

Литература

- Гусев Н.М. Основы строительной физики. М.: Стройиздат, 1975.
- Фокин А.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973.
- Богословский В.Н. Строительная физика. СПб: Авок северо-запад, 2006.
- Справочник проектировщика. Строительная физика/Перевод с немецкого под редакцией Соловьева А.К. М.: Техносфера, 2005.

Нормативная литература

- СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий;
- СП 23-101-2000 Проектирование тепловой защиты зданий.
- СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*;
- СП 5013330-2012 Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003

Строительная теплофизика

- *изучает* процессы передачи теплоты, переноса влаги, фильтрации воздуха применительно к строительным конструкциям

Виды передачи теплоты

- Теплопроводность
- Излучение
- Конвекция
- ***Теплопроводность*** – вид передачи теплоты в твердых телах. Вещество рассматривается как сплошная среда.
- Большинство строительных материалов являются ***пористыми телами***. Внутри пор между поверхностями ее стенок происходит лучистый теплообмен. Передача теплоты излучением в порах материалов определяется главным образом размером пор

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

- определяет количество тепла, теряемого отапливаемыми зданиями в зимний период;
- обеспечивает
 - защиту здания от перегрева в летнее время;
 - постоянство температуры воздуха в здании при неравномерной отдаче тепла системой отопления;
 - температуру внутренней поверхности ограждений, гарантирующую невыпадение на ней конденсата;
- определяет влажностный режим ограждения, влияющий на теплозащитные качества ограждения и его долговечность.

Тепловой баланс человека

$$\begin{aligned} & (Q_M + Q_{T.V.}) - (Q_{ИЗЛ} + Q_{КОНВ} + \\ & + Q_{КОНД} + Q_{ИСП.ДИФ} + Q_{ИСП.ДЫХ} + \\ & + Q_{ИСП.П} + Q_{ДЫХ}) = Q_{ТС} \end{aligned}$$

Q_M - тепло, продуцируемое человеком
(теплопродукция);

$Q_{Т.В}$ - тепло, поступающее извне (например, от
нагретых поверхностей оборудования и др.);

$Q_{изл}$ - теплоотдача излучением;

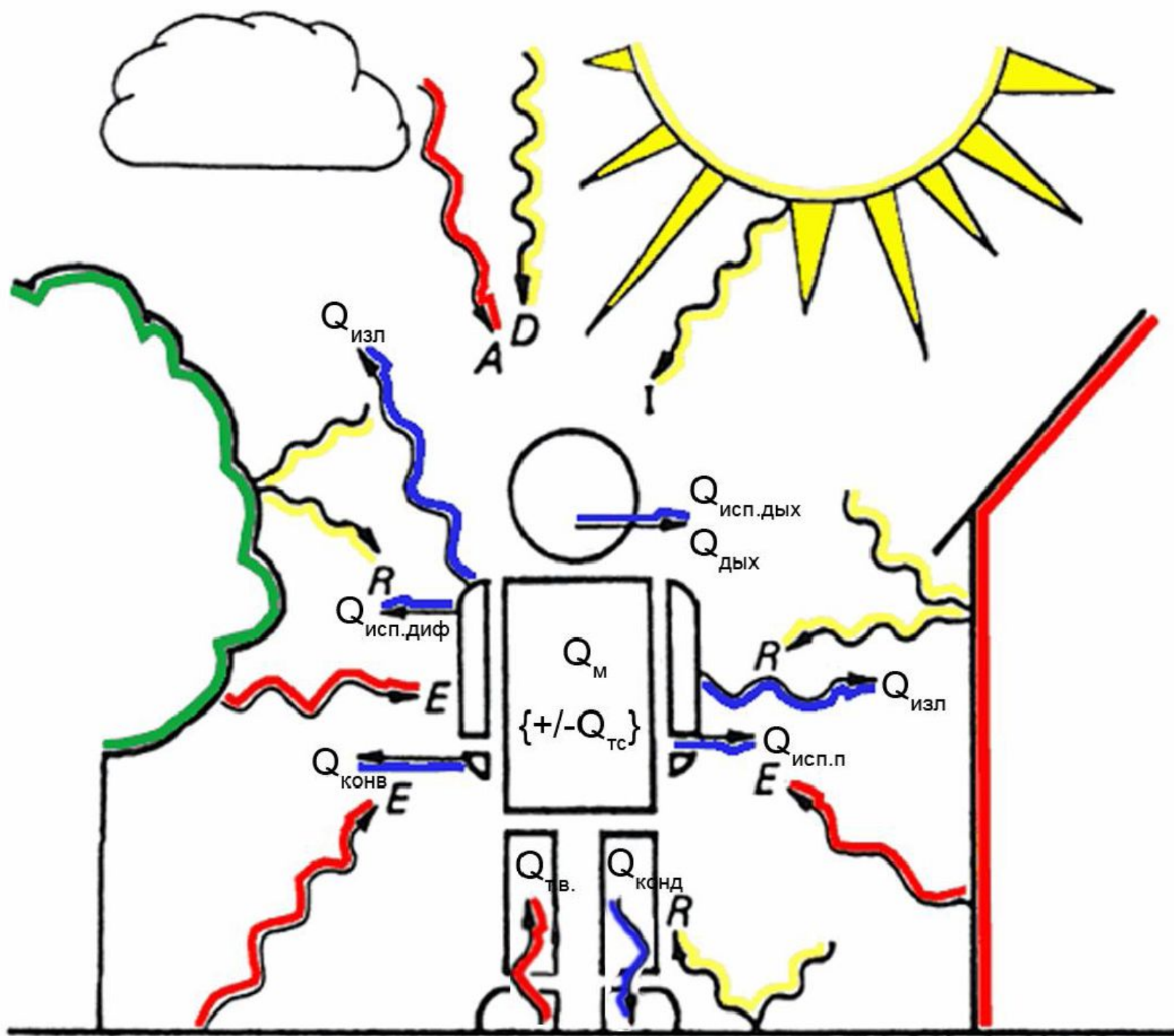
$Q_{конв}$ - теплоотдача конвекцией;

