



# ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА

Для профилей:  
Теплогазоснабжение и вентиляция

## Раздел 3

Тепловая нагрузка на системы  
отопления-охлаждения и определение  
воздухообмена в помещении

Автор: Геллер Юлия Александровна, к.т.н.  
y\_geller@mti.edu.ru

Москва, 2015

1. Микроклимат помещения.
2. Наиболее существенные факторы микроклимата
3. Комфортная окружающая среда.
4. Пассивные и активные факторы формирования микроклимата помещения.
5. Технологические требования к микроклимату и комфортно-технологические
6. Возмущающие и регулирующие воздействия на микроклимат помещения.



# Принципы определения тепловой мощности систем отопления- охлаждения

## ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА НА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ-ОХЛАЖДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ

# ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА, ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА



□ Структурная схема формирования микроклимата

- Тепловая нагрузка - сумма тепловых потоков, поступающих в помещение, которую должна нейтрализовать система, чтобы обеспечить в пределах рабочей зоны помещения в течение рабочего времени заданную (рабочую) температуру воздуха.



# НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

- Возмущающие и регулирующие тепловые воздействия в силу их разной природы и из-за разных функций изменения во времени суток по-разному воздействуют на формирование температуры воздуха. Причем из-за нестационарности процессов имеет место запаздывание реакции температуры воздуха на то или иное тепловое воздействие.

$$t_{\text{в}}(\tau)_1 = t_{\text{в}}(\tau)_2$$

$t_{\text{в}}(\tau)_1$

функция изменения температуры воздуха от суммы  
возмущающих  
тепловых воздействий  $Q_j(\tau)$

