

# Микроклимат

Микроклимат оценивают сочетанием факторов:

1. Температура воздуха  $t_{\text{в}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .
2. Скорость движения воздуха  $V_{\text{в}}$ , м/с.
3. Относительная влажность  $\varphi$ , %.
4. Температура поверхностей ограждающих конструкций  $t_{\text{пов}}$   $^{\circ}\text{C}$ .
5. Интенсивность теплового облучения  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>

Организм человека постоянно находится в состоянии теплообмена с окружающей средой.

Вследствие белкового, углеводного и жирового обмена в организме вырабатывается тепло (теплопродукция)  $Q_{\text{т}}$ , количество которого зависит от рода деятельности и интенсивности выполняемой работы. Это тепло для спокойного состояния человека составляет 80 - 100 Вт.

*Уравнение теплового баланса  
«  
человек - окружающая среда»*

$$Q_{\text{чел.}} = Q_{\text{конв.}} + Q_{\text{тепл.}} + Q_{\text{изл.}} + Q_{\text{исп.}} + Q_{\text{дых.}}$$

- $Q_{\text{чел.}}$  – тепло, выделяемое человеком (теплопродукция);
- $Q_{\text{конв.}}$  – теплоотдача конвекцией;
- $Q_{\text{тепл.}}$  – теплоотдача за счет теплопроводности через одежду;
- $Q_{\text{изл.}}$  – теплоотдача излучением на окружающие поверхности;
- $Q_{\text{исп.}}$  – теплоотдача испарением влаги (пота) с поверхности кожи;
- $Q_{\text{дых.}}$  – теплоотдача вследствие нагревания вдыхаемого воздуха

# Уравнение теплового комфорта

Нормальные для определённого вида деятельности теплоощущения человека характеризуются уравнением теплового комфорта:

$$Q_T = Q_K + Q_{\text{изл.}} + Q_{\text{исп.}}$$

В организме человека имеется психофизиологическая система **терморегуляции**, позволяющая ему адаптироваться к изменениям климатических факторов и поддерживать нормальную постоянную температуру тела. Терморегуляция осуществляется двумя процессами: выработкой тепла и теплоотдачей, течение которых регулируется **ЦНС**. При нарушении этого уравнения возможно ухудшение самочувствия, переохлаждение или перегрев организма.

# Тепловое состояние человека

- оптимальное;
- допустимое;
- предельно допустимое;
- недопустимое.

# Тепловое состояние человека

- **Оптимальное** ТС человека характеризуется отсутствием общих и/или локальных дискомфортных теплоощущений, минимальным напряжением механизмов терморегуляции и является предпосылкой длительного сохранения высокой работоспособности.
- **Допустимое** ТС человека характеризуется незначительными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, сохранением термостабильности организма в течение всей рабочей смены при умеренном напряжении механизмов терморегуляции. При этом может иметь место временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, но не нарушается здоровье (в течение всего периода трудовой деятельности).

# Тепловое состояние человека

- **Предельно допустимое** ТС человека характеризуется выраженными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, значительным напряжением механизмов терморегуляции. Оно не гарантирует сохранение термического гомеостаза и здоровья, ограничивает работоспособность.
- **Недопустимым** является тепловое состояние, характеризующееся чрезмерным напряжением механизмов терморегуляции, приводящим к нарушению состояния здоровья.

# По степени влияния на тепловой баланс

- **Нейтральный** - разность между величиной теплопродукции и суммарной теплоотдачей находится в пределах 2 Вт, доля теплоотдачи испарением влаги не превышает 30%.
- **Охлаждающий** - сочетание параметров, при котором суммарная теплоотдача в окружающую среду превышает величину теплопродукции организма ( $> 2$  Вт). Это приводит к образованию общего и (или) локального дефицита тепла в теле человека
- **Нагревающий** - сочетание параметров, при котором имеет место изменение теплообмена человека с окружающей средой, проявляющееся в накоплении тепла в организме ( $> 2$  Вт) и (или) в увеличении доли потерь тепла испарением влаги ( $> 30\%$ ).

