

1. Теплообмен между человеком и окружающей средой как основа гигиены одежды. Основное уравнение теплового баланса

Тепловой баланс достигается координацией процессов, направленных на выработку тепла в организме (телопродукцию), утилизацию внешнего тепла, а также отведение тепла из организма во внешнюю среду – теплоотдачу. Он осуществляется аппаратом *физиологической терморегуляции* человека, а также путем *приспособительных действий* человека, направленных на создание (или использование) потребного микроклимата, и использования одежды (*«поведенческая» терморегуляция*).

Тепловой баланс в общем виде может быть описан уравнением:

$$Q_{\text{поступ}} = Q_{\text{уход}} \pm \Delta Q_{\text{т.с}}, \quad (1)$$

где:

$$Q_{\text{поступ}} = Q_{\text{внут}} + Q_{\text{нар}},$$

$$Q_{\text{уход}} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{нагр.возд}} + Q_{\text{исп.воды}},$$

$$Q_{\text{нагр.возд}} = Q_{\text{конв}} + Q_{\text{конд}} + Q_{\text{дых}},$$

$$Q_{\text{исп.воды}} = Q_{\text{диф}} + Q_{\text{дых}} + Q_{\text{пот}}.$$

Здесь: $Q_{\text{поступ}}$ — генерируемое в организме и подводимое извне тепло,

$Q_{\text{уход}}$ — отводимое от организма тепло,

$\Delta Q_{\text{т.с}}$ — изменение теплосодержания организма относительно его комфортного уровня (дефицит или накопление тепла в организме),

$Q_{\text{внут}}$ — теплопродукция организма человека,

$Q_{\text{нар}}$ — внешняя тепловая нагрузка (например, вследствие солнечной радиации),

$Q_{\text{рад}}$ — потери тепла радиацией (дальнее инфракрасное излучение),

$Q_{\text{конв}}$ — потери тепла конвекцией (нагрев воздуха, прилегающего к открытым участкам кожи),

$Q_{\text{конд}}$ — потери тепла кондукцией (нагрев воздуха, прилегающего к внешней поверхности одежды),

$Q_{\text{дых}}$ — потери тепла вследствие нагревания вдыхаемого воздуха,

$Q_{\text{исп.воды}}$ — потери тепла на испарение воды,

$Q_{\text{диф}}$ — потери тепла испарением диффузионной воды с поверхности кожи,

$Q_{\text{дых}}$ — потери тепла испарением воды с верхних дыхательных путей,

$Q_{\text{пот}}$ — потери тепла испарением выделяемого на поверхность кожи пота.

Обе части равенства (1), характеризующие тепловой баланс (теплообразование и теплоотдача), являются переменными, зависящими как от физиологических, так и от физических параметров.

Теплообразование в большей степени зависит от физиологических реакций, теплоотдача — от физических факторов окружающей среды, одежды. Физиологические реакции регулируют передачу тепла от внутренних тканей тела человека к поверхности кожи.

Теплообразование (телопродукция человека) — выработка теплоты в организме в результате энергетических превращений в живых клетках; она связана с непрерывно совершающимся биохимическим синтезом белков и других органических соединений, с осмотической работой (переносом ионов), с механической работой мышц (сердечной мышцы, гладких мышц различных органов, скелетной мускулатуры).

В организме человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя, 50% теплоты образуется в органах брюшной полости (главным образом в печени), 20% в скелет-

ных мышцах и центральной нервной системе, 10% - при работе органов дыхания и кровообращения.

При выполнении физической работы, а также при выраженном охлаждении человека в покое (дрожь) значительно увеличивается доля образования теплоты в скелетных мышцах. Часть энергии, образующейся в организме при выполнении физической работы, расходуется на внешнюю работу. Основная же часть энергии переходит в тепловую форму – $Q_{\text{внут.}}$ (теплопродукцию).

(Нормой содержания тепла в организме человека является величина 123,7 кДж/кг.)

