. Теплоотдача в окружающую среду за счет испарения составляет 23–27 % от общих теплопотерь, при этом 1/3 теплопотерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 – за счет испарения с поверхности кожи. При тяжелой физической работе комфортное состояние обеспечивается за счет влаговыведения до 180 г/ч (но и при этом теплопотери за счет испарения не превышают 30 % от общих теплопотерь).

4. Показатели сердечно-сосудистой системы. В покое частота сердечных сокращений составляет примерно 72 удара в минуту, при этом минутный объем кровообращения в среднем составляет 4,9–5,6 л. При физической нагрузке комфортное тепловое состояние сохраняется при частоте пульса 90–100 ударов в минуту.

5. Частота дыхания в покое примерно равна 12–15 вдохов в минуту, при этом минутный объем дыхания составляет 6–7,5 л.

2. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЧЕЛОВЕКА

Схематично процессы теплообмена тела человека с окружающей средой приведены на рисунке 1.

Вырабатываемая организмом человека энергия расходуется на выполнение внешней работы (физическая деятельность) и на тепловую энергию тела человека (телопродукция организма). Процесс отвода теплоты от тела человека в окружающую среду включает в себя процессы теплопередачи от внутренних органов (ядра) к кожному покрову и процессы теплообмена наружной поверхности одежды с окружающей средой. Кроме того, в теплообмене с окружающей средой задействован и процесс дыхания человека.

Таким образом, составляющими теплового баланса тела человека с окружающей средой, являются: конвективный теплообмен (вынужденная и свободная конвекции), теплообмен излучением, теплотери вследствие испарения пота и кожной диффузии. Теплообмен в процессе дыхания соответственно включает в себя явные теплотери с нагретым выдыхаемым воздухом и скрытые теплотери вследствие испарения выдыхаемой влаги.

На рисунке 2 приведена схема, иллюстрирующая теплофизические процессы переноса теплоты от тела человека.

Тепловой поток от кожи человека с температурой t_k к наружной поверхности одежды с температурой t_{clo} обратно пропорционален термическому сопротивлению R_{clo} , включающему термическое сопротивление воздушной прослойки и термическое сопротивление комплекта одежды.

Процессы теплоотдачи от поверхности одежды к окружающей среде, в которой могут быть расположены предметы с нагретой или охлажденной поверхностью, характеризуются коэффициентами конвективной теплоотдачи α_k и радиационной теплоотдачи α_p .

