

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА И СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Шабикова Г.А.

КНАУ, Бишкек, Кыргызстан, Sh-Gulmira66@mail.ru

Аннотация: *Анализирован тепловой баланс человеческого организма и окружающей среды с целью выработки соответствующих рекомендаций для обеспечения необходимых условий труда производственных помещениях.*

Ключевые слова: *тепловой баланс, микроклимат, метаболическая энергия, температура, теплообмен, условия труда, конвекция, среда обитания.*

THERMAL BALANCE OF THE HUMAN BODY AND ENVIRONMENT

Shabikova G.A.

The Kyrgyz national agrarian University, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation: *The thermal balance of the human body and the environment is analyzed in order to develop appropriate recommendations for ensuring the necessary working conditions in industrial premises.*

Key words: *heat balance, microclimate, metabolic energy, temperature, heat exchange, working conditions, convection, habitat.*

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение человека полностью воспринимается окружающей средой, т.е. когда выполняется уравнение теплового баланса $Q_{\text{чел}} = Q_{\text{ср}}$. В этом случае температура внутренних органов остается постоянной. В процессе трудовой деятельности человека образуются некоторый избыток метаболической энергии (ΔE_m):

$$\Delta E_m = E_{\text{вн}} - (E_o + E_{\text{тр}}) > 0 \quad (1)$$

Этот избыток начинает участвовать в общем тепловом балансе в зависимости от температур человеческого тела T_1 и окружающего микроклимата T_2 . В подобии энергетического дисбаланса можно записать тепловой дисбаланс организма ΔQ :

$$\Delta Q = \Delta E_m - E_t + E_{\text{вн}} \quad (2)$$

С другой стороны, основными видами теплообмена между человеком и средой обитания, определяющими знак и величину результирующего теплового дисбаланса ΔQ является: контактная теплопроводность Q_t ; лучистый теплообмен $Q_{\text{л}}$; конвективный теплообмен Q_k и теплоотдача испарением $Q_{\text{ис}}$. С учетом данных показателей и исследований профессора Н.И.Флавицкого (1884г.) уравнение теплового баланса человеческого организма и среды обитания имеет общий вид [1]:

$$\Delta Q = \pm Q_T \pm Q_{\text{и}} \pm Q_K - Q_{\text{ис}} \quad (3)$$

При анализе формулы (3) важно рассмотреть физический смысл составляющих и совместный результат действия этих показателей на организм человека и животных.

При контактной теплопроводности Q_T , перенос тепловой энергии имеет ярко выраженный атомномолекулярный характер и не связан с макродвижением окружающей человека воздушной и водной среды. Количество энергии в данном виде теплопроводности зависит от коэффициента теплопроводности и градиента температур, контактирующих поверхностей. Человеческая кожа обладает тактильной чувствительностью, которая позволяет ему достаточно точно распознавать не только форму, но и температуру взаимодействующих с ним объектов. Это играет большую роль при нормировании внешних тепловых излучений, действующих на человека. Лучистый теплообмен $Q_{\text{и}}$ между человеком и средой обитания происходит вследствие соответственно испускания и погашения этими объектами электромагнитного излучения.

Направление лучистого теплообмена подчиняется второму закону термодинамики, а общее количество передаваемой энергии теплоизлучения зависит в основном от разности абсолютных температур T_1 и T_2 (где T_1 – температура кожи человека, T_2 – температура объекта внешней среды). При этом могут иметь место: $T_1 > T_2$ (тепловые потери человеческого организма) и $T_1 < T_2$ (внешние тепловые нагрузки на организм человека).

В случае $T_1 > T_2$ при нормальных условиях человек теряет путем теплоизлучения до 45% избыточного вырабатываемого организмом тепла, что является одним из важных факторов обеспечения его допустимого состояния.

В случае $T_1 < T_2$ существуют достаточно жесткие ограничения на интенсивность внешнего теплоизлучения, которая характеризуется следующей зависимостью:

$$Y_T = \frac{U_T}{S_0} \quad (4)$$

где Y_T – интенсивность внешнего теплоизлучения, Вт/м²;

U_T – мощность внешнего теплового потока энергии, Вт;

S_0 – площадь теплового облучения, м².

С учетом показателя Y_T существуют следующие нормативы:

– при $S_0 \geq 50\%$ всей поверхности тела человека - $Y_T \leq 35$ Вт/м²;

– при $25\% \leq S_0 < 50\%$ всей поверхности тела человека - $Y_T \leq 70$ Вт/м²

– при $S_0 < 25\%$ всей поверхности тела человека - $Y_T \leq 100$ Вт/м²

Если учесть, что на внешней границе атмосферы интенсивность солнечного радиационного излучения, направленного к Земле, усреднено составляет 1370 Вт/м², то станет понятным, насколько критичным является человеческий организм по отношению к внешним тепловым воздействиям. Даже с учетом примерно пятикратного ослабления земной атмосферой энергия солнечного

излучения у поверхности нашей планеты, интенсивность теплового радиационного потока составляет около 270 Вт/м^2 , что требует эффективной защиты от них.

Для практических расчетов лучистый поток может быть определен с помощью обобщенного закона Стефана-Больцмана [1,2]:

$$q_{\text{л}} = C_{\text{пр}} \cdot F_1 \cdot \Psi_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (5)$$

T_1 – средняя температура поверхности тела и одежды человека, К;

T_2 – средняя температура окружающих поверхностей, К;

Ψ_{1-2} – коэффициент облучаемости;

$C_{\text{пр}} = C_1 C_2 | C_0$ – приведенный коэффициент излучения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$;

$C_1 C_2$ – коэффициенты излучения теплообменных поверхностей, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$.