$Q_{конд}$ □ - теплоотдача за счет теплопроводности;

$Q_{исп.диф}$ □ - теплоотдача вследствие испарения
диффузионной влаги с поверхности кожи;

$Q_{исп.дых}$, $Q_{исп.п}$, $Q_{дых}$ - соответственно, теплоотдача
вследствие испарения влаги с верхних
дыхательных путей, испарение пота, нагревания
вдыхаемого воздуха;

$Q_{ТС}$ - накопление или дефицит тепла в организме.



Параметры микроклимата

- Температура воздуха
- Влажность воздуха
- Подвижность воздуха
- Радиационная температура

Температура внутреннего воздуха

Пониженная – 8-12° – слабо отапливаемые помещения

Нормальная – 12-15° – помещения, где люди заняты физической работой
– 18-20° – помещения, где люди находятся в малоподвижном состоянии, не требующем физического напряжения

Повышенная – 21-23° – помещения для точной работы, не связанной с физическими усилиями

Радиационная температура

$$t_r = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n A}$$

- где A - площадь внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов, м²;
- t – температура внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов, °С.

Измерение параметров микроклимата

- Измерение температуры в многоквартирных домах следует проводить не менее чем в двух комнатах площадью более 5 м² каждая в квартирах на первом и последнем этажах. Измерения проводятся на высоте: 0,6 и 1,1 м от поверхности пола:
- в центре обслуживаемой зоны и на расстоянии 0,5 м от внутренней поверхности наружных стен и стационарных отопительных приборов;
- в центре помещения (в точке пересечения диагональных линий помещения).
- Температуру внутренней поверхности стен, перегородок, пола, потолка следует измерять в центре соответствующей поверхности.
- Для наружных стен со светопроемами и отопительными приборами температуру на внутренней поверхности следует измерять в центрах участков, образованных линиями, продолжающими грани откосов светопроема, а также в центре остекления и отопительного прибора.
- Относительную влажность в помещении следует измерять в центре помещения на высоте 1,1 м от пола.