# Влияние параметров микроклимата на организм человека

- Температура воздуха
- Влажность воздуха
- Подвижность воздуха
- Тепловое излучение

# Гипотермия

Гипотермия (переохлаждение) начинается, когда теплопотери становятся больше теплопродукции организма, а система терморегуляции не справляется с этими изменениями.

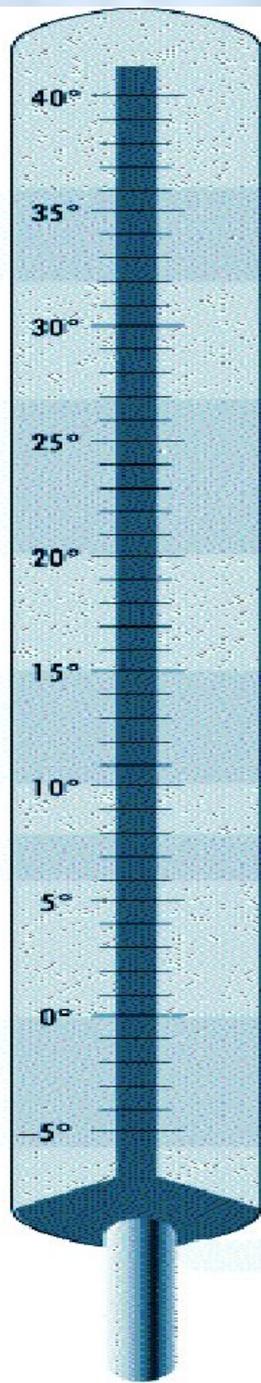
$$(Q_{\text{конв}} + Q_{\text{изл.}} + Q_{\text{исп.}}) > Q_m$$

Нарушается кровоснабжение, что вызывает такие простудные заболевания, как невриты, радикулиты, заболевания верхних дыхательных путей.

В результате гипотермии наблюдается отклонение от нормального поведения, а затем апатия, усталость, ложное ощущение благополучия, замедленные движения, угнетение психики, а в тяжёлых случаях - потеря сознания и летальный исход.

## *Реакция организма человека на охлаждение*

Фаза	Темпера-тура внутрен-них органов, °С	Физиологическая реакция	Психологическая реакция
Нормальная	37	Нормальная температура тела	Ощущение тепловой нейтральности
	36	Сужение сосудов, холодные руки и ноги	Дискомфорт
Начальная гипотермия	35	Интенсивное дрожание, уменьшение физической работоспособности	Умственная деятельность затруднена, потеря ориентации, апатия
	34		
	33	Суетливость	Умственная и эмоциональная усталость
Умеренная гипотермия	32	Жесткость мышечного тонуса	Прогрессирующая форма беспамятства, галлюцинации
	31	Слабое дыхание	
	30		Затемнение сознания
	29	Никаких проявлений нервной деятельности, частота сердечных сокращений уменьшается и почти сходит на нет	Оцепенение



**32–36 °C** Оптимальное функционирование руки пальцев

**27–32 °C** Влияние на подвижность, скорость и точность движения пальцев

**20–27 °C** Ухудшение способности работать с мелкими деталями, снижение выносливости

**15–20 °C** Ухудшение способности работы с крупными предметами, внезапные болевые ощущения

**10–15 °C** Уменьшение общей мускульной силы и координации, болевые ощущения

**6–8 °C** Блокирование сенсорных и температурных рецепторов поверхности кожи

**< 10 °C** Нечувствительность рук, снижение способности к ручному труду до выполнения простейших операций (толкание, держание и т.д.), спонтанное, ритмичное отогревание (реакция Льюиса)