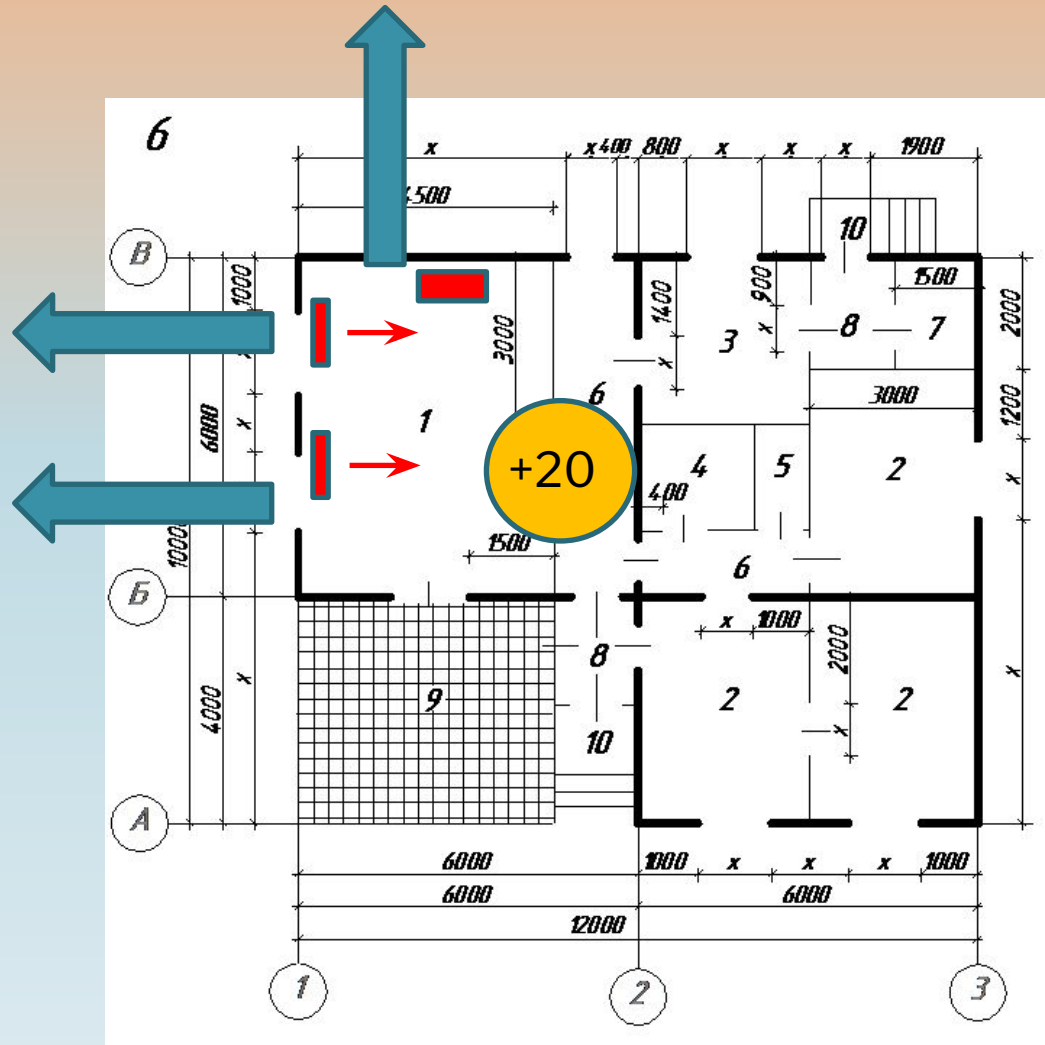
$t_{\text{в}}(\tau)_2$

функция изменения температуры воздуха от  
регулирующего теплового воздействия  $Q_c(\tau)$

$$t_{\text{в}}(\tau)_2 = F[Q_c(\tau)]$$

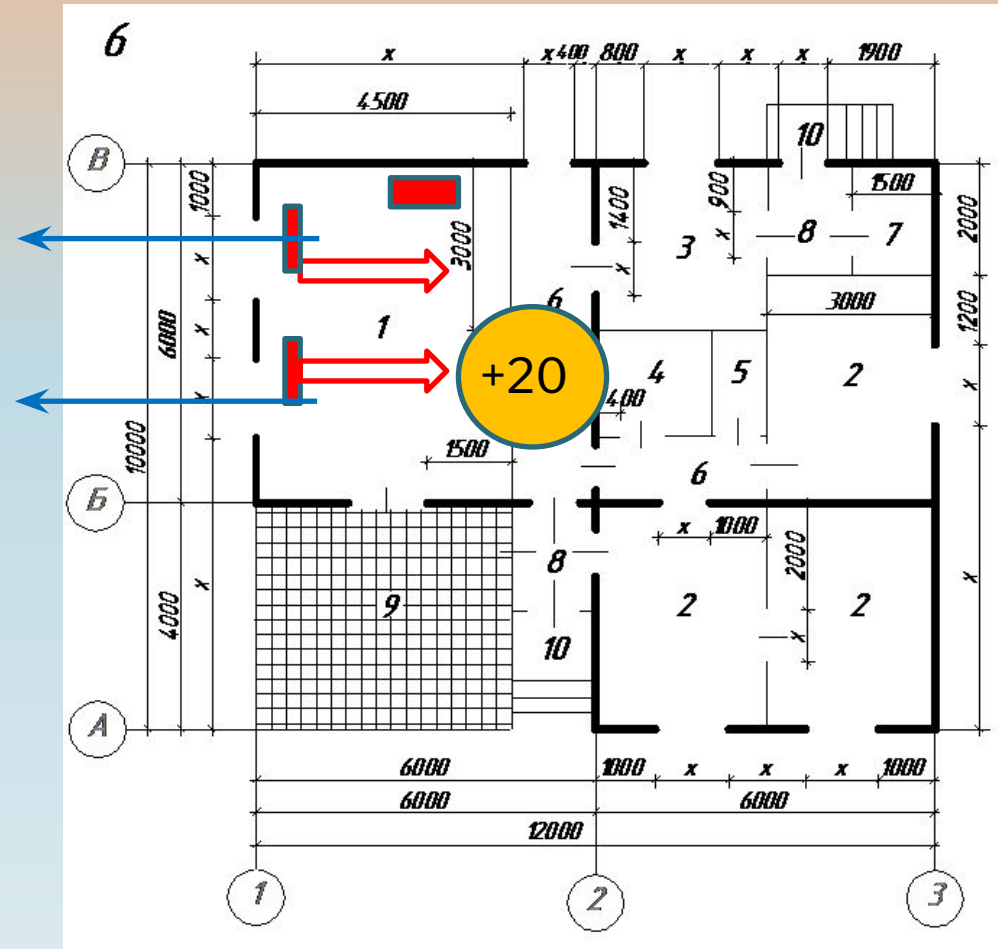
-30

Так, поток со знаком «плюс» соответствует тепlopоступлению, а со знаком «минус» - тепlopотерям помещения. Нагрузка на систему отопления-охлаждения равна алгебраической сумме тепловых потоков, поступающих в помещение с учетом знака.