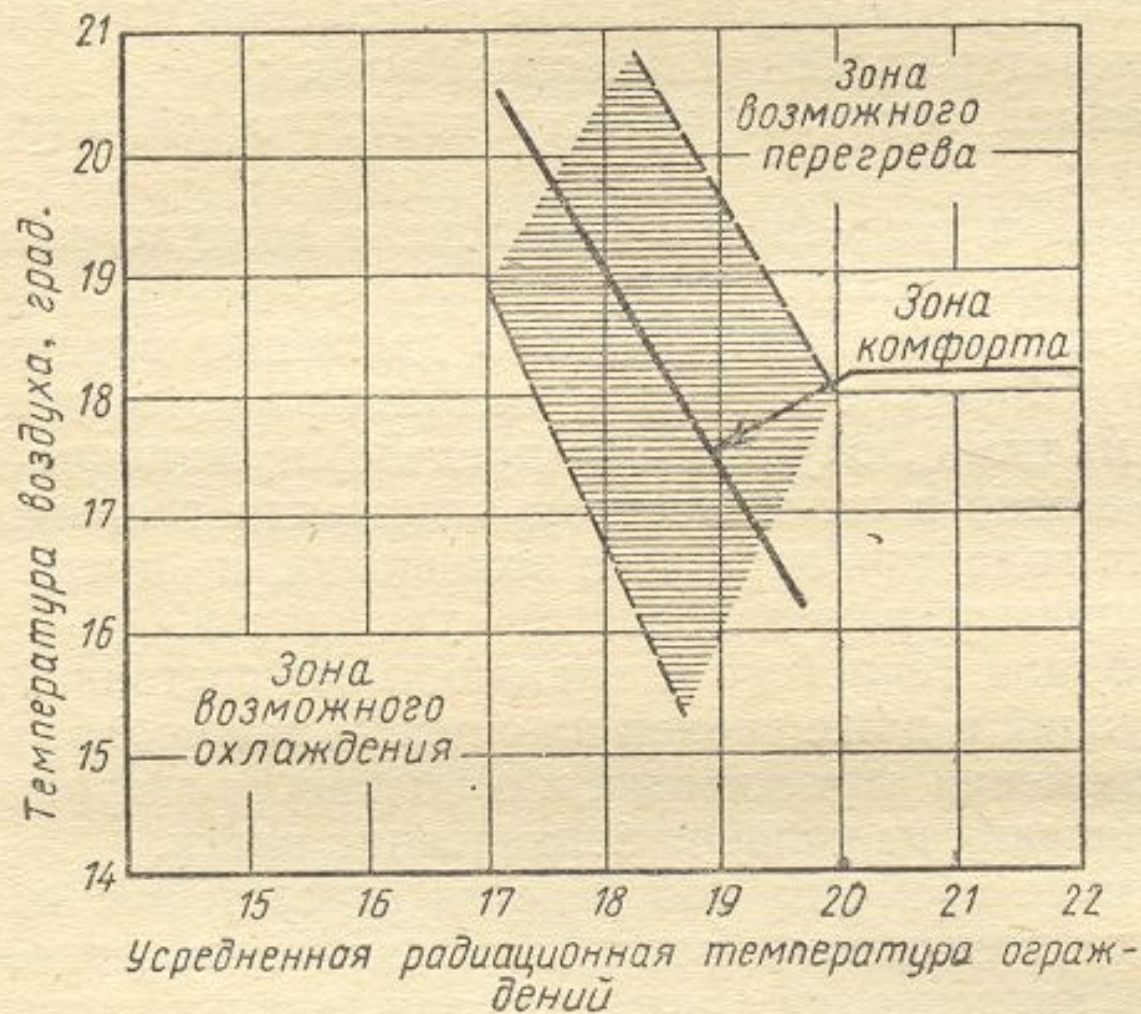


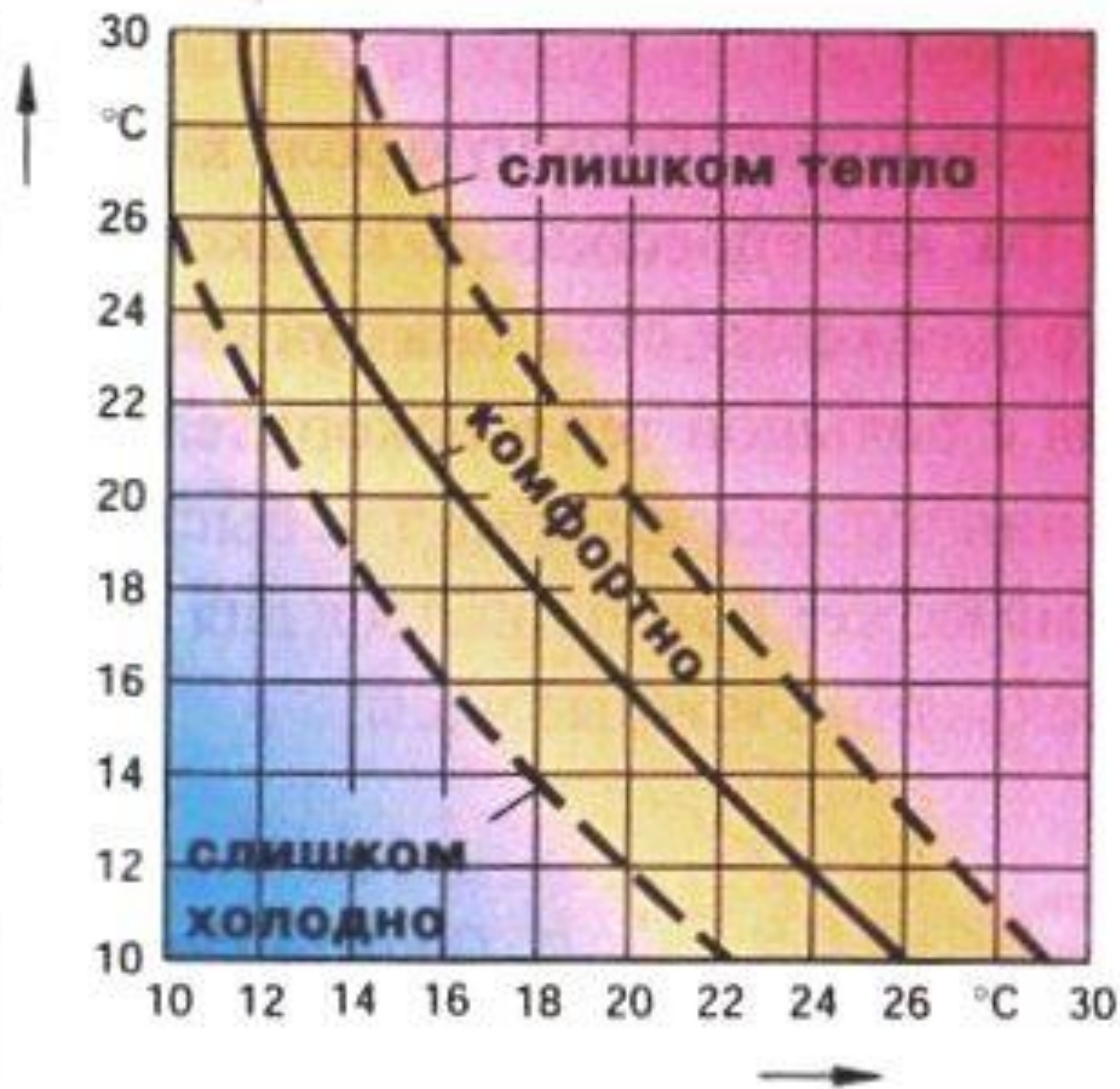
Рис. III.1. Область температур, обеспечивающая комфортное тепловое состояние человека в отапливаемом помещении (по данным Н. А. Пономаревой)