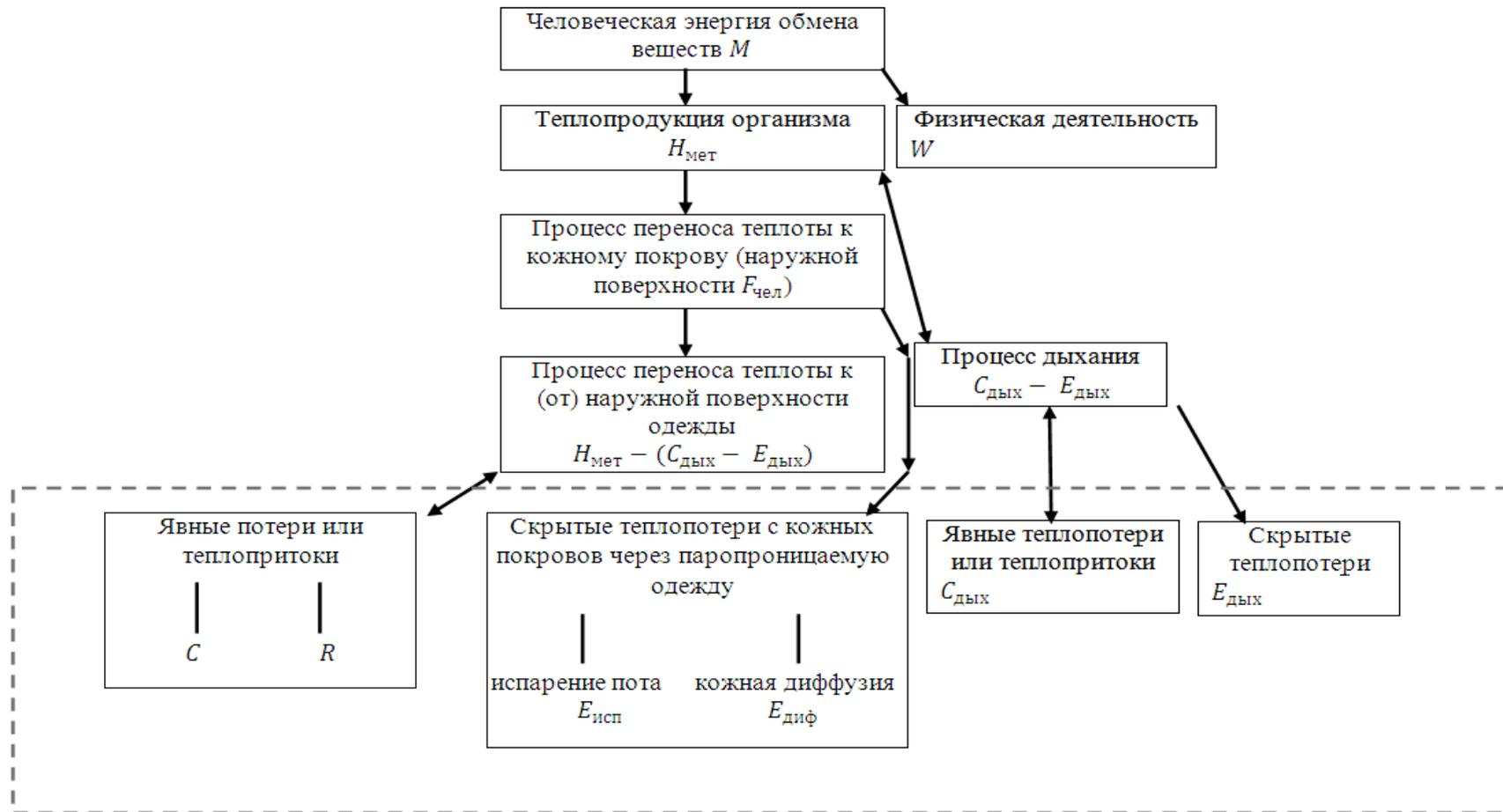


Рис. 1. Схема теплообмена человека с воздухом окружающей среды

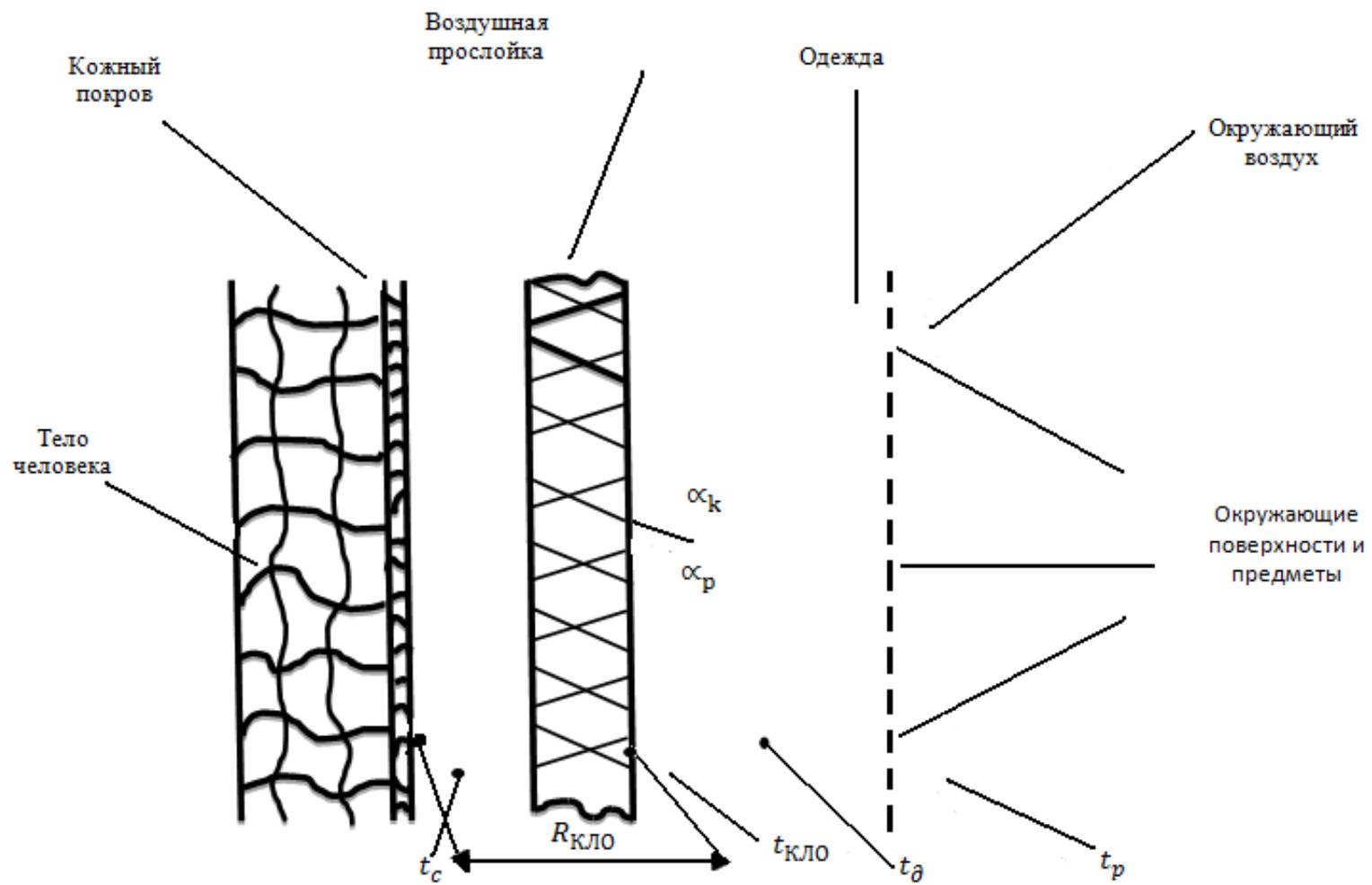


Рис. 2. Схема теплопереноса

3. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Тепловой баланс между телом человека и окружающей средой может быть описан следующим уравнением:

$$M + W - E - RES = K_{cl} + R + C,$$

где M – скорость метаболизма (теплопотерь, теплопродукции) при выполнении работ соответствующей категории, Вт/м²;

W – теплообмен в результате внешней работы (возможна отрицательная величина), Вт/м²;

E – теплообмен в результате испарения пота, Вт/м²;

RES – теплообмен в результате дыхания, Вт/м²;

K_{cl} – кондуктивный теплообмен через одежду, Вт/м²;

R – лучистый (радиационный) теплообмен, Вт/м²;

C – конвективный теплообмен, Вт/м².

Рассмотрим составляющие теплового баланса.

Метаболизм

Интенсивность окислительных процессов в организме человека, вследствие которых вырабатывается энергия для его функционирования, называется метаболизмом. Метаболизм в системе СИ измеряется в ваттах (Вт) или в ваттах, отнесенных к площади поверхности кожи (Вт/м²). При этом принимается, что площадь поверхности кожи человека в среднем равна 1,8 м². Метаболизм часто выражают в единицах «met», при этом 1 met соответствует уровню метаболизма сидящего человека в состоянии покоя (1 met = 68,12 Вт/м²). Данные по уровню метаболизма в зависимости от двигательной активности приведены в Приложении А.

Внешняя работа

Составляющая энергетического баланса человека, связанная с выполнением внешней работы, чаще всего учитывается с положительным знаком. Однако, в некоторых случаях, например, при торможении во время движения вниз по склону, часть потенциальной

энергии преобразуется в тепловую энергию в мышцах, и величина внешней работы принимается с отрицательным знаком. Человек способен преобразовывать внутреннюю энергию метаболизма во внешнюю работу с эффективностью не более 20 % (т. е. КПД человека менее 0,2).

Теплообмен в результате внешней работы W , Вт/м², вычисляют по формуле

$$W = 0,2 \times (M - 88 \div 1,8) .$$

Потери тепла за счет испарения

Теплообмен при испарении происходит вследствие диффузии паров воды через кожу (E_d) и вследствие испарения пота на поверхности кожи (E_{sw})

Теплообмен за счет диффузии паров воды через кожу E_d , Вт/м², вычисляют по формуле

$$E_d = 3,05 \times 10^{-3} \times (5733 - 6,99 \times (M - W) - P_a) .$$

При этом парциальное давление водяного пара в воздухе P_a , Па, вычисляют по формуле

$$P_a = EXP(16,6536 - 4030,183 \div (t_a + 235)) \times 1 \times \varphi ,$$

где φ – относительная влажность воздуха, %.

