

# ЭРГОНОМИКА

Эргономика термальных сред

# Нормативное регулирование

1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. ГОСТ Р ИСО 7243-2007 Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра).
3. 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.

# Нормативное регулирование

4. ГОСТ Р ИСО 8996-2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ.
5. ГОСТ Р ИСО 9886-2008 Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений.
6. ГОСТ Р ИСО 10551-2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки.

# Нормативное регулирование

7. ГОСТ Р ИСО/ТУ 13732-2-2008 Эргономика термальной среды. Методы оценки реакции человека при контакте с поверхностями. Часть 2. Контакт с поверхностью умеренной температуры.
8. ГОСТ Р 53453-2009/ISO/TS 14415:2005 Эргономика термальной среды. Применение требований стандартов к людям с особыми требованиями.

# Основные параметры

ТНС-индекс ( $I_{cl}$ ) – индекс тепловой нагрузки среды

МЕТ – выделение метаболического тепла

PMV – предсказанная средняя положительная оценка

PPD – предсказанный процент отрицательных оценок

ИПУО – интегральный показатель уровня охлаждения

# ТНС-индекс (WBGT)

1. Индекс тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс) является эмпирическим показателем, характеризующим сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения).
2. ТНС-индекс определяется на основе величин температуры смоченного термометра аспирационного психрометра (tвл.) и температуры внутри зачерненного шара (tш).
3. ТНС-индекс рассчитывается по уравнению:  
$$\text{ТНС} = 0,7 \times \text{tвл.} + 0,3 \times \text{tш.}$$

# ТНС-индекс (WBGT)



Рис.3.3. Аспирационный психрометр Ассман

Категория работ по уровню энергозатрат	Величины интегрального показателя, °С
Iа (до 139)	22,2 – 26,4
Iб (140 – 174)	21,5 – 25,8
IIа (175 – 232)	20,5 – 25,1
IIб (233 – 290)	19,5 – 23,9
III (более 290)	18,0 – 21,8

# Тепловое сопротивление одежды $I_{cl}$

Тепловое сопротивление (теплоизоляцией комплекта) - это полное сопротивление переносу тепла от поверхности тела человека во внешнюю среду, включая материалы одежды, воздушные прослойки между ними и пограничный слой воздуха, прилегающий к наружной поверхности одежды.

Единица теплового сопротивления одежды:

$$1 \text{ Кло} = 0,155 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент изоляции одежды может быть подсчитан непосредственно по данным, представленным в таблице С.1 ГОСТ 7730 для типичных сочетаний предметов одежды (значения для статичной термоизоляции), или опосредовано, с помощью сложения значений коэффициентов частичной изоляции каждого предмета одежды, в соответствии с таблицей С.2. ГОСТ 7730.



# Метаболическое тепло

Обмен веществ (метаболизм) - это преобразование химических веществ в механическую и тепловую энергию. Скорость обмена веществ определяет энергетические затраты при мышечной нагрузке человека и характеризуется числовым индексом активности.

Скорость обмена веществ [Met]

$$1\text{Met} = 58 \text{ Вт/м}^2$$

# Метаболическое тепло

Методики определения количества выделяемого метаболического тепла:

- по стандартизированной таблице (профессии, операции)
- по ЧСС
- по потреблению кислорода
- по расщеплению воды в организме и образованию карбонатов (меченая вода «тяжёлая дейтериевая вода»)
- прямая калориметрия (прямое измерение выделяющего тепла с помощью калориметрической камеры)

# Метаболическое тепло по ЧСС

Частоту сердечных сокращений в конкретный момент времени можно посчитать в виде суммы нескольких компонентов:

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E,$$

где  $\Delta HR_0$  - частота сердечных сокращений в покое, в положении лежа в нейтральных тепловых условиях, уд./мин;

$\Delta HR_M$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие динамической мышечной нагрузки в нейтральных тепловых условиях, уд./мин;

$\Delta HR_S$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие статического напряжения мышц (этот компонент зависит от соотношения между прилагаемым усилием и максимальным принудительным усилием работающей группы мышц), уд./мин;

$\Delta HR_T$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие термальной нагрузки (см. ИСО 9886), уд./мин;

$\Delta HR_N$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие умственной нагрузки, уд./мин;

$\Delta HR_E$  - изменение частоты сердечных сокращений вследствие других факторов, например: респираторные воздействия, циркадные ритмы, обезвоживание, уд./мин.