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции

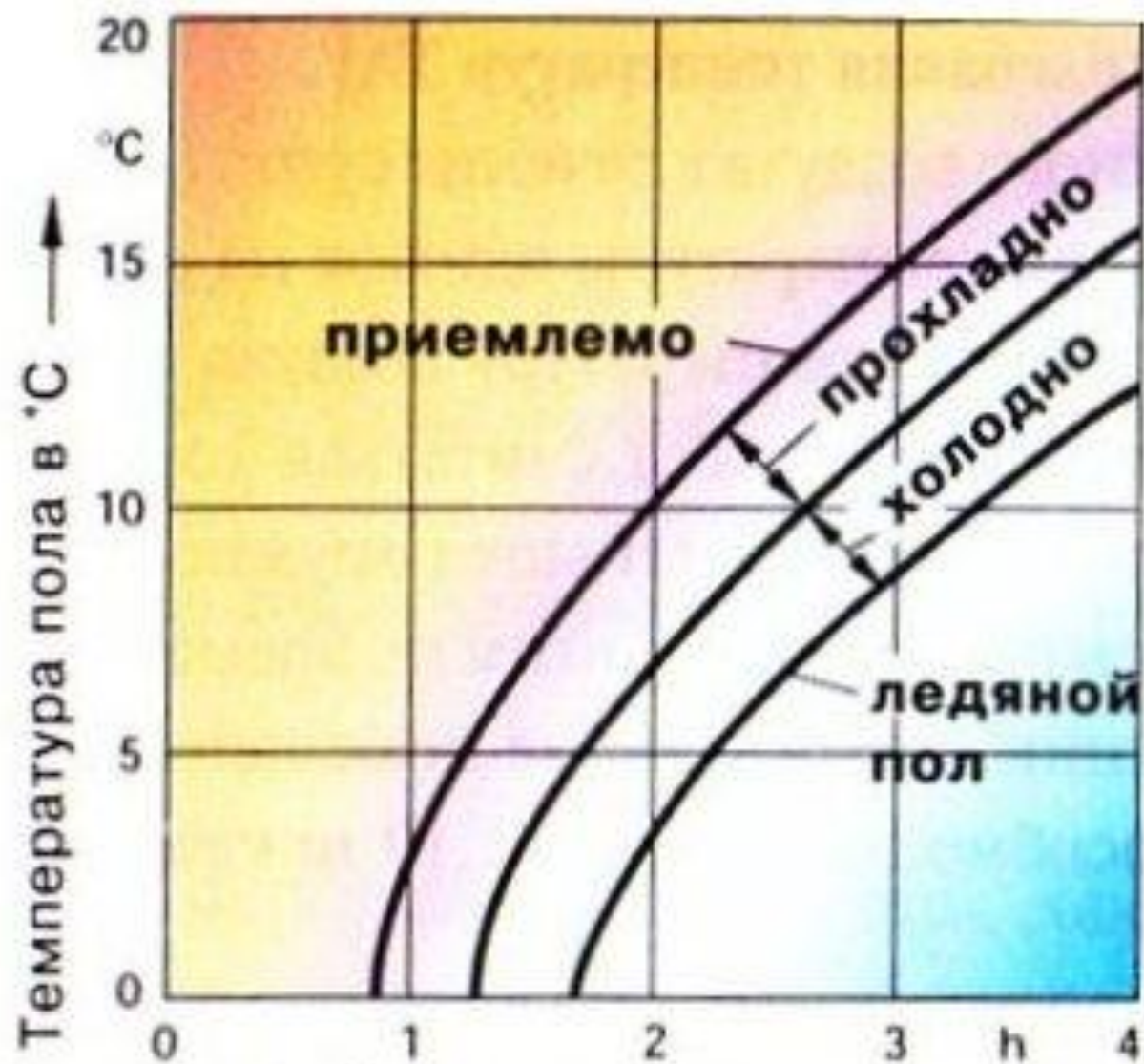
Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t_{n, \text{°C}}$, для			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_{int} - t_d$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_{int} - t_d$

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад Δt_n , °С, для			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_{int} - t_d$, но не более 7	0,8 ($t_{int} - t_d$), но не более 6	2,5	$t_{int} - t_d$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{int} - t_d$	0,8 ($t_{int} - t_d$)	2,5	-
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м ³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50 %	12	12	2,5	$t_{int} - t_d$

Температура поверхности стены в °C



Температура в помещении в °C



Продолжительность пребывания в час →

Относительная влажность внутреннего воздуха

Менее 50% - сухие помещения

- 50-60% - помещения с нормальной влажностью
- 61-75% - влажные помещения
- Более 75% - помещения с мокрым режимом