Таким образом, энергия, выделяемая в организме в виде тепла (теплопродукция) и обеспечивающая поддержание постоянного уровня тепла и температуры тела, составляет при физической работе только часть энергозатрат $Q_{\text{э.т.}}$. В случае, когда вырабатываемая в организме человека энергия не расходуется на внешнюю механическую работу, она практически вся превращается в тепловую. Это наблюдается, например, у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя (положения лежа, сидя, стоя) и выполняющего некоторые виды легкой физической работы (такие, как ходьба по ровной местности). Энергия, расходуемая на выполнение внешней работы A , может быть определена из выражения

$$A = \eta (Q_{\text{э.т.}} - Q_0),$$

где η – термический коэффициент полезного действия

Q_0 – величина основного обмена.

Расход энергии в состоянии полного покоя (при расслаблении мышц, отсутствии внешних раздражителей, натошак, в комфортных микроклиматических условиях), т.е. в условиях, обеспечивающих минимальную активность механизмов терморегуляции, принято называть основным обменом. Он характеризует то минимальное количество энергии, которое необходимо для поддержания основных жизненных процессов. Величина основного обмена у здорового человека колеблется в зависимости от возраста и пола (табл.1).

Таблица1. Основной обмен человека, Вт/м²

Возраст, лет	Пол	
	Мужчина	Женщина
3	70	63
5	65	62
8	58	56
10	54	52
12	51	47
15	49	43
20	45	40
25	48	39
30	42	40
35	41	39
40	41	38
50	39	37
60	38	36
70	38	36

Таким образом, для определения теплопродукции человека, выполняющего физическую работу, необходимо знать его общие энерготраты $Q_{\text{э.т.}}$, термический коэффициент полезного действия η и основной обмен Q_0 , т.е.

$$Q_{\text{внут.}} = Q_{\text{э.т.}} - A = Q_{\text{э.т.}} - \eta (Q_{\text{э.т.}} - Q_0) = Q_{\text{э.т.}}(1 - \eta) + Q_0.$$

Данные о теплообразовании используются для определения теплопотерь человека, величин

на которых является основной для расчета теплового сопротивления одежды, обеспечивающей сохранение теплового баланса организма в конкретных условиях ее эксплуатации.

2. Показатели и критерии теплового состояния человека при взаимодействии с окружающей средой. Температура кожи (средневзвешенная)

Большая часть тепла, образующегося в организме человека, отводится с поверхности тела. Это определяет значение температуры кожи при оценке теплового состояния организма. Зависимость уровня температуры кожи от термических условий среды, тесная корреляционная связь с теплоощущениями позволяют считать ее одним из информативных показателей теплового состояния организма.

В настоящее время для обобщающей характеристики температурного поля поверхности тела человека принято использовать средневзвешенную температуру кожи ($t_{с.к.}$), рассчитываемую в соответствии с ее значением на отдельных участках и площадью этих участков по отношению ко всей поверхности тела.

Средневзвешенная температура кожи достаточно точно коррелирует с общими теплоощущениями человека.

В настоящее время на основе сравнительного анализа различных систем измерения температуры поверхности тела рекомендуется 11-точечная система. Средневзвешенная температура кожи $t_{с.к.}$, °C, по 11-точечной системе измерения рассчитывается по формуле:

$$t_{с.к.} = 0,0086t_1 + 0,34t_2 + t_3 + t_4 + 0,25t_5 + 0,134t_6 + 0,045t_7 + 0,203t_8 + 0,5t_9 + 0,125t_{10} + 0,064t_{11},$$

где $t_1 - t_{11}$ - соответственно температура кожи лба, груди, живота, спины, поясницы, плеча, кисти, верхней и нижней части поверхности бедра, голени, тыльной стороны стопы.