**< 0 °C** Обморожение тканей

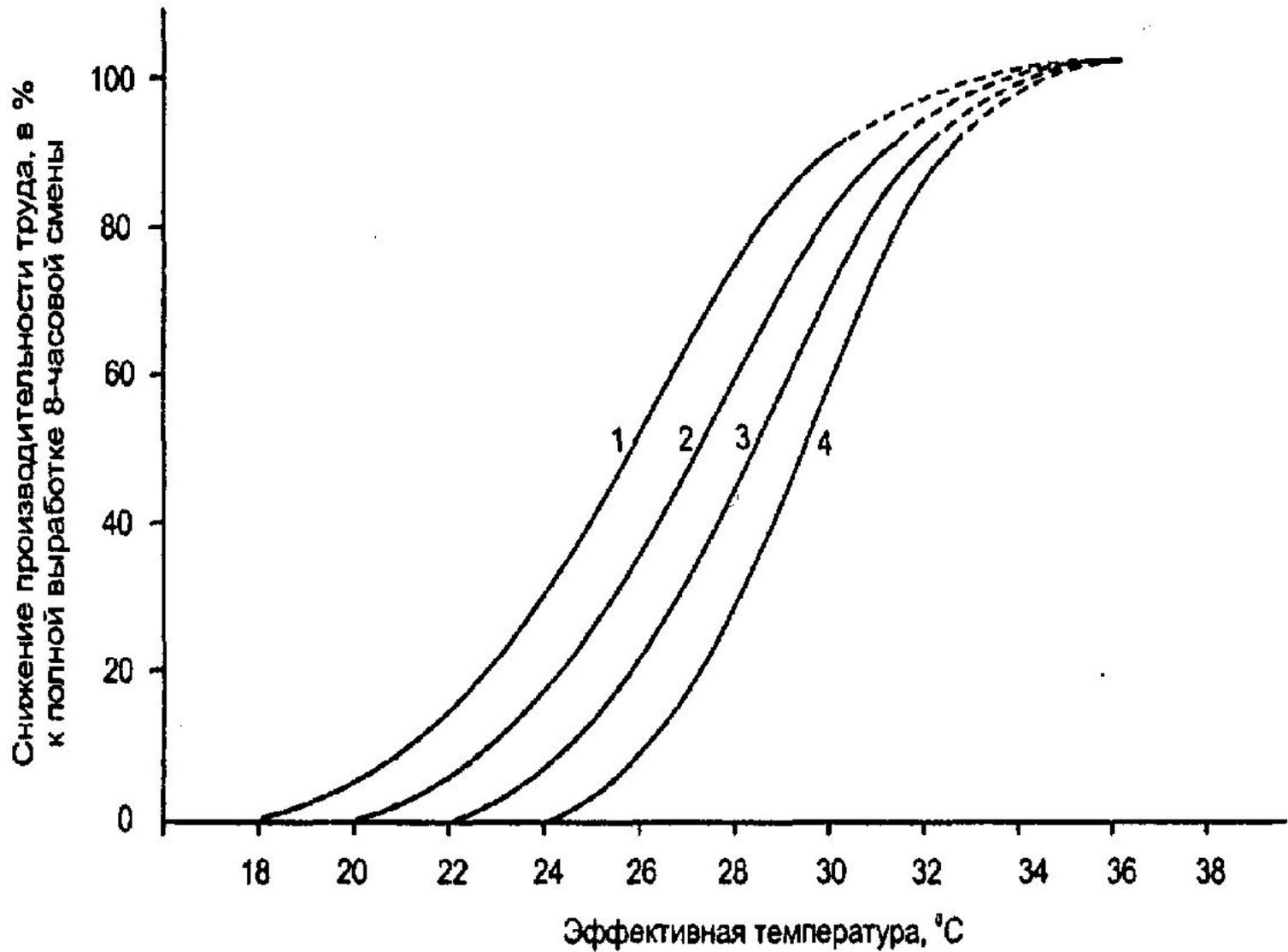
# Гипертермия

Гипертермия (перегрев) наблюдается при нарушении уравнения теплового комфорта, когда внешняя теплота  $Q_{в.т}$  суммируется с теплопродукцией организма, и эта сумма превышает величину теплопотерь.

$$(Q_m + Q_{в.т}) > (Q_{конв} + Q_{изл.} + Q_{исп.})$$

При гипертермии возникает головная боль, учащённый пульс, снижение артериального давления, поверхностное дыхание, тошнота. При тяжёлом поражении возможна потеря сознания. Эти симптомы характерны для теплового и для солнечного удара.