-5

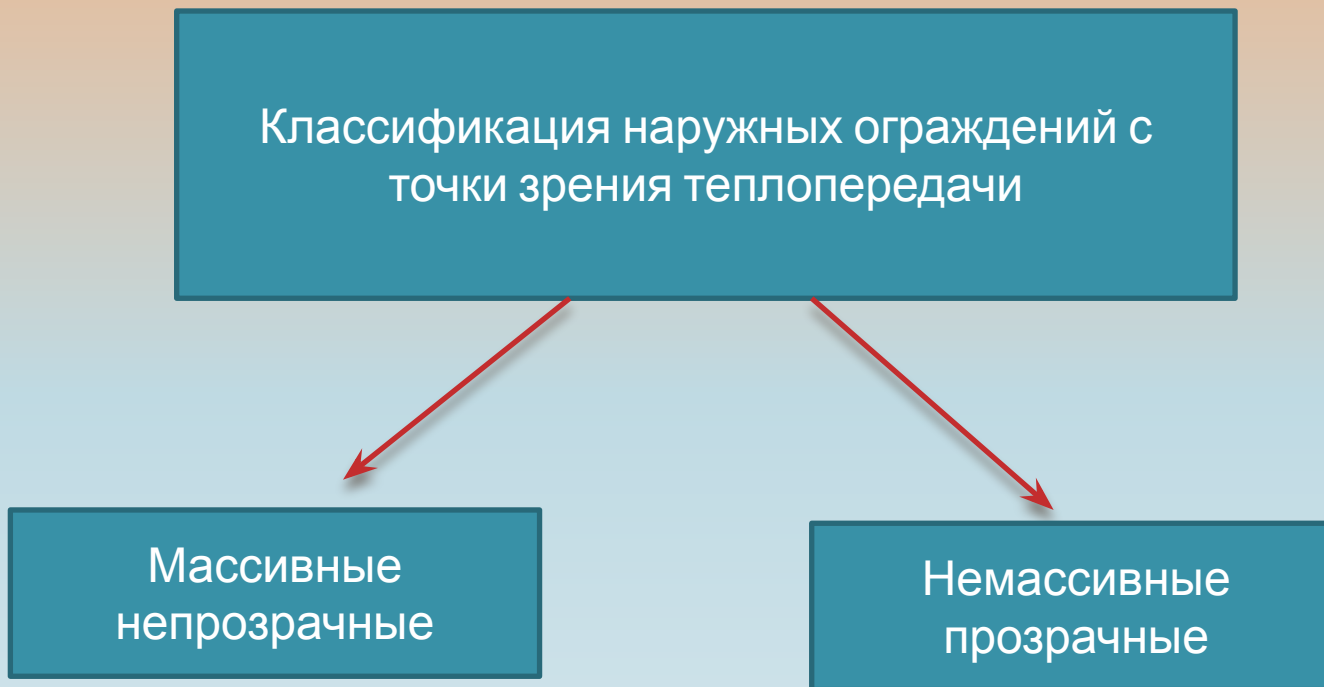


Нагрузка на систему со знаком «плюс» означает потребность помещения в холоде, а нагрузка со знаком «минус» - потребность помещения в теплоте. В свою очередь, нагрузка на систему определяет ее требуемую мощность (тепловую, холодильную, электрическую).

# СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

- Тепловая нагрузка на системы отопления .. охлаждения складывается
- из тепловых потоков, поступающих через наружные ограждения
- и от внутренних источников. Через наружные ограждения проходят:
- - трансмиссионный тепловой поток за счет разности наружной
- и внутренней температуры; ,
- - тепловой поток с инфильтрационным воздухом, проходящим
- через окна;
- - тепlopоступления от солнечной радиации.

# ТРАНСМИССИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК, ПРОХОДЯЩИЙ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ



- Из-за изменения во времени граничных условий процессы передачи тепла через ограждения носят нестационарный характер. С учетом суточной периодичности изменения параметров наружного климата можно говорить о суточном ходе тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения. При этом величину теплового потока можно представить в виде суммы:

- Из-за изменения во времени :граничных условий процессы передачи тепла через ограждения носят нестационарный характер. С учетом суточной периодичности изменения параметров наружного климата можно говорить о суточном ходе тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения. При этом величину теплового потока можно представить в виде суммы:

$$Q(\tau) = Q_0 + \Delta Q(\tau)$$

где  $Q_0$  - среднесуточная величина потока, Вт;

$\Delta Q(\tau)$  – изменяющееся во времени суток отклонение теплового потока от среднесуточного, Вт.