Влажностный режим помещения

	Влажность воздуха в % при температуре		
	До 12°	Св.12° до 24°	Св. 24°
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св.60 до 75	Св.50 до 60	Св.40 до 50
Влажный	Св.75	Св.60 до 75	Св.50 до 60
Мокрый	-	Св.75	Св.60

отопления

- 8-15° – прохладная

- 16-28° – теплая

Ниже -12° – очень холодная

- Выше 28° – жаркая

- Ниже -8° – холодная, требующая

- Выше 32° – очень жаркая

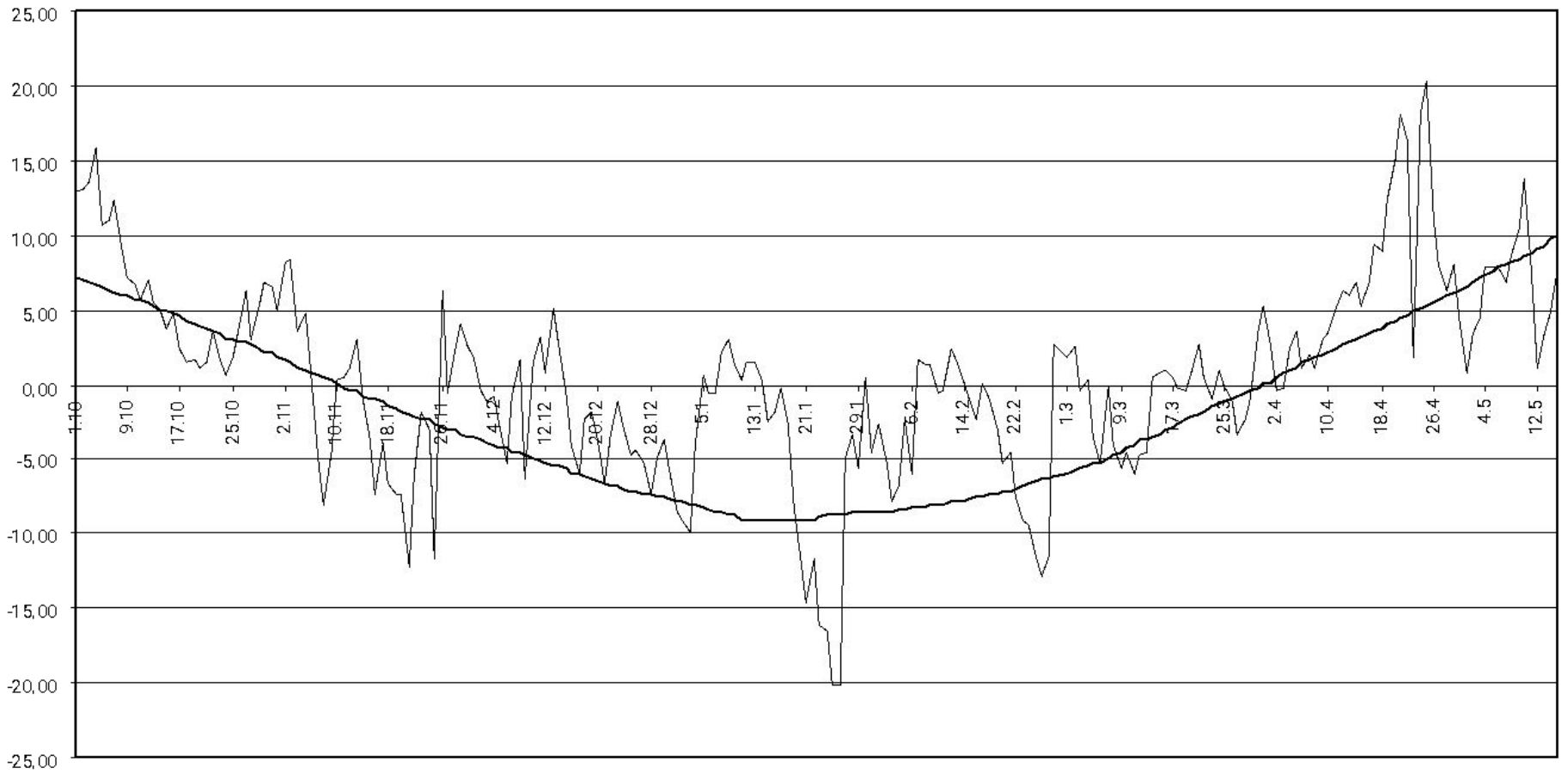
отопления

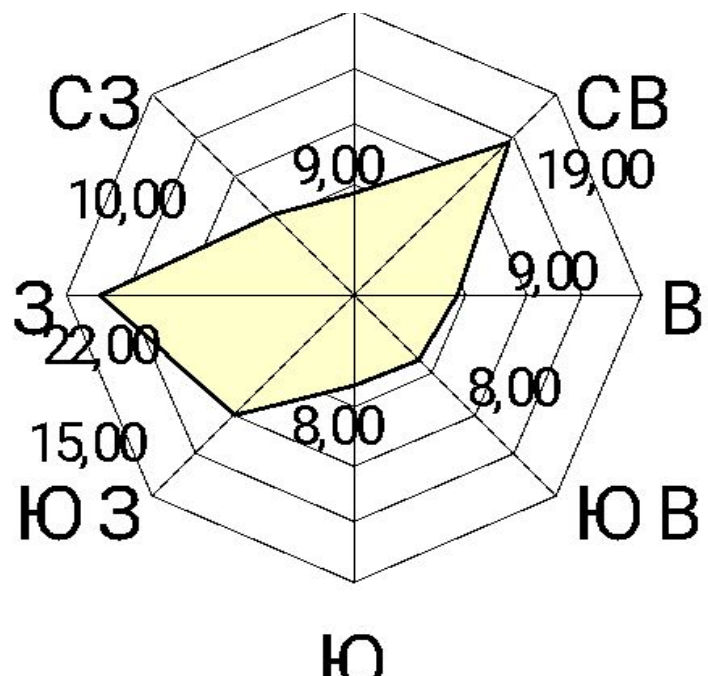
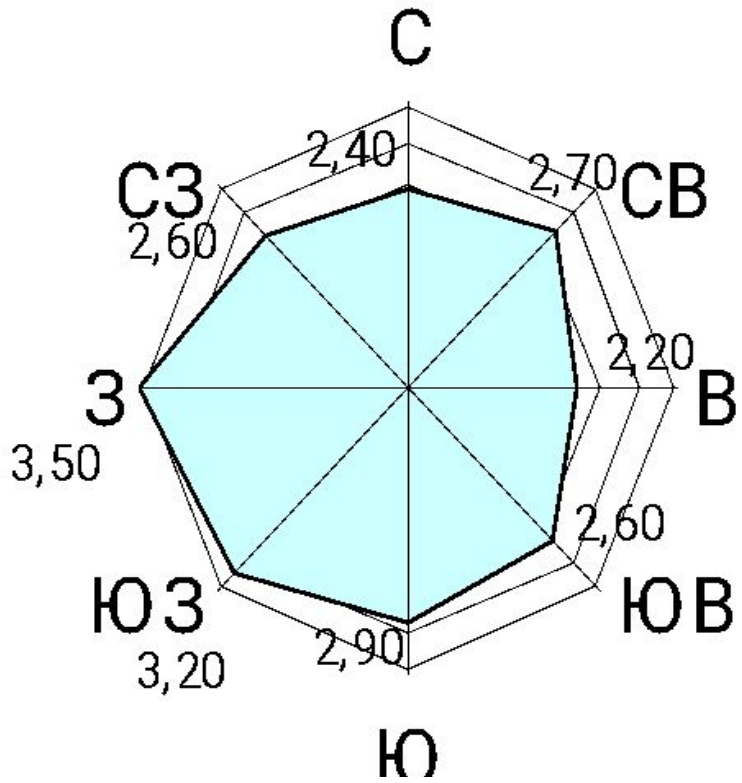
- 8-15° – прохладная