Конвективный теплообмен между телом человека и окружающей средой обусловлен макродвижением соприкасающегося с человеческим организмом воздуха. Это происходит при наружном контакте воздуха с кожей человека и при вдыхании воздуха человеком.

Количество тепла, передаваемое конвекцией зависит от разности температур человеческого тела и окружающей среды и может составлять около 30% всего теплового баланса человека.

В процессе дыхания воздух окружающей среды, попадая в легочный аппарат человека, нагревается и одновременно насыщается водяными парами. Количество теплоты расходуемого на нагревания вдыхаемого воздуха можно определить по уравнению:

$$q_{\text{д}} = V_{\text{л}} \cdot P_{\text{в}} \cdot C_{\text{р}} (t_{\text{в}} - t_{\text{вд}}) \quad (6)$$

где – $V_{\text{л}}$ – легочная вентиляция, $\text{м}^3/\text{с}$;

$P_{\text{в}}$ – плотность вдыхаемого воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{р}}$ – удельная теплоемкость вдыхаемого воздуха, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{гр}$;

$t_{\text{в}}$ – температура выдыхаемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{вд}}$ – температура вдыхаемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

$$V_{\text{л}} = V_{\text{в}} \cdot n \quad (7)$$

где – $V_{\text{л}}$ – объем вдыхаемого за один вдох воздуха, м^3 ;

n – число циклов дыхания в секунду (зависит от физической нагрузки).

Таким образом, $q_{\text{д}}$ зависит от физической нагрузки, влажности и температуры вдыхаемого воздуха:

– чем больше физическая нагрузка, и ниже температура окружающей среды, тем больше $q_{\text{д}}$;

– с увеличением температуры и влажности воздуха $q_{\text{д}}$ уменьшается.

Следует отметить, что на конвективный теплообмен также влияет относительная скорость движения человека и воздуха, влажность и давление

воздуха. Поэтому обеспечение безопасных условий труда в значительной степени зависит от правильного подбора одежды человека, в частности спецодежды (рис.1).

Относительная скорость движения воздуха: $U=1\text{м/с}$; Давление воздуха: $P=740$ мм.рт.ст. Относительная влажность воздуха: $W=50\%$.

На рис.1 горизонтальные участки свидетельствуют о наступлении комфортного состояния человека при данной температуре воздуха во времени. Если человек одет в легкую спецодежду, то комфортное состояние для него наступает через четыре часа при температуре воздуха $15-16^\circ\text{C}$.

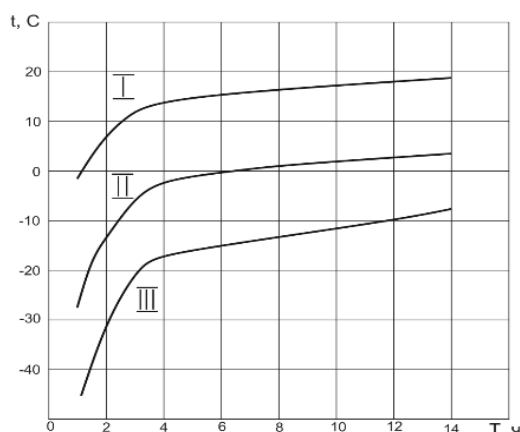


Рис.1.Переносимость человеком пребывания на воздухе в различных видах одежды: I – легкая спецодежда; II – спецодежда с шерстяным бельем; III – зимний комплект спецодежды.

Если он одет в спецодежду с шерстяным бельем, то отмеченное состояние наступает через 4,5- 5,0 часов при температуре воздуха $5-7^\circ\text{C}$, а если человек одевает зимний комплект спецодежды, то для него комфортное состояние наступает через 5,5-6,0 часов при температуре воздуха ($8^\circ\text{C}-10^\circ\text{C}$).

Теплоотдача испарением происходит путем испарения влаги с поверхности человеческого тела и является весьма эффективным способом сброса излишков метаболического тепла. На долю испарения приходится до 25% расходуемой человеческим организмом тепловой энергии (при температуре воздуха около 15°C потоотделение в течении 1 часа составляет не выше 30 мл).

Однако при высокой температуре и выполнении тяжелой работы, потоотделение человека может увеличиться до 1-1,5л/ч, т.е. более чем в 30 раз [3]. Количество теплоты, отдаваемой человеком в окружающую среду при испарении влаги определяется по формуле:

$$q_n = G_n \cdot r \quad (8)$$

где G_n – количество выделяемой влаги, кг/с ;
 r – скрытая теплота испарения Дж/кг.

Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма человека и как следствия, к потере трудоспособности, потери сознания и тепловой смерти.

Таким образом, анализ составляющих формул (3) позволяет сделать вывод, что тепловой баланс «человек - окружающая среда» зависит от температуры окружающей среды t подвижности V_v и относительной влажности воздуха W , барометрического давления P , температуры окружающих предметов T и интенсивности физической нагрузки организма.

Использованная литература

1. Белов С.В. и др. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высш. шк. 2001. – 210 с.
2. Белов С.В. и др. Безопасность жизнедеятельности. – М., ВАСОТ, 1992. – 136 с.
3. Лобачев А.И. Безопасность жизнедеятельности. – М.: ЮРАЙТ, 2008. – 184 с.