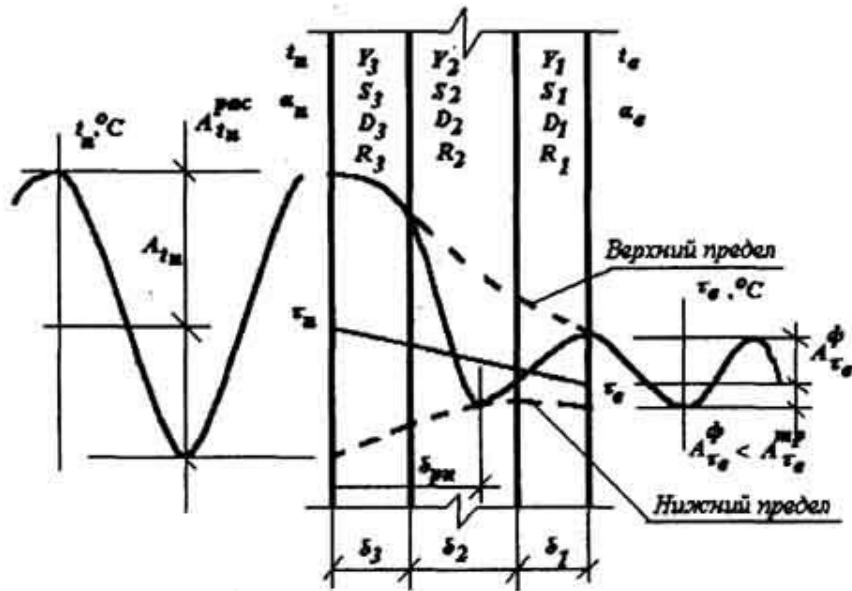
# ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

- При гармоническом изменении температуры наружной среды отклонение теплового потока на внутренней поверхности массивного ограждения от среднесуточного значения равно:

$$\Delta Q_{в} = \Delta Q_{н} / \nu$$

- где  $\nu$  - коэффициент затухания колебаний теплового потока;
- $\Delta Q_{н}$  - отклонение теплового потока на наружной поверхности от среднесуточного значения

# ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ



- В толще ограждения образуется температурная волна, затухающая по мере проникновения ее в толщу ограждения. Расстояние между двумя максимумами или минимумами волны  $l$  называется *длиной волны*. Для характеристики числа волн, располагающихся в толще данного ограждения, служит безразмерный *показатель тепловой инерции  $D$* .
- Показатель тепловой инерции характеризует число температурных волн, располагающихся в толще ограждения. В ограждении при  $D=8,5$  располагается примерно одна температурная волна.

# КОЭФФИЦИЕНТ ЗАТУХАНИЯ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

$$\nu = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_v)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_n},$$

- $D$  – тепловая инерция ограждающей конструкции;
- $e$  – основание натурального логарифма ( $e=2,718$ )
- $S_1; S_2; \dots; S_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала наружной поверхности отдельных слоев ограждения;
- $\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи внутренней стороны
- $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной стороны
- $Y_1; Y_2; \dots; Y_n$  – коэффициент теплоусвоения материала наружной поверхности отдельных слоев ограждения

- Проверку на теплоустойчивость осуществляют для горизонтальных (покрытия) и вертикальных (стены) ограждений. Определение допустимой (требуемой) амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности  $A^{тр}$  наружных ограждений с учётом санитарно-гигиенических требований:

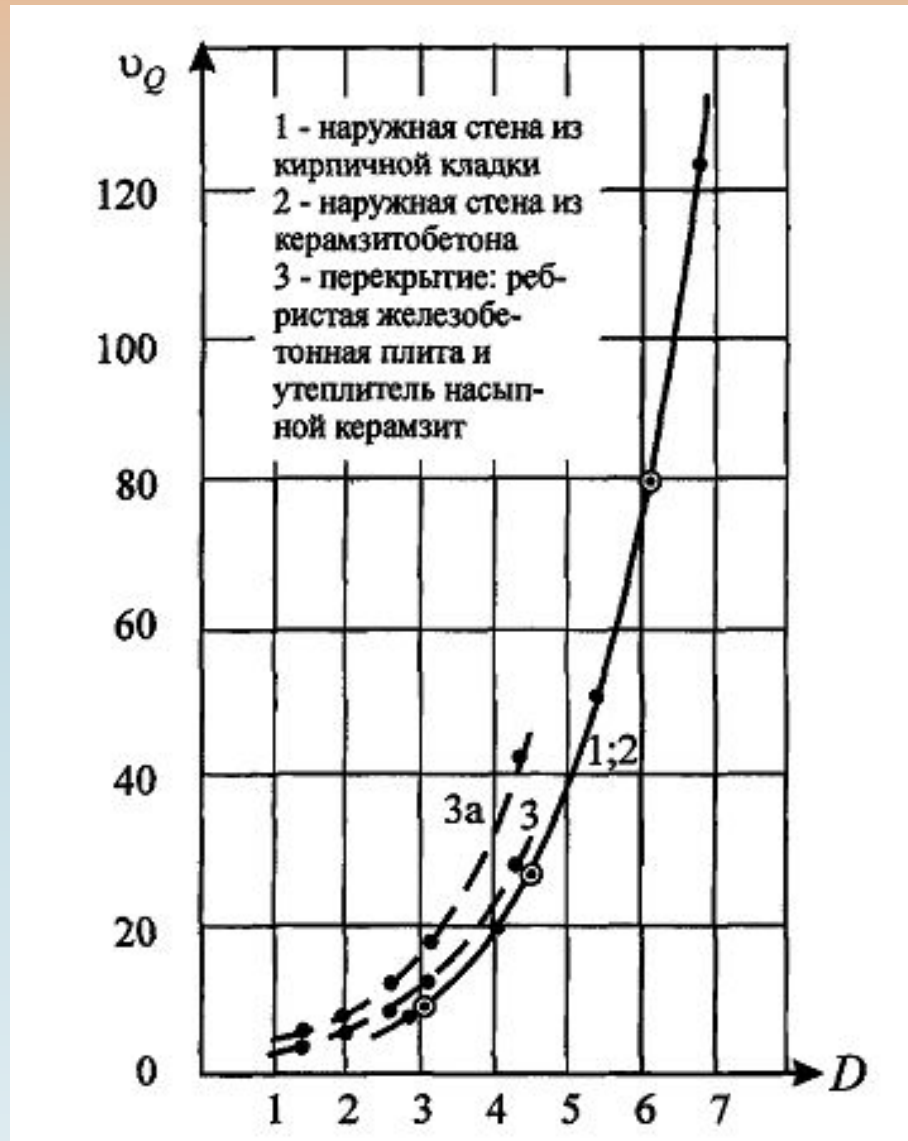
$$A^{тр} = 0,5A_{tн} - 0,1(t_{нл} - 21)$$

- $t_{нл}$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °С

$$A^{рас} = 0,5A_{tн} - \rho(l_{max} - l_{cp})\alpha_H$$



# КОЭФФИЦИЕНТ ЗАТУХАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ



# ТРАНСМИССИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК, ПРОХОДЯЩИЙ ЧЕРЕЗ МАССИВНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ $Q_M$ В Вт:

$$Q_{\text{ТП}} = k_1 A_1 (t_{\text{нар}} - t_{\text{п}})$$

$$t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{р}}}{2}$$

- ✦  $k_1$  - коэффициент теплопередачи  $i$ -того массивного ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>К)
- ✦  $A_1$  - площадь окна, м<sup>2</sup>
- ✦  $t_{\text{у.о.}}$  - среднесуточная условная температура

# ТРАНСМИССИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК, ПРОХОДЯЩИЙ ЧЕРЕЗ ЛУЧЕПРОЗРАЧНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ $Q_M$

В Вт:

$$Q_{\text{ТП}} = k_2 A_2 (t_{\text{нар}} - t_{\text{п}})$$

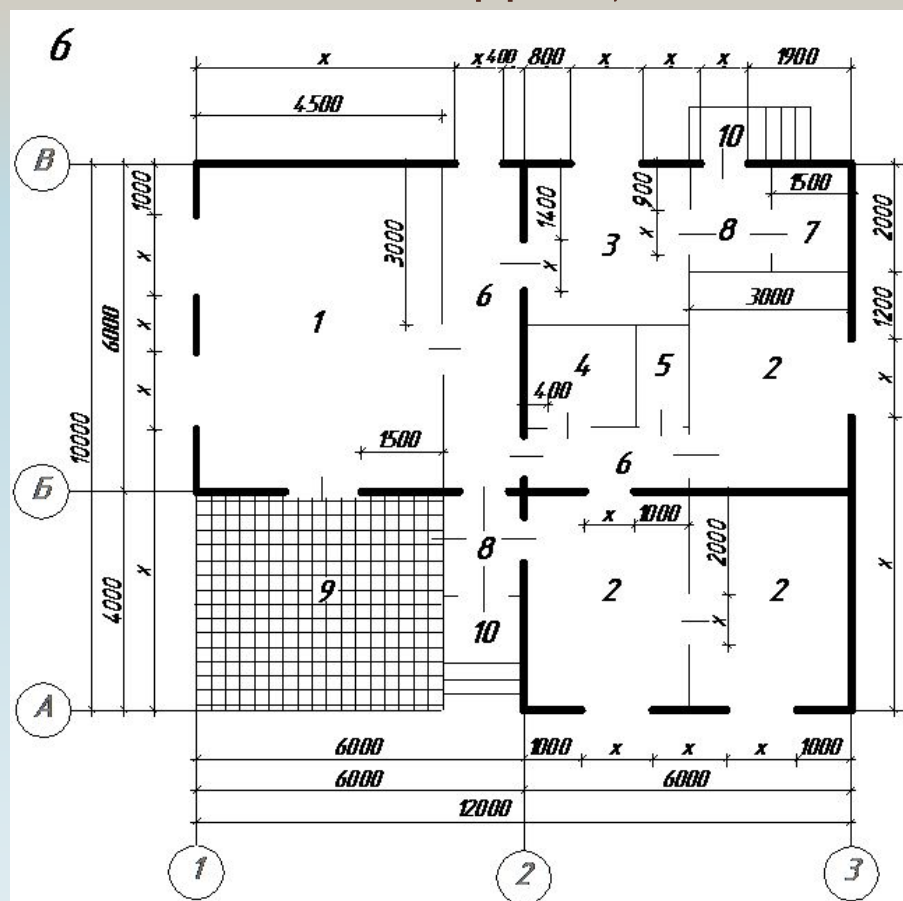
$$t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{р}}}{2}$$

- ✦  $k_2$  - коэффициент теплопередачи окон, Вт/(м<sup>2</sup>К)
- ✕  $A_2$  - площадь окна, м<sup>2</sup>
- ✕  $t_{\text{нар}}$  - температура наружной среды

# ПРАВИЛА ОБМЕРА ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

- Площадь наружных и внутренних ограждений при расчете теплотерь вычисляют с точностью до  $0,01\text{ м}^2$ . Линейные размеры снимают с точностью до  $0,1\text{ м}$ .

- Стены угловых помещений
- Стены рядовых помещений





# УЧЕТ ДОБАВОЧНЫХ ТЕПЛОПОТЕРЬ

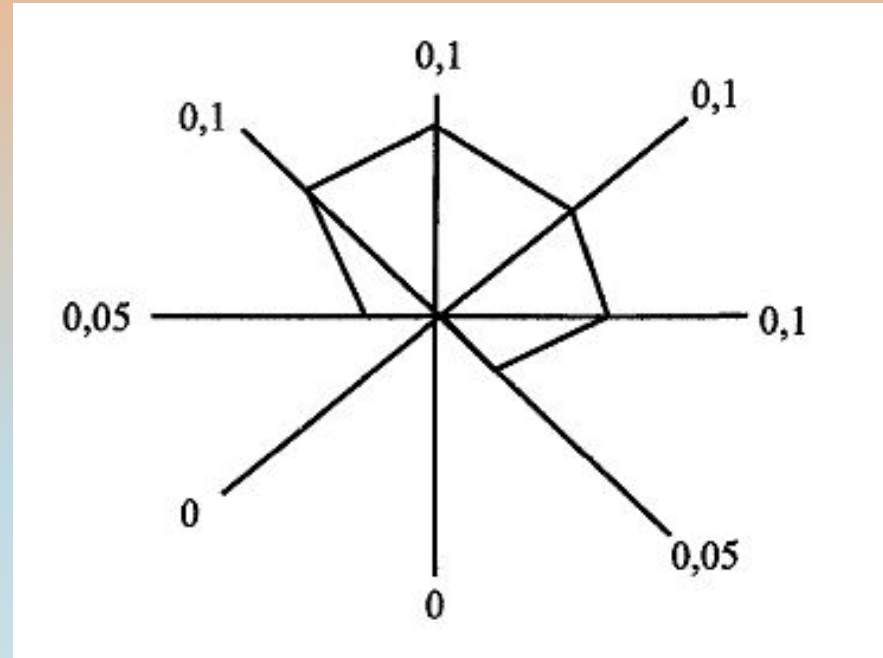
- Добавка на ориентацию ограждения по сторонам горизонта
- Добавка на врывание в здания и сооружения холодного воздуха через входы
- Добавка на высоту помещения.
- Добавку на проветривание холодного подполья зданий в районах вечной мерзлоты
  
- Добавочные потери определяют в долях от основных теплопотерь.