Теплообмен за счет испарения пота E_{sw} , Вт/м², вычисляют по формуле

$$E_{sw} = 0,42 \times (M - W - 58,15) .$$

Теплопотери при диффузии влаги через кожу составляют, как правило, величину порядка 10 Вт/м². Потеря тепла от диффузии через кожу происходит постоянно и не контролируется системой терморегуляции.

Испарение пота с поверхности кожи (E_{sw}) является одним из наиболее эффективных способов терморегуляции, с помощью которых организм может поддерживать внутреннюю температуру даже при тяжелой работе. Величина этих теплопотерь может изменяться от 0 (состояние покоя) до 400 Вт/м² при очень тяжелой работе в горячей сухой среде.

Потери тепла при дыхании

Теплопотери при дыхании включают:

– теплообмен за счет разности давлений водяного пара вдыхаемого и выдыхаемого воздуха E_{res} , Вт/м²

$$E_{res} = 1,72 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - Pa);$$

– теплообмен за счет разности температур вдыхаемого и выдыхаемого воздуха L , Вт/м²

$$L = 0,0014 \times M \times (34 - t_a).$$

Для нормальных комнатных условий при отсутствии внешней работы потери тепла при дыхании не превышают 2 Вт/м² – 5 Вт/м², и ими можно пренебречь.

Теплопроводность через одежду

Теплообмен теплопроводностью через одежду определяется по формуле

$$K_{cl} = (t_s - t_{cl}) / 0,155 I_{cl}, \text{ Вт/м}^2,$$

где t_s – средняя температура кожи, °С,

t_{cl} – температура наружной поверхности одежды, °С,

I_{cl} – теплоизоляция (термическое сопротивление) одежды, кло (clo).

Средняя температура кожи определяется по формуле

$$t_s = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W).$$

Температура наружной поверхности одежды зависит от условий теплообмена одежды с окружающей средой (естественная и вынужденная конвекция, излучение), которые, в свою очередь, зависят от температуры поверхности одежды. В этой связи температура наружной поверхности одежды определяется методом последовательных приближений в итерационном цикле.

Термическое сопротивление комплекта одежды измеряется в м²К/Вт (система СИ) или в единицах clo (1 clo = 0,155 м²К/Вт). Данные по термическому сопротивлению элементов одежды и термическому сопротивлению некоторых типичных комбинаций одежды приведены в таблице 1. Показатели термического сопротивления элементов одежды приведены в Приложении Б.

Таблица 1

Термическое сопротивление типичных комбинаций одежды

| Комбинация одежды | Кло | м ² К/Вт |
|---|-----|---------------------|
| Без одежды | 0 | 0 |
| Шорты | 0,1 | 0,016 |
| Типичный тропический наряд – Короткие подштанники (трусы), шорты, рубашка с открытой шеей и коротким рукавом, носки и сандалии | 0,3 | 0,047 |
| Легкий летний наряд – Трусы, длинные легкие брюки, рубашка с открытой шеей и короткими рукавами, легкие носки и ботинки | 0,5 | 0,078 |
| Рабочая одежда – Нижнее белье, хлопковая рабочая рубашка с длинными рукавами, рабочие брюки, шерстяные носки и обувь | 0,8 | 0,124 |
| Типичная комбинация одежды внутри помещений в зимний период – Нижнее белье, рубашка с длинными рукавами, брюки, свитер с длинными рукавами, теплые носки и обувь | 1,0 | 0,155 |
| Традиционный европейский деловой костюм – Хлопковое нижнее белье с длинными рукавами, рубашка, костюм, включающий брюки, куртку и жилет, шерстяные носки и теплая обувь | 1,5 | 0,233 |

Теплообмен излучением

Теплообмен излучением (радиационный теплообмен) рассчитывается по закону Стефана-Больцмана. Расчетное выражение с подставленными значениями коэффициентов имеет вид:

$$R = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4),$$

где f_{cl} – коэффициент площади одежды, то есть отношение площади поверхности тела в одежде к площади поверхности обнаженного тела;
 t_r – средняя радиационная температура (средняя температура окружающих поверхностей).

Коэффициент f_{cl} зависит от параметров одежды и вычисляется по формулам:

$$f_{cl} = 1,00 + 0,2 \cdot I_{cl}, \text{ если } I_{cl} \leq 0,5 \text{ кло,}$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl}, \text{ если } I_{cl} > 0,5 \text{ кло.}$$

Теплообмен конвекцией

Теплообмен за счет конвекции рассчитывается по формуле

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a), \text{ Вт/м}^2,$$

где t_a – температура воздуха, °С;

t_{cl} – температура поверхности одежды, °С;

f_{cl} – коэффициент площади одежды;

h_c – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К).

Для свободной конвекции h_c зависит от разности температур между одеждой, t_{cl} и воздуха, t_a :

$$h_c = 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25}, \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Для вынужденной конвекции h_c зависит от относительной скорости движения воздуха:

$$h_c = 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \text{ Вт/(м}^2\text{К)},$$

где v_{ar} – относительная скорость движения воздуха.

Конвекция определяется как свободная, если выполняется условие

$$12,1 \times (V_{ar}^{0,5}) < 2,38 \times (ABS (t_{cl} - t_a)^{0,25}) .$$

В противном случае конвекция определяется как вынужденная.

При расчете вынужденной конвекции важно учитывать именно относительную скорость движения воздуха около тела человека, т. е. алгебраическую сумму скорости движения воздушного потока и скорости движения тела.

4. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДЕЖДЫ

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения теплового комфорта человека является применение одежды (комплектов одежды) с необходимыми теплофизическими характеристиками.

Основные принципы конструирования одежды

Одежда для защиты человека от холода изготавливается с различными теплофизическими параметрами, которые соответствуют реальным условиям её эксплуатации. Для создания одежды необходимы такие сведения, как: физиологические показатели; теплофизические характеристики одежды; конструктивные решения дизайна одежды.

Учитывая, что теплоизоляционные свойства одежды во многом определяются подвижностью находящегося в ней воздуха, можно считать, что тепловое состояние человека будет зависеть от конструкции одежды, которая обеспечивает циркуляцию наружного воздуха в так называемом «пододежном пространстве».

Наибольшими теплоизоляционными характеристиками обладает комбинезон. Для сравнения: термическое сопротивление куртки и брюк составляет 94,5 % от термического сопротивления комбинезона, а термическое сопротивление пальто составляет 91,5 % от термического сопротивления комбинезона.