- 16-28° – теплая

- Выше 28° – жаркая

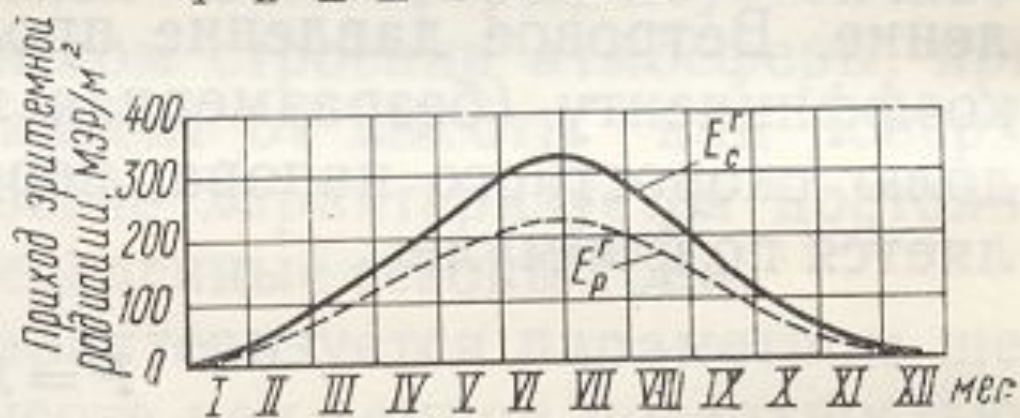
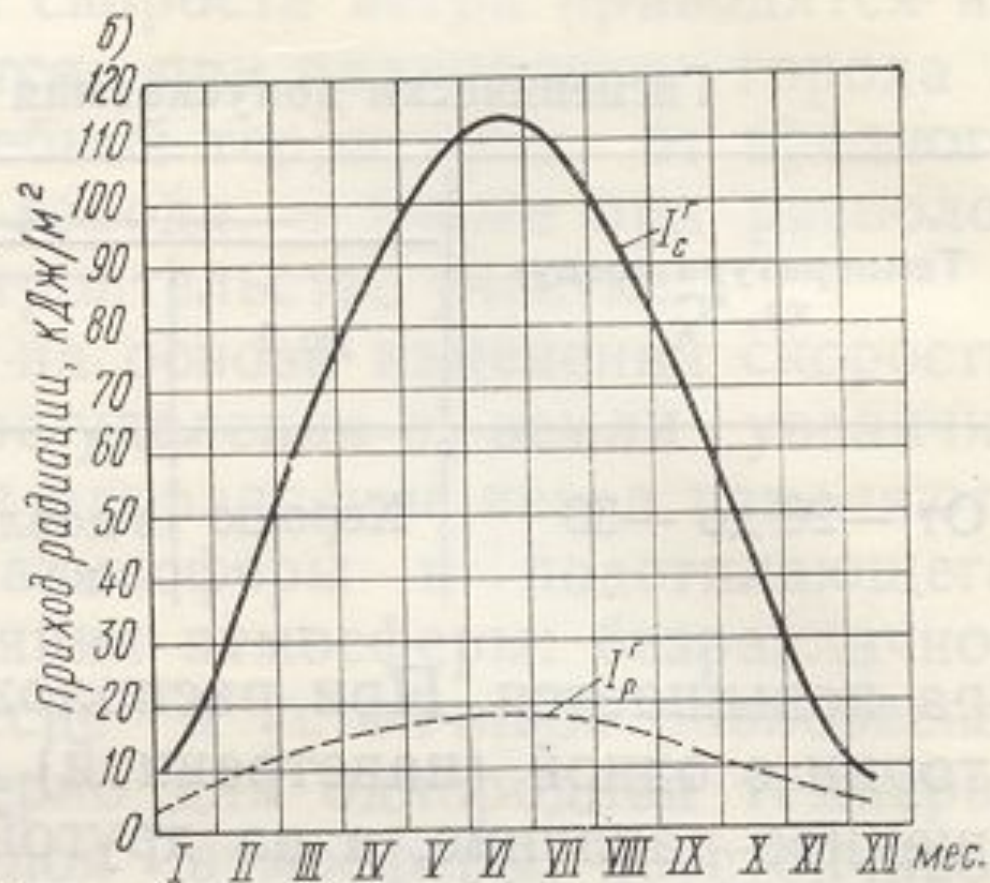
- Выше 32° – очень жаркая





Скорость ветра

Показатели	Ориентация							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Скорость ветра, м/с	13	5,1	3	5,2	6,8	7,7	10,8	9,2
Повторяемость направления ветра, %	5	6	2	3	49	26	5	6