*Повышенная влажность воздуха более 75% ускоряет развитие гипертермии и гипотермии.*



# Влажность воздуха

- Абсолютная влажность — количество воды, содержащейся в одном кубическом метре воздуха.
- Это давление водяного пара в атмосфере.
- Из-за малости величины обычно измеряют в  $\text{г/м}^3$ .

# Влажность воздуха

- **Относительной** влажностью воздуха называется отношение действительной абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к максимально возможной абсолютной влажности воздуха при той же температуре.

$$\varphi = \frac{p_p}{p_0} * 100\%$$

# Влажность воздуха (низкая)

- быстрая утомляемость человека, ухудшение восприятия и памяти.
- высыхание слизистых оболочек человека, растрескивание движущихся поверхностей, образование микротрещин, куда напрямую проникают вирусы, бактерии, микробы.
- Низкая относительная влажность (до 5–7 %) в помещениях отмечена в регионах с продолжительным стоянием низких отрицательных температур наружного воздуха. Обычно продолжительность до 1–2 недель при температурах ниже минус  $20^{\circ}\text{C}$ , приводит к высушиванию помещений.

# Влажность воздуха (высокая)

- быстрая утомляемость человека, ухудшение восприятия и памяти.
- В сочетании с низкими температурами значительное охлаждающее действие
- В сочетании с высокими температурами (более  $30^{\circ}\text{C}$ ) перегревание организма (проливное течение пота)
- Наиболее комфортно человек чувствует себя при влажности воздуха: летом — от 60 до 75 %; зимой от 55 до 70 %.

# Подвижность воздуха

- Скорость движения воздуха – параметр, отражающий интенсивность движения воздушных масс, м/с
- Ощущение 0,1 м/с
- Повышенная скорость – увеличение теплопотерь конвекцией и испарением - переохлаждение организма

# Тепловое излучение

**Тепловое излучение** представляет собой невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0.78 до 1000 мкм, вызывающее тепловой эффект при облучении любого тела.

По длине волны:

- коротковолновое ИКИ-А (менее 1.4 мкм),
- средневолновое ИКИ-В (1.4...3 мкм),
- длинноволновое ИКИ-С (3 мкм...1 мм)

В производственных условиях максимум энергии излучения приходится на более узкий диапазон (0.78...1.4 мкм).

# Тепловое излучение

1. Источники с температурой поверхности до  $500^{\circ}\text{C}$  (3.7-9.3 мкм).
2. Источники с температурой поверхности от 500 до  $1300^{\circ}\text{C}$ . ( 1.9-3.7 мкм).
3. Источники с температурой поверхности от 1300 до  $1800^{\circ}\text{C}$ . ( 1.2-1.9 мкм и видимые лучи).
4. Источники излучения с температурой поверхности свыше  $1800^{\circ}\text{C}$ . ( все виды лучистой энергии).

# Тепловое излучение

- **Лучеиспускание обуславливается только состоянием излучающего тела и не зависит от окружающей среды (закон Кирхгофа).**
- **Лучеиспускательная способность любого тела пропорциональна его лучепоглощающей способности.** Тело, поглощающее все падающие на него лучи (абсолютно черное тело), обладает максимальным излучением.

# Тепловое излучение

- **С повышением температуры излучающего тела интенсивность излучения  $I$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) увеличивается пропорционально 4-й степени его абсолютной температуры (закон Стефана – Больцмана):**

$$I = \sigma T^4$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана,  
 $5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

$T$  – абсолютная температура, К.

Таким образом, даже небольшое повышение температуры тел; приводит к значительному росту отдачи теплоты излучением.

# Тепловое излучение

- ***Количество тепловой энергии, передаваемое излучением:***

$$E = C_1 C_2 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

где  $E$ —теплоотдача, (Вт),  $C_1$  и  $C_2$  —константы излучения с поверхностей;  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана;  $T_1$  и  $T_2$  — температуры поверхностей (К), между которыми происходит теплообмен излучением.