При движении человека теплоизоляционные свойства одежды чаще всего снижаются. Например, во время ходьбы со скоростью 3,0–3,5 км/ч теплотери человека, одетого в комбинезон или

в куртку с брюками, увеличиваются на 6–8 %, а теплопотери человека, одетого в пальто, увеличиваются на 24 %. Тепловой поток в области ног во время ходьбы увеличивается у одетых в комбинезон и куртку с брюками на 16,4 %, а одетых в пальто – на 36,9 %. Термическое сопротивление конструкции одежды в области ног снижается соответственно на 13,6 % и на 28,4 %. Если теплоизоляционные свойства одежды в комплекте с комбинезоном принять за 100 %, то термическое сопротивление одежды, включающей куртку и брюки, составит 91 %, а термическое сопротивление пальто составит 77 %.

Снижение теплоизоляционных свойств конструкции одежды во время движения может иметь и положительную сторону, например, при выполнении им физической работы. Так, во время ходьбы со скоростью 3 км/ч теплопотери человека, одетого в пальто, увеличиваются примерно на 36 %. Таким образом, большая часть дополнительно образующегося в организме тепла фактически отдается во внешнюю среду за счет увеличения подвижности воздуха, находящегося под одеждой. При конструировании одежды в комбинезонах, куртках и брюках должны быть предусмотрены специальные дизайнерские устройства, которые способствуют увеличению подвижности воздуха в пододежном пространстве и, соответственно, – снижению теплоизоляционных свойств одежды при усилении физической деятельности.

Теплоизоляционные свойства одежды при различном прилегании к поверхности тела человека

Теплоизоляционные свойства одежды определяются толщиной ее комплекта, которая включает толщину материалов и толщину воздушных прослоек. Чем больше толщина воздушных прослоек в одежде, тем более повышается ее термическое сопротивление. Результаты исследований ряда авторов показывают, что данное решение эффективно лишь в пределах толщины воздушных прослоек порядка 5 мм. Роль воздушных прослоек в качестве элементов термического сопротивления при наличии ветра уменьшается. В этом случае значение имеет воздухопроницаемость комплекта одежды. Исследования показали, что термическое сопротивление расклешенного пальто ниже, чем плотно прилегающего, что можно объяснить

большой циркуляцией воздуха. Таким образом, одежда «закрытого» типа конструкции, более плотно прилегающая к поверхности тела человека при одной и той же толщине комплекта одежды, имеет худшие показатели теплоизоляции. Причиной этого считается меньшая фактическая толщина одежды в результате вытеснения воздушных прослоек.

Такая же ситуация наблюдается и при наличии под верхней одеждой большого количества предметов гардероба, которые, с одной стороны, увеличивают подвижность воздуха, а с другой стороны, уменьшают толщину воздушной прослойки.

При направлении ветра в спину человека термическое сопротивление плотно прилегающего комбинезона снижается в области лопаток на 50 % (при скорости ветра 3 м/с), а в области поясицы снижается на 8 %. Если на человеке надет свободно облегающий комбинезон, то термическое сопротивление в области спины уменьшается примерно на 48 %, а в области поясицы, где одежда прилегает меньше, уменьшается примерно на 14 %. Это означает, что охлаждение участков тела, которые подвергаются воздействию ветра, зависит от степени прилегания одежды к поверхности тела.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о преимуществах конструкций одежды «замкнутого» типа (комбинезон, или куртка и брюки, или полукомбинезон), которые свободно облегают тело человека. При проектировании верхней одежды необходимо учитывать толщину предметов одежды, надеваемых под нее, для сохранности определенной свободы облегания тела, а при проектировании конструкций одежды «открытого» типа (пальто, куртки) необходимо обеспечивать плотное прилегание ее к поверхности тела.

Влияние толщины пакета материалов на термическое сопротивление одежды

Теплоизоляционные свойства материала обусловлены главным образом присутствием заключенного в нем воздуха и мало зависят от вида волокон. Существует линейная связь между термическим сопротивлением материалов (пакетов материалов) и их толщиной, которая несколько нарушается для пакетов материалов большой толщины (более 16 мм). Наибольшие изменения термического сопротивления комплекта одежды (комбинезон, куртка и брюки)

наблюдаются только при увеличении толщины материалов от 0 мм до 11 мм. Увеличение толщины материалов одежды более чем на 23 мм приводит к незначительному увеличению термического сопротивления одежды в целом. По мере увеличения толщины пакета материалов уменьшается доля термического сопротивления воздушных прослоек, что играет отрицательную роль, потому что увеличивается материалоемкость одежды.

Показателем эффективности утепления каждого участка тела человека служит отношение суммарного термического сопротивления одежды на конкретном участке, к средней величине термического сопротивления одежды в целом. Чем выше средневзвешенная толщина одежды, тем более неравномерна теплоизоляция различных областей тела человека. Зная, какую средневзвешенную толщину материалов должна иметь одежда, для обеспечения необходимого теплоизоляционного эффекта, можно рассчитать рациональную толщину материалов на каждом участке. Такой подход позволяет повысить термическое сопротивление одежды в целом, не увеличивая общего расхода материалов. Одновременно данное решение обеспечивает благоприятные условия для теплоотдачи с различных областей тела и обеспечивает нормальную топографию температуры кожи.

Зависимость показателей теплозащитных свойств одежды от скорости ветра и воздухопроницаемости пакета материалов

Данные, имеющиеся в литературе, говорят о том, что в условиях некоего ветрового воздействия теплоизоляционные свойства комплекта одежды зависят, в основном, от их воздухопроницаемости и в меньшей степени от их толщины. В условиях ветра различия в суммарном термическом сопротивлении участков одежды, при различной толщине материалов конструкции одежды, нивелируются, если эти участки подвергаются непосредственному воздействию на них потока воздуха. При неподвижном воздухе увеличение толщины комплекта одежды в области плеча с 23 мм до 36 мм приводит к увеличению суммарного термического сопротивления на 15 %, в то время как при скорости ветра порядка 4 м/с и 10 м/с различия в теплоизоляции малозаметны. При увеличении толщины комплекта одежды с 23 мм до 36 мм ее термическое сопротивление независимо от скорости ветра увеличивается на 10 %. Зависимость средневзвешенных величин теплового потока, температуры кожи, дефицита

тепла в организме и теплового сопротивления одежды от скорости ветра носит линейный характер. Степень уменьшения суммарного термического сопротивления комплекта одежды зависит как от скорости ветра, так и от воздухопроницаемости комплекта одежды.

При конструировании специальной одежды летнего назначения на первое место могут выступать ее защитные свойства, например, защита от пыли, нефтепродуктов и т. д. Критерием времени непрерывного пользования одеждой служат показатели теплового состояния человека, соответствующие допустимому функциональному состоянию.