,

# ДОБАВКА К ОРИЕНТАЦИИ ОГРАЖДЕНИЯ ПО СТОРОНАМ ГОРИЗОНТА

*C, В. С-В, С-З -  $\beta=0,1$*

*З и Ю-В -  $\beta=0,1$*



Примечания:

1. В угловых помещениях жилых и тому подобных зданий, на пример, в спальнях детских учреждений, повышают расчетную температуру внутреннего воздуха на  $2^{\circ}$ , а добавку  $0,05$  или  $0,1$  не вводят.
2. Угловыми считаются помещения, имеющие две и более наружные стены разной ориентации, причем необязательно смежные, но и противоположные.

# ДОБАВКА В НА ВРЫВАНИЕ В ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ХОЛОДНОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВХОДЫ, НЕ ОБОРУДОВАННЫЕ ВОЗДУШНЫМИ И ВОЗДУШНО ТЕПЛОВЫМИ ЗАВЕСАМИ

принимают - при высоте здания Н, м, в размере:

<b><i>-- для одинарных дверей</i></b>	<b>0,22Н</b>
<b><i>-- для двойных дверей с тамбуром между ними</i></b>	<b>0,27Н</b>
<b><i>-- то же, но без тамбура</i></b>	<b>0,34Н</b>
<b><i>-- при наличии двух тамбуров между тройными дверями</i></b>	<b>0,2Н</b>
<b><i>-- для наружных ворот, не оборудованных воздушными завесами, и при отсутствии тамбура</i></b>	<b>3,0</b>
<b><i>-- то же, но при наличии тамбура</i></b>	<b>1,0</b>



# ДОБАВКА НА ВЫСОТУ ПОМЕЩЕНИЯ

- для помещений общественных зданий (кроме лестничных клеток) высотой более 4 м суммарные теплопотери (с учетом добавок) увеличивают на 2% на каждый метр высоты сверх 4 м, но не более чем на 15%.

# ДОБАВКА НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ХОЛОДНОГО ПОДПОЛЬЯ ЗДАНИЙ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

- при  $t_{н.б} < -40^{\circ}\text{C}$  - принимают в размере 0,05 основных теплопотерь через полы помещения на первом этаже здания.

# ТЕПЛОВОЙ ПОТОК С ИНФИЛЬТРАЦИОННЫМ ВОЗДУХОМ

$$Q_{\text{и}} = \frac{1}{3,6} A_{\text{э}} A_{\text{ок}} G_{\text{и}} (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}), \text{ Вт},$$

- $A_{\text{э}}$  – экономайзерный коэффициент, учитывающий частичный подогрев воздуха при его просачивании и равный 0,8 для двойного остекления в отдельных переплетах, 0,7 – для тройного остекления, а в остальных случаях – 1.
- $G_{\text{и}}$  – расход инфильтрационного воздуха, отнесенный к площади окна, кг/(м<sup>2</sup>ч)

# ТЕПЛОВОЙ ПОТОК С ИНФИЛЬТРАЦИОННЫМ ВОЗДУХОМ (ПО СНИП)

$$Q_{\text{и}} = 0,28 \sum G_1 c (t_p - t_2) k$$

- $G_{\text{и}}$  - расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения;
- $c$  - удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С)
- $t_p, t_2$  - расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении (средняя с учетом повышения для помещений высотой более 4 м) и наружного воздуха в холодный период года (параметры Б);
- коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами, 0,8 - для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и 1,0 - для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

# ТЕПЛОВОЙ ПОТОК С ИНФИЛЬТРАЦИОННЫМ ВОЗДУХОМ (ПО СНИП)

$$Q_{\text{и}} = 0,28 \sum L_1 \rho c (t_p - t_2) k$$

- $L_1$  - расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным;
- $\rho$  – плотность воздуха в помещении, кг/м<sup>3</sup>

# СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТЕПЛОВОГО НАГРУЗКИ НА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

Составляющие тепловой нагрузки  
на системы отопления и охлаждения



Трансмиссионный  
тепловой поток за счет  
разности наружной  
и внутренней  
температуры;

Тепловой поток с  
инфильтрационным  
воздухом, проходящим  
через окна

Теплопоступления от  
солнечной радиации.