При расчете теплоотдачи излучением учитывают температуру стен и других поглощающих тепловую радиацию поверхностей (среднерадиационная температура).

# Тепловое излучение

- **Произведение абсолютной температуры излучающего тела на длину волны излучения ( $\lambda_{\text{макс}}$ ) с максимальной энергией – величина постоянная  $C$  (закон Вина - закон смещения)**

$$\lambda_{\text{макс}} T = C$$

где  $C = 2880$ ;  $T$  – абсолютная температура, К;  $\lambda$  – длина волны, мкм.

Таким образом, длина волны максимального излучения нагретого тела обратно пропорциональна его абсолютной температуре:

$$\lambda_{\text{макс}} = C/T$$

При температуре твердого тела  $400 \dots 500$  °С излучение происходит главным образом в области длинных волн.

**Терморегуляция** - совокупность физиологических процессов в организме человека, направленных на поддержание постоянной температуры тела.

## **Основные способы терморегуляции организма человека**

- Биохимические процессы - изменение интенсивности происходящих в организме окислительных процессов.
- Изменение интенсивности кровообращения.
- Изменение интенсивности потовыделения - изменение процесса теплоотдачи за счет испарения.

# Гигиеническое нормирование

ГОСТ 12.1.005-88

СанПиН 2.2.4.548-96

- **Оптимальные микроклиматические условия** установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.
- **Допустимые микроклиматические условия** установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

# Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату  
производственных помещений»

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа (до 139)	22-24	21- 25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIа (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Iа (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIа (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

## Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75	0,2	0,5

# Характеристика категорий работ

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ

<b>Категория</b>	<b>Характеристика категории</b>
<b>I а</b> <b>Легкие</b> <b>физические</b> <b>работы</b>	Работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч, выполняющиеся сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением
<b>I б</b>	Работы с интенсивностью энерготрат 121-150 ккал/ч, производимые сидя, стоя, или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением
<b>II а</b> <b>Физические</b> <b>Работы средней</b> <b>тяжести</b>	Работы с интенсивностью энерготрат 151-200 ккал/ч, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения
<b>II б</b>	Работы с интенсивностью энерготрат 201-250 ккал/ч, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением
<b>III</b> <b>Тяжелые</b> <b>физические работы</b>	Работы с интенсивностью энерготрат более 250 ккал/ч, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий

**ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ИНТЕНСИВНОСТИ  
ТЕПЛОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА  
РАБОТАЮЩИХ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ**

<b>Облучаемая поверхность тела, %</b>	<b>Интенсивность теплового облучения, Вт/кв. м</b>
50 и более	35
25 - 50	70
не более 25	100

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ СРЕДЫ (ТНС-ИНДЕКСА)

- эмпирический показатель, характеризующий сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения).
- используется для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах со скоростью движения воздуха менее 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения - 1200 Вт/кв. м.

$$ТНС = 0,7 \cdot t_{вл.} + 0,3 \cdot t_{ш.}$$

# НОРМИРОВАНИЕ ИНДЕКСА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ СРЕДЫ (ТНС-ИНДЕКСА)

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ СРЕДЫ (ТНС-ИНДЕКСА) ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ПЕРЕГРЕВАНИЯ ОРГАНИЗМА

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

# Приборы для измерения

Параметр	Прибор
Температура, влажность	Аспирационный психрометр, гигрометр (рис. 1)
Скорость движения воздуха	Анемометр, термоанемометр, кататермометр (рис. 2)
Интенсивность теплового излучения	Актинометр, радиометр (рис.3)
Температура поверхности	Пирометр (рис.4)
ТНС-индекс	Шаровый термометр (рис.5)

# Приборы для измерения



# Приборы для измерения



# Улучшение микроклимата

**Улучшение микроклимата достигается:**

**В холодный период** года применением теплоизолирующих материалов и систем отопления.

**В тёплый период** года использованием вентиляции и систем кондиционирования воздуха (СКВ).

Системы отопления делят на:

- паровые;
- водяные;
- воздушные;
- электрические;
- топливные.