5. ИНДЕКСЫ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ИСО 7730

В соответствии с требованиями международного и российского стандарта ГОСТ Р ИСО 7730 введены понятия индексов теплового комфорта, которые включают в себя в первую очередь два показателя.

Прогнозируемая средняя оценка (*PMV*) – показатель, с помощью которого прогнозируют среднее значение чувствительности к температуре большой группы людей на основе баланса температуры тела человека по семибалльной шкале.

PPD – это показатель, который устанавливает прогнозируемый процент недовольных температурой среды людей, которым слишком тепло или холодно. Под недовольными температурой среды людьми понимают тех людей, которые будут оценивать среду как "жарко", "тепло", "прохладно" или "холодно" по семибалльной шкале температурной чувствительности (таблица 2).

Таблица 2

Семибалльная шкала чувствительности к температуре

| Оценка в баллах | Ощущения человека |
|-----------------|-------------------|
| +3 | Жарко |
| +2 | Тепло |
| +1 | Немного тепло |
| 0 | Нейтрально |
| -1 | Немного прохладно |
| -2 | Прохладно |
| -3 | Холодно |

На рисунке 3 приведена зависимость показателя PPD от показателя PMV , которая аппроксимирована следующей зависимостью:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \text{EXP}(-0,033\ 53 \cdot PMV^4 - 0,217\ 9 \cdot PMV^2).$$

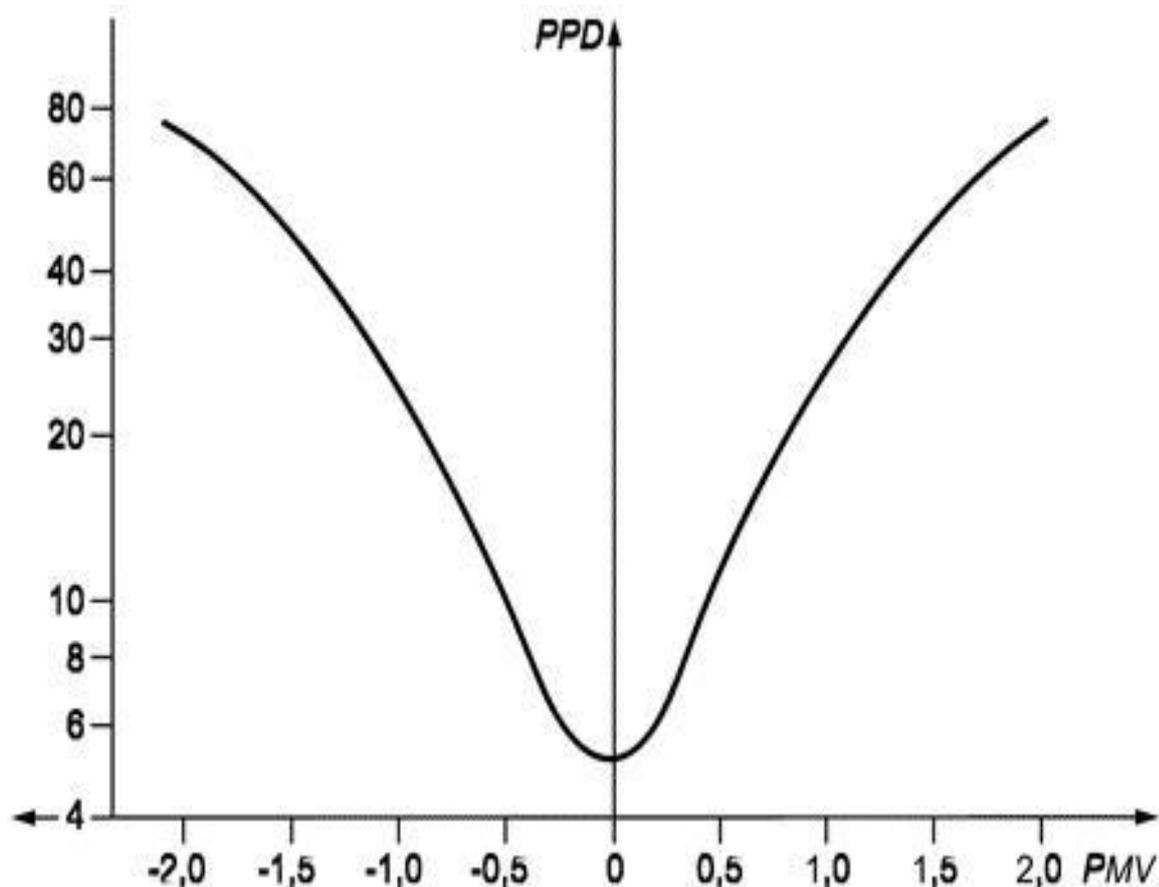


Рис. 3. PPD как функция PMV

В соответствии с ИСО 7730:2005(Е) и ГОСТ Р ИСО 7730-2009 микроклимат принято считать комфортным (нейтральным), если значение показателя PMV составляет $\pm 0,5$ баллов, чему соответствует показатель $PPD \leq 10\ %$.

В приложении В приведены характеристики категорий помещений в соответствии со степенью комфортности микроклимата.

6. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ИНДЕКСОВ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В ТАБЛИЧНОМ РЕДАКТОРЕ MICROSOFT EXCEL

В ФГУП НИИ промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства разработана расчетная программа для анализа параметров микроклимата, позволяющая вычислять составляющие теплового баланса и индексы теплового комфорта в соответствии с положениями ИСО 7730.

Для выполнения расчетов с использованием средств табличного редактора Microsoft Excel необходимо выполнить приведенные ниже инструкции.

Программа набирается в строках 5 и 6 табличного редактора Microsoft Excel. Для этого следует скопировать символы, значения или формулы из таблицы 3 в соответствующие ячейки табличного редактора Microsoft Excel.

Перед началом работы необходимо установить итерацию.

Итерация в версии 3 Microsoft Excel устанавливается по следующему алгоритму:

1. Сервис→ Параметры...→ Вычисления;
2. Установить галочку в окне итерация;
3. Установить 1000 в окне "Предельное число итераций";
4. Установить 0,0000001 в окне "Относительная погрешность".

Итерация в версии 7 Microsoft Excel устанавливается по алгоритму:

1. Файл→ Параметры→ Формулы→ Параметры вычисления;
2. Установить галочку в окне "Включить итеративные вычисления";
3. Установить 1000 в окне "Предельное число итераций";
4. Установить 0,0000001 в окне "Относительная погрешность".