Теплопереда  
ча через  
массивные  
непрозрачные  
ограждения

Теплопередача  
через массивные  
непрозрачные  
ограждения

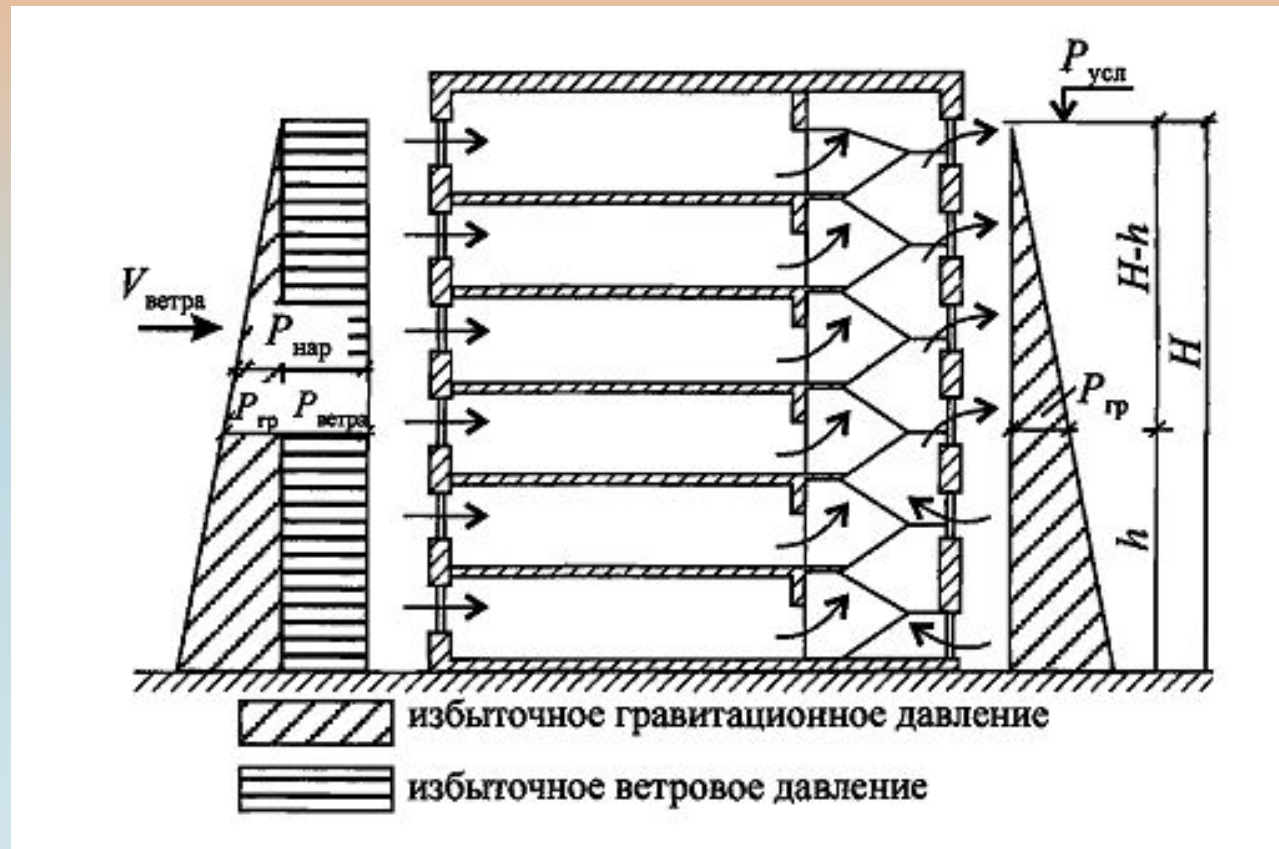
# РАСЧЕТ РАСХОДА ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ВОЗДУХА

$$G_{\text{н}} = \frac{1}{R_{\text{н.ок}}} \left( \frac{\Delta P}{10} \right)^{2/3},$$

- Определение удельного расхода воздуха, проходящего через неплотности окон,

где  $R_{\text{н.ок}}$  – *сопротивление окон воздухопроницанию*, м<sup>2</sup>·ч/кг;

$\Delta P$  – разность давления воздуха снаружи и внутри здания по формуле (2.11), Па (данный вопрос рассматривается также в курсе «Теплофизика зданий»).



- Эпюра разности давления воздуха в здании со сбалансированной вентиляцией