Тепловая защита зданий

Передача теплоты через
ограждающие конструкции

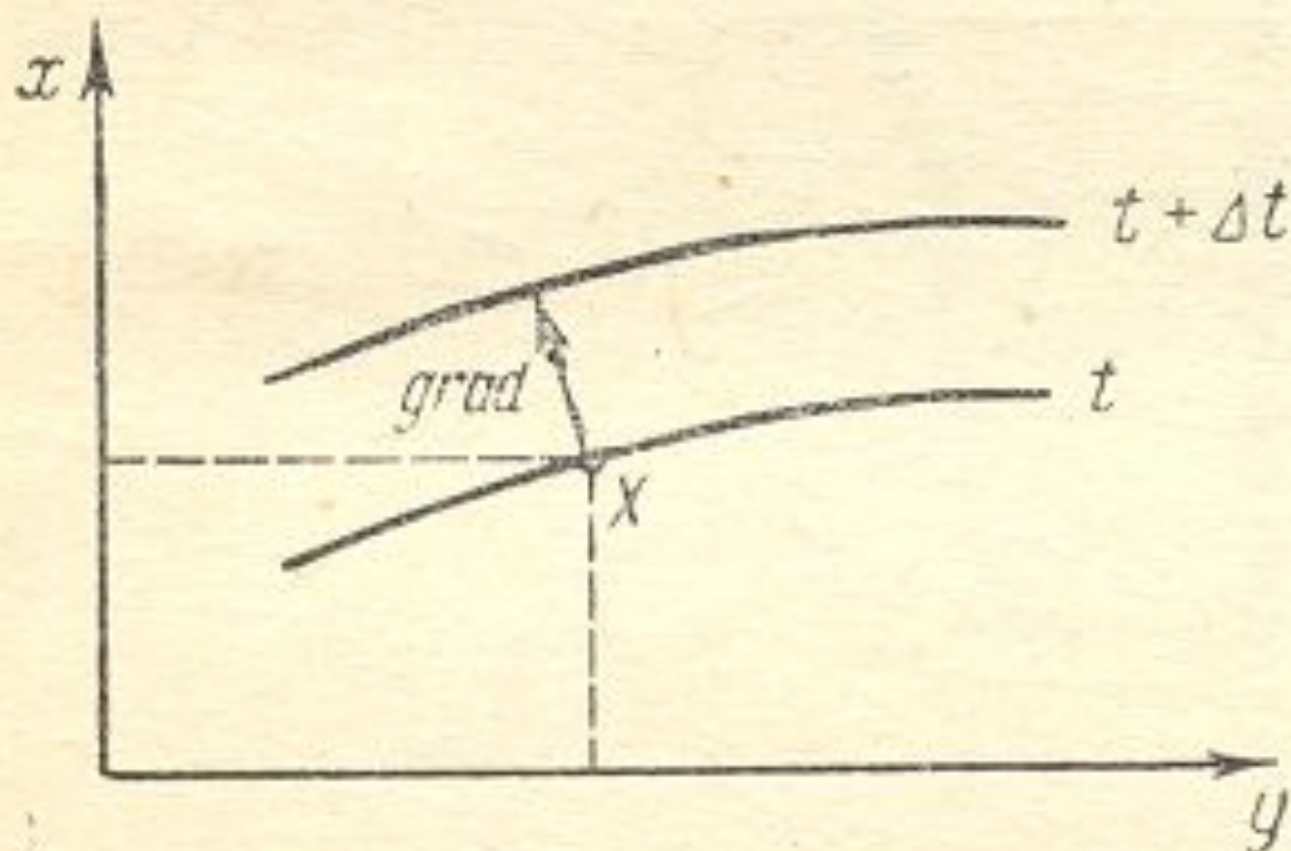


Рис. 1.2. Изолинии температур двумерного поля:

x, y — направления координат; $t = f(x, y)$

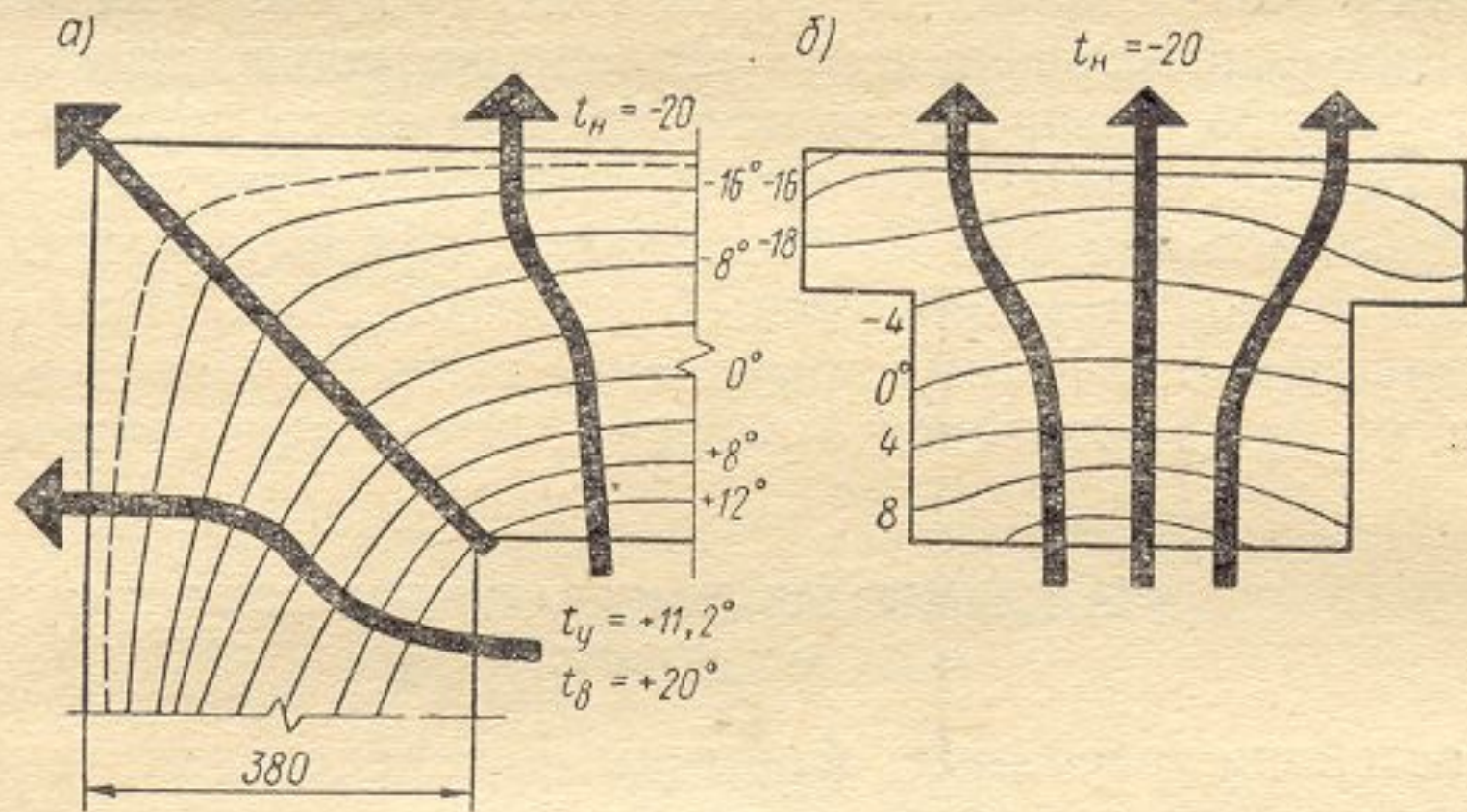