**Программа расчёта показателей теплового комфорта *PMV* и *PPD*
в табличном редакторе Microsoft Excel**

| Ячейка | Символ | Ячейка | Вводимые значения или формулы в функциях табличного редактора Microsoft Excel | Результат |
|---|-----------------------|--------|---|-----------|
| Вводимые величины, к примеру, их значения равны | | | | |
| A5 | $t_a, ^\circ\text{C}$ | A6 | 24,00 | 24,00 |
| B5 | $t_r, ^\circ\text{C}$ | B6 | 24,00 | 24,00 |
| C5 | $V_a, \text{м/с}$ | C6 | 0,20 | 0,20 |
| D5 | $Y_a, \%$ | D6 | 50,00 | 50,00 |
| E5 | $M, \text{Вт/м}^2$ | E6 | 69,60 | 69,60 |
| F5 | $I_{cl}, \text{кло}$ | F6 | 1,00 | 1,00 |
| Расчётные величины | | | | |
| G5 | $P_a, \text{Па}$ | G6 | =EXP(16,6536-4030,183/(A6+235))*10*D6 | 1492 |
| H5 | $V_{ar}, \text{м/с}$ | H6 | =C6 После проверки работы программы на соответствие результатов с Приложением Е [5], по решению исследователя формула может быть замещена на =ЕСЛИ(E6>58,15;(E6/58,15-1)*0,3+C6;C6) | 0,20 |
| I5 | $W, \text{Вт/м}^2$ | I6 | 0 После проверки работы программы на соответствие результатов с Приложением Е [5], по решению исследователя формула может быть замещена на =0,2*(E6-88/1,8) | 0,00 |
| J5 | $t_s, ^\circ\text{C}$ | J6 | =35,7-0,028*(E6-I6) | 33,75 |
| K5 | f_{cl} | K6 | =ЕСЛИ(F6>=0,5;1,05+0,1*F6;1+0,2*F6) | 1,15 |
| Итерационный расчёт средней температуры одежды | | | | |

Продолжение таблицы 3

| Ячейка | Символ | Ячейка | Вводимые значения или формулы в функциях табличного редактора Microsoft Excel | Результат |
|---|---|--------|--|-----------|
| L5 | $t_{cl(17), \text{ }^\circ\text{C}}$ | L6 | =O6*1 | 28,13 |
| M5 | $t_{cl2(17), \text{ }^\circ\text{C}}$ | M6 | =J6-0,155*F6*(0,0000000396*K6*((L6+273)^4-(B6+273)^4)+K6*(2,38*(ABS(L6-A6)^0,25))*(L6-A6)) | 28,13 |
| N5 | $\Delta t_{cl(17), \text{ }^\circ\text{C}}$ | N6 | =L6-M6 | 0,00 |
| O5 | $t_{cl(17), \text{ }^\circ\text{C}}$ | O6 | =ЕСЛИ((L6-M6)=0,0000000001;100;(10*L6-L6+M6)/10) | 28,13 |
| P5 | $t_{cl(18), \text{ }^\circ\text{C}}$ | P6 | =S6*1 | 27,59 |
| Q5 | $t_{cl2(18), \text{ }^\circ\text{C}}$ | Q6 | =J6-0,155*F6*(0,0000000396*K6*((P6+273)^4-(B6+273)^4)+K6*(12,1*(H6^0,5))*(P6-A6)) | 27,59 |
| R5 | $\Delta t_{cl(18), \text{ }^\circ\text{C}}$ | R6 | =P6-Q6 | 0,00 |
| S5 | $t_{cl(18), \text{ }^\circ\text{C}}$ | S6 | =ЕСЛИ((P6-Q6)=0,0000000001;100;(10*P6-P6+Q6)/10) | 27,59 |
| T5 | $h_c, \text{ Вт/м}^2\text{К}$ | T6 | =ЕСЛИ(2,38*(ABS(U6-A6)^0,25)>12,1*(H6^0,5);2,38*(ABS(U6-A6)^0,25);12,1*(H6^0,5)) | 5,41 |
| U5 | $t_{cl}, \text{ }^\circ\text{C}$ | U6 | =ЕСЛИ(2,38*(ABS(O6-A6)^0,25)>12,1*(H6^0,5);O6;S6) | 27,59 |
| Расчёт средней скорости теплообмена организма | | | | |
| V5 | $E_d, \text{ Вт/м}^2$ | V6 | =3,05*10^-3*(5733-6,99*(E6-I6)-G6) | 11,45 |
| W5 | $E_{sw}, \text{ Вт/м}^2$ | W6 | =ЕСЛИ((E6-I6)>58,15;0,42*(E6-I6-58,15);0) | 4,81 |
| X5 | $E_{res}, \text{ Вт/м}^2$ | X6 | =1,7*10^-5*E6*(5867-G6) | 5,18 |

| Ячейка | Символ | Ячейка | Вводимые значения или формулы в функциях табличного редактора Microsoft Excel | Результат |
|---|----------------------|--------|---|-----------|
| Y5 | L, Вт/м ² | Y6 | =0,0014*E6*(34-A6) | 0,97 |
| Z5 | C, Вт/м ² | Z6 | =K6*T6*(U6-A6) | 22,33 |
| AA5 | R, Вт/м ² | AA6 | =3,96*10 ⁻⁸ *K6*((U6+273) ⁴ -(B6+273) ⁴) | 17,44 |
| AB5 | Σ, Вт/м ² | AB6 | =СУММ(V6:AA6) | 62,18 |
| AC5 | B, Вт/м ² | AC6 | =E6-I6-AB6 | 7,42 |
| Расчёт средних показателей теплового комфорта людей | | | | |
| AD5 | PMV, балл | AD6 | =(0,303*EXP(-0,036*E6)+0,028)*AC6 | 0,39 |
| AE5 | PPD, % | AE6 | =100-95*EXP(-0,03353*AD6 ⁴ -0,2179*AD6 ²) | 8,19 |