# Метаболическое тепло по ЧСС

Увеличение частоты сердечных сокращений вследствие температурной нагрузки  $\Delta HR_T$  составляет в среднем 33 удара/мин при повышении температуры тела на 1 °С.

# Метаболическое тепло по ЧСС

Связь между ЧСС и скоростью обмена веществ:

$$HR = HR_0 + RM(M - M_0)$$

где  $HR_0$  - частота сердечных сокращений в состоянии отдыха при нейтральных термальных условиях;

$RM$  - увеличение частоты сердечных сокращений на единицу скорости обмена веществ;

$M$  - скорость обмена веществ, Вт·м<sup>-2</sup>;

$M_0$  - скорость обмена веществ в состоянии отдыха, Вт·м<sup>-2</sup>.

$$M_0 = 55 \text{ Вт/м}^2$$

$$RM = (HR_{\max} - HR_0) / (M_{\text{WCS}} - M_0)$$

# Метаболическое тепло по ЧСС

Максимальную частоту сердечных сокращений  $HR_{\max}$  оценивают по следующим формулам:

$$HR_{\max} = 205 - 0,62A,$$

Максимальная трудоспособность MWC:  
для мужчин:

$$MWC = (41,7 - 0,22A) P^{0,666} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2},$$

для женщин:

$$MWC = (35,0 - 0,22A) P^{0,666} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$$

где  $A$  - возраст, г;

$P$  - масса, кг.

# Метаболическое тепло по ЧД

Уровень энерготрат определяется методом непрямой калориметрии. Ориентировочно энерготраты могут быть определены по величине объема легочной вентиляции с учетом калориметрического коэффициента воздуха, [Вт/м<sup>2</sup>], :

$$qm = \frac{0,232 \times V_{20}}{S}$$

где:  $V_{20}$  – объем легочной вентиляции, приведенный к стандартным условиям при температуре воздуха 20 С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст., л/ч;

$S$  – площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup> (может быть принята стандартной по Д'Буа равной 1,8 м<sup>2</sup> ).

Объем легочной вентиляции ( $V$ ) может быть определен в зависимости от категории тяжести работ согласно СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»:

- для работ категории Ia –Iб объем легочной вентиляции за смену 4 м<sup>3</sup>;
- для работ категории IIa –IIб – 7 м<sup>3</sup>;
- для работ категории III – 10 м<sup>3</sup>.
- Приведение объема легочной вентиляции к стандартным условиям осуществляется по следующей формуле, [м<sup>3</sup>]:

$$V_{20} = V_f \times \frac{293,16}{293,16 + t} \times \frac{B}{760}$$

где:  $V_f$  – объем легочной вентиляции, м<sup>3</sup>;

$t$  – температура окружающей среды на рабочем месте (зоне), С;

$B$  – барометрическое давление, мм рт. ст.

В общем случае можно использовать усредненное значение уровня энерготрат в зависимости от категории тяжести работ:

- для работ категории Ia уровень энерготрат 69 Вт/м<sup>2</sup>;
- для работ категории Ib уровень энерготрат 87 Вт/м<sup>2</sup>;
- для работ категории IIa уровень энерготрат 113 Вт/м<sup>2</sup>;
- для работ категории IIб уровень энерготрат 145 Вт/м<sup>2</sup>;
- для работ категории III уровень энерготрат 177 Вт/м<sup>2</sup>.

# Интегральный показатель уровня охлаждения

Расчет интегрального показателя уровня охлаждения (ИПУО) в баллах, учитывающего влияние комплекса факторов, проводят по формуле:

$$ИПУО = 73,882 - 0,60361 \times t_B + 1,3096 \times V - 9,1965 \times I_{cl} - 0,15527 \times Met$$

где:  $t_B$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$I_{cl}$  – теплоизоляция комплекта СИЗ, кло;

$Met$  – уровень энерготрат, Вт/м<sup>2</sup>.

## Риск переохлаждения

Уровень риска переохлаждения	Балл
игнорируемый	$\leq 32$
умеренный	$32 < ИПУО \leq 46$
критический	$46 < ИПУО \leq 57$
катастрофический	$> 57$