Цель отопления - компенсировать потери теплоты.

Вентиляция по способу перемещения воздуха делится на:

- естественную;
- искусственную;
- смешанную.

Назначение вентиляции - это поглощение избыточной теплоты или нагревание воздуха.

# СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Потери теплоты в помещении  $Q_{\Pi}$  складываются из потерь на ограждениях  $Q_{огр.}$  и на остеклении  $Q_{ост.}$ . Система отопления должна иметь теплопроизводительность не меньше, чем величина теплопотерь.

$$Q_n = Q_{огр.} + Q_{ост.};$$

$$Q_{огр.} = F_{огр.} K_{огр.} (t_{вн.} - t_{нар.});$$

$$Q_{ост.} = F_{ост.} K_{ост.} (t_{вн.} - t_{нар.}),$$

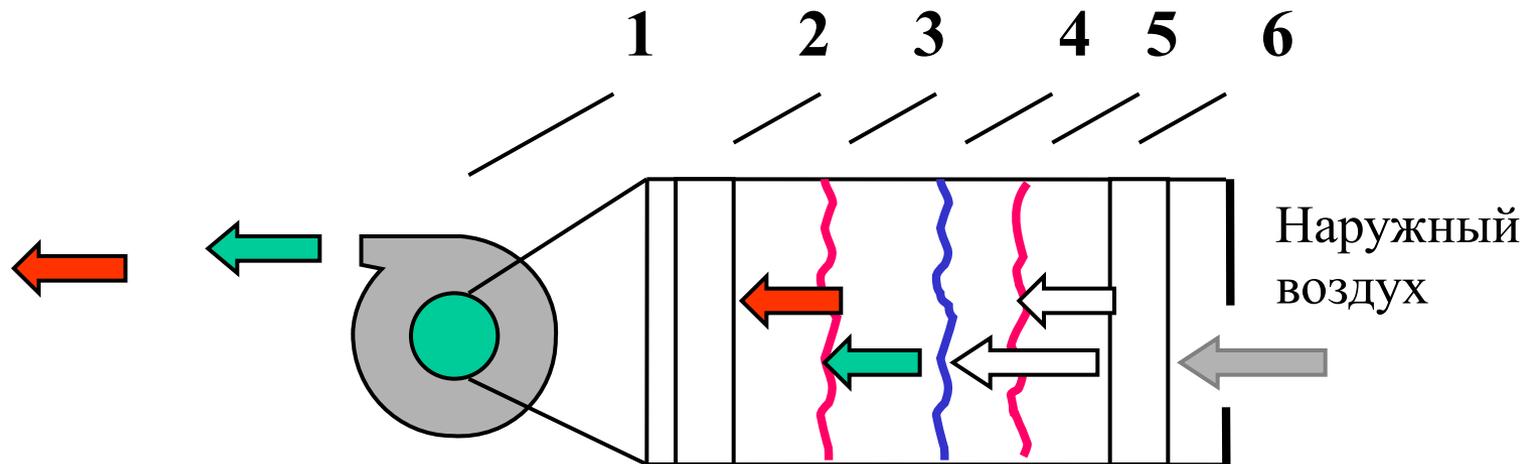
где  $F_{огр.}$ ,  $F_{ост.}$  - площадь ограждений и остекления,  $m^2$ ;

$K_{огр.}$ ,  $K_{ост.}$  - коэффициенты теплопередачи,  $Вт/(m^2 \cdot град.)$ ;

$t_{вн.}$ ,  $t_{нар.}$  - температура внутреннего и наружного воздуха,  $^{\circ}C$ .

# Система кондиционирования воздуха (СКВ)

СКВ обеспечивает для человека оптимальный микроклимат



## Схема кондиционера

1 – вентилятор; 2 – увлажнитель; 3 – калорифер второй ступени; 4 – охладитель; 5 – калорифер первой ступени; 6 – воздушный фильтр.

**В режиме охлаждения воздух охлаждается и осушается (4,3)**

**В режиме отопления воздух нагревается и увлажняется (5,2)**