На рисунках 4 и 5 приведены примеры изображений экрана с установленной расчетной программой.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|--|--------|---------|-------|----------------------|----------|-----------------|----------|----------------------|--------|------|--------------|
| 4 | Измеренные | | | | Определённые | | Вспомогательные | | | | | |
| 5 | ta, °C | tr, °C | Va, м/с | Ya, % | M, Вт/м ² | Icl, кло | Pa, Па | Var, м/с | W, Вт/м ² | ts, °C | fcl | tcl1(17), °C |
| 6 | 24,00 | 24,00 | 0,20 | 50,00 | 69,60 | 1,00 | ##### | 0,20 | 0,00 | 33,75 | 1,15 | 28,13 |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Перед началом работы установить (в версии 3) итерацию: | | | | | | | | | | | |
| 11 | 1. Сервис→ Параметры...→ Вычисления | | | | | | | | | | | |
| 12 | 2. Установить галочку в окне итерация | | | | | | | | | | | |
| 13 | 3. Установить 1000 в окне Предельное число итераций | | | | | | | | | | | |
| 14 | 3. Установить 0,0000001 в окне Относительная погрешность | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | |
| 17 | Перед началом работы установить (в версии 7) итерацию: | | | | | | | | | | | |
| 18 | 1. Файл→ Параметры→ Формулы→ Параметры вычисления | | | | | | | | | | | |
| 19 | 2. Установить галочку в окне "Включить итеративные вычисления" | | | | | | | | | | | |
| 20 | 3. Установить 1000 в окне Предельное число итераций | | | | | | | | | | | |

Рис. 4. Вид экрана табличного редактора Microsoft Excel

| | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V |
|---|--|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|----------------|--------------|---------------|
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | Расчётные величины | | | | | | | | | |
| 4 | Итерационный расчёт средней температуры одежды | | | | | | | | | |
| 5 | $t_{cl2(17), °C}$ | $\Delta t_{cl(17), °C}$ | $t_{cl(17), °C}$ | $t_{cl1(18), °C}$ | $t_{cl2(18), °C}$ | $\Delta t_{cl(18), °C}$ | $t_{cl(18), °C}$ | $h_c, Вт/м^2К$ | $t_{cl}, °C$ | $E_d, Вт/м^2$ |
| 6 | 28,13 | 0,00 | 28,13 | 27,59 | 27,59 | 0,00 | 27,59 | 5,41 | 27,59 | 11,45 |

| | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE | AF |
|---|-----------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|------------------|--------|----|
| 4 | Показатели теплового обмена | | | | | | | Индексы комфорта | | |
| 5 | $E_{sw}, Вт/м^2$ | $E_{res}, Вт/м^2$ | $L, Вт/м^2$ | $C, Вт/м^2$ | $R, Вт/м^2$ | $\Sigma, Вт/м^2$ | $B, Вт/м^2$ | PMV, бал | PPD, % | |
| 6 | 4,81 | 5,18 | 0,97 | 22,33 | 17,44 | 62,18 | 7,42 | 0,39 | 8,19 | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |

Рис. 5. Вид экрана табличного редактора Microsoft Excel

7. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИНДЕКСОВ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА

Для проверки работоспособности программы и отработки навыков расчета составляющих теплового баланса и индексов теплового комфорта рекомендуется выполнить расчеты для исходных данных, рекомендованных в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 (таблица 4).

Примеры результатов расчетов по данным в ГОСТ Р ИСО 7730-2009

| № п/п | Температура воздуха, °С | Средняя лучистая температура, °С | Скорость движения воздуха, м/с | Относительная влажность воздуха, % | Скорость обмена веществ, Вт/м ² | Теплоизоляция комплекта одежды, кло | <i>PMV</i> , бал | <i>PPD</i> , % |
|-------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------|----------------|
| 1 | 22,0 | 22,0 | 0,1 | 60 | 69,6 | 0,5 | -0,76 | 17,22 |
| 2 | 27,0 | 27,0 | 0,1 | 60 | 69,6 | 0,5 | 0,76 | 17,16 |
| 3 | 27,0 | 27,0 | 0,3 | 60 | 69,6 | 0,5 | 0,43 | 8,81 |
| 4 | 23,5 | 25,5 | 0,1 | 60 | 69,6 | 0,5 | -0,02 | 5,01 |
| 5 | 23,5 | 25,5 | 0,3 | 60 | 69,6 | 0,5 | -0,56 | 11,67 |
| 6 | 19,0 | 19,0 | 0,1 | 40 | 69,6 | 1,0 | -0,61 | 12,76 |
| 7 | 23,5 | 23,5 | 0,3 | 40 | 69,6 | 1,0 | 0,11 | 5,27 |
| 8 | 23,0 | 21,0 | 0,1 | 40 | 69,6 | 1,0 | 0,04 | 5,03 |
| 9 | 23,0 | 21,0 | 0,3 | 40 | 69,6 | 1,0 | -0,17 | 5,63 |
| 10 | 22,0 | 22,0 | 0,1 | 60 | 92,8 | 0,5 | 0,04 | 5,03 |
| 11 | 27,0 | 27,0 | 0,1 | 60 | 92,8 | 0,5 | 1,17 | 33,64 |
| 12 | 27,0 | 27,0 | 0,3 | 60 | 92,8 | 0,5 | 0,95 | 23,9 |

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Наиболее эффективный способ терморегуляции, с помощью которого организм может поддерживать внутреннюю температуру даже при тяжелой работе?
2. От чего зависит температура наружной поверхности одежды?
3. В чем измеряется термическое сопротивление комплекта одежды (система СИ)?
4. На какие три группы делятся процессы терморегуляции?
5. При каких параметрах микроклимата человек субъективно оценивает свое состояние как комфортное?
6. Что такое теплопродукция?
7. При каких условиях создается комфортное тепловое состояние?
8. Перечислить физиологические показатели, соответствующие комфортным ощущениям.
9. По какому уравнению рассчитывается теплообмен излучением (радиационный теплообмен)?
10. Какие параметры входят в уравнение теплового баланса тела человека с окружающей средой?
11. Что такое метаболизм?
12. Что включают в себя теплотери при дыхании?
13. Перечислить индексы теплового комфорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиена труда: Учеб. / Под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с.
2. ГОСТ Р ИСО 11399-2007. Эргономика тепловой среды. Принципы и применение признанных международных стандартов.
3. ГОСТ Р ИСО 8996-2008. Эргономика тепловой среды. Определение скорости обмена веществ.
4. ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей *PMV* и *PPD* и критериев локального теплового комфорта.
5. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
6. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
7. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
8. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
9. TECHNICAL REVIEW. No. 2. 1982: «Thermal Comfort by V.W. Olesen, Ph.D».
10. ИСО 7730:2005(E). Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
11. Тимофеева Е.И., Федорович Г.В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. – М., 2005. – 193 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

Скорость обмена веществ при различной двигательной активности

Таблица А.1

Скорость обмена веществ

| Двигательная активность, поза | Скорость обмена веществ, Вт/м ² |
|--|--|
| Полулежа | 46 |
| Сидя, расслабленно | 58 |
| Сидячая работа (в офисе, дома, школе) | 70 |
| Легкая двигательная активность, работа в позе стоя (покупка товаров, легкая промышленность) | 93 |
| Средняя двигательная активность, работа в позе стоя (продавец, работа по дому, механическая обработка) | 116 |
| Ходьба по горизонтальной поверхности: | |
| 2 км/ч | 110 |
| 3 км/ч | 140 |
| 4 км/ч | 165 |
| 5 км/ч | 200 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Расчет теплоизоляции одежды

Коэффициент изоляции одежды I_{cl} может быть рассчитан непосредственно по данным, представленным в таблице Б.1 для типичных сочетаний предметов одежды (значения для статичной термоизоляции), или опосредованно, с помощью сложения значений коэффициентов частичной изоляции каждого предмета одежды I_{clo} , в соответствии с таблицей Б.2.