В производственных условиях (в случае отсутствия выраженного локального воздействия параметров микроклимата или неравномерного утепления) допустимо измерение температуры кожи на пяти участках тела. В этом случае температура $t_{с.к.}$ (°C), рассчитывается по уравнению:

$$t_{с.к.} = 0,07t_1 + 0,5t_2 + 0,05t_7 + 0,18t_8 + 0,2t_{10}.$$

Ниже приводятся выражения, отражающие взаимосвязь средневзвешенной температуры кожи и уровня энерготрат человека при различных его теплоощущениях в баллах.

Комфорт (4):

$$t_{с.к.} = 36,07 - 0,0354Q_{э.т.} / S.$$

Прохладно (2):

$$t_{с.к.} = 33,34 - 0,0335Q_{э.т.} / S.$$

Холодно (1):

$$t_{с.к.} = 30,36 - 0,031Q_{э.т.} / S.$$

В этих уравнениях $Q_{э.т.}$ – энерготраты, Вт; S – поверхность тела человека, м². Приведенные уравнения применимы к человеку, неадаптированному к холоду, в диапазоне энерготрат до 300 Вт. У людей, акклиматизированных к холоду, комфортный уровень средневзвешенной температуры кожи (в состоянии относительного физического покоя) в результате снижения порога температурной чувствительности несколько ниже – на 1 ... 1,5 °C.

В связи с тем, что средневзвешенная температура кожи дает представление об общих теплоощущениях человека, характеризующих состояние его теплообмена с окружающей средой, ее значения, отражающие температуру «оболочки», используются при расчетах средней

температуры тела и теплосодержания.

3. Оценка теплового состояния человека, как комплексный показатель соответствия одежды окружающей среде. Определение энерготрат человека

Энерготраты - ($Q_{э.т}$) определяются методом непрямой калориметрии. Ориентировочно энерготраты могут быть определены по величине объема легочной вентиляции с учетом калорического коэффициента воздуха:

$$Q_{э.т} = 0,232\alpha, \text{ Вт},$$

где α - объем легочной вентиляции, приведенный к нормальному объему при $t = 20^\circ\text{C}$, $\text{дм}^3/\text{ч}$, атмосферном давлении в 760 мм рт.ст.

Поверхность тела человека может быть определена исходя из данных роста и веса. Применительно к случаю выполнения динамической физической работы энерготраты могут быть определены по величине частоты сердечных сокращений.

Влагопотери человека определяются путем взвешивания его без одежды на медицинских весах. При повторном взвешивании изменение веса компенсируют за счет используемого в первом взвешивании набора гирь.

Таблица2. Энерготраты при различных видах физических действий человека

Вид физической деятельности	Энерготраты, $Q_{э.т}$, Вт/м ²
Лежа	40,6
Полулежа	46,5
Сидя	58,1
Стоя	69,7
Ходьба по ровной местности со скоростью 3,2 км/ч	116,2
Ходьба по ровной местности со скоростью 4,0 км/ч	139,5
Ходьба по ровной местности со скоростью 4,8 км/ч	151,1
Ходьба по ровной местности со скоростью 5,6 км/ч	186,0
Ходьба по ровной местности со скоростью 6,4 км/ч	220,9
Ходьба по ровной местности со скоростью 8,0 км/ч	337,2
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 5° со скоростью 1,6 км/ч	139,5
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 5° со скоростью 3,2 км/ч	174,4
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 5° со скоростью 4,8 км/ч	232,5
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 5° со скоростью 6,4 км/ч	354,6
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 15° со скоростью 1,6 км/ч	168,6
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 15° со скоростью 3,2 км/ч	267,4
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 15° со скоростью 4,8 км/ч	406,9
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 25° со скоростью 1,6 км/ч	209,3
Ходьба по наклонной местности при угле наклона 25° со скоростью 3,2 км/ч	389,5
Работа плотника, распиливание на машине	104,6
Работа плотника, распиливание вручную	232,5 – 279
Работа плотника, строгание вручную	325,5 – 372