Таблица Б.1

Теплоизоляция типичных сочетаний предметов одежды

| Рабочая одежда | I_{cl} , кло | Повседневная одежда | I_{cl} , кло |
|---|----------------|---|----------------|
| Кальсоны, комбинезон, носки, обувь | 0,7 | Трусы, футболка, шорты, легкие носки, сандалии | 0,3 |
| Трусы, футболка, шорты, легкие носки, сандалии | 0,8 | Кальсоны, рубашка с короткими рукавами, легкие брюки, легкие носки, обувь | 0,5 |
| Кальсоны, рубашка, брюки, рабочий халат, носки, обувь | 0,9 | Трусы, женское белье, чулки, платье, обувь. | 0,7 |

Продолжение таблицы Б.1

| Рабочая одежда | I_{cl} , кло | Повседневная одежда | I_{cl} , кло |
|--|----------------|---|----------------|
| Нижняя одежда с длинными рукавами и штанинами, термозащитная куртка, носки, обувь | 1,2 | Трусы, рубашка, брюки, пиджак, носки, обувь | 1,0 |
| Нижняя одежда с короткими рукавами и штанинами, рубашка, брюки, пиджак, тяжелая стеганая куртка и штаны, носки, обувь | 1,4 | Трусы, чулки, блузка, длинная юбка, пиджак, обувь | 1,1 |
| Нижняя одежда с короткими рукавами и штанинами, рубашка, брюки, пиджак, тяжелая стеганая куртка и штаны, носки, обувь, шапка, перчатки | 2,0 | Нижняя одежда с длинными рукавами и штанинами, рубашка, брюки, свитер, пиджак, носки, обувь | 1,3 |
| Рабочая одежда | I_{cl} , кло | Повседневная одежда | I_{cl} , кло |

Окончание таблицы Б.1

| Рабочая одежда | I_{cl} , кло | Повседневная одежда | I_{cl} , кло |
|---|----------------|---|----------------|
| Нижняя одежда с длинными рукавами и штанинами, термозащитная куртка и брюки, парка (аляска) с тяжелой подбивкой, штаны с тяжелой подбивкой, носки, обувь, шапка, перчатки | 2,55 | Нижняя одежда с короткими рукавами и штанинами, рубашка, брюки, жилет, пиджак, пальто, носки, обувь | 1,5 |

Таблица Б.2

Теплоизоляция предметов одежды

| Предмет одежды | I_{clo} , кло |
|------------------------------------|-----------------|
| Нижняя одежда: | |
| Трусы | 0,03 |
| Длинные кальсоны | 0,1 |
| Нижняя трикотажная рубашка | 0,04 |
| Футболка | 0,09 |
| Сорочка с длинными рукавами | 0,12 |
| Трусы и бюстгальтер | 0,03 |
| Рубашки/блузки: | |
| С короткими рукавами | 0,15 |
| Легкие, длинные рукава | 0,2 |
| Нормальные, длинные рукава | 0,25 |
| Фланелевая рубашка, длинные рукава | 0,3 |

Окончание таблицы Б.2

| Предмет одежды | I_{clo} , кло |
|--------------------------------|-----------------|
| Штаны: | |
| Шорты | 0,06 |
| Легкие брюки | 0,2 |
| Нормальные брюки | 0,25 |
| Фланелевые брюки | 0,28 |
| Платье/юбки: | |
| Легкие юбки(лето) | 0,15 |
| Тяжелые юбки(зима) | 0,25 |
| Легкое платье, короткие рукава | 0,2 |
| Зимнее платье, длинные рукава | 0,4 |
| Верхняя одежда: | |
| Пальто | 0,6 |
| Пуховик | 0,55 |
| Парка | 0,7 |
| Принадлежности: | |
| Носки | 0,02 |
| Толстые носки по щиколотку | 0,05 |
| Толстые длинные носки | 0,10 |
| Обувь с тонкой подошвой | 0,02 |
| Обувь с толстой подошвой | 0,04 |
| Сапоги | 0,1 |

Для сидящих людей стул может вносить дополнительную изоляцию от 0 кло до 0,4 кло.

Теплоизоляция для стульев

| Тип стула | I_{clo} , кло |
|--------------------------|-----------------|
| Сетчатый, металлический | 0 |
| Деревянный | 0,01 |
| Стандартный офисный стул | 0,1 |
| Кресло руководителя | 0,15 |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Категории помещений

Стандартом ИСО 7730 предусмотрено три категории помещений по степени комфортности микроклимата, согласно таблице В.1. Все критерии, приведенные в таблице, должны быть удовлетворены одновременно для каждой категории.

Таблица В.1

Характеристики категорий термальной среды

| Категория | Температурные ощущения тела в целом | | Локальный дискомфорт | | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|--|--|--|
| | % | PMV | % | Вызванный разницей температуры воздуха по вертикали, % | Вызванный теплым или холодным полом, % | Вызванный асимметрией теплового излучения, % |
| А | 6 | $-0,2 < PMV < +0,2$ | 10 | 3 | 10 | 5 |
| В | 10 | $-0,5 < PMV < +0,5$ | 20 | 5 | 10 | 5 |
| С | 15 | $-0,7 < PMV < +0,7^*$ | 30 | 3 | 15 | 10 |

Каждая категория предполагает максимальный процент недовольных микроклиматом в целом и для каждого из четырех типов локального дискомфорта. Три категории, представленные в таблице В.1, применяют к помещениям, в которых люди подвергаются воздействию одной и той же термальной среды.

Сулин Александр Борисович
Рябова Татьяна Владимировна
Рубцов Александр Константинович
Никитин Андрей Алексеевич

ИНДЕКСЫ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

Подписано в печать 28.04.2016. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 2,09. Печ. л. 2,25. Уч.-изд. л. 2,13
Тираж 30 экз. Заказ № С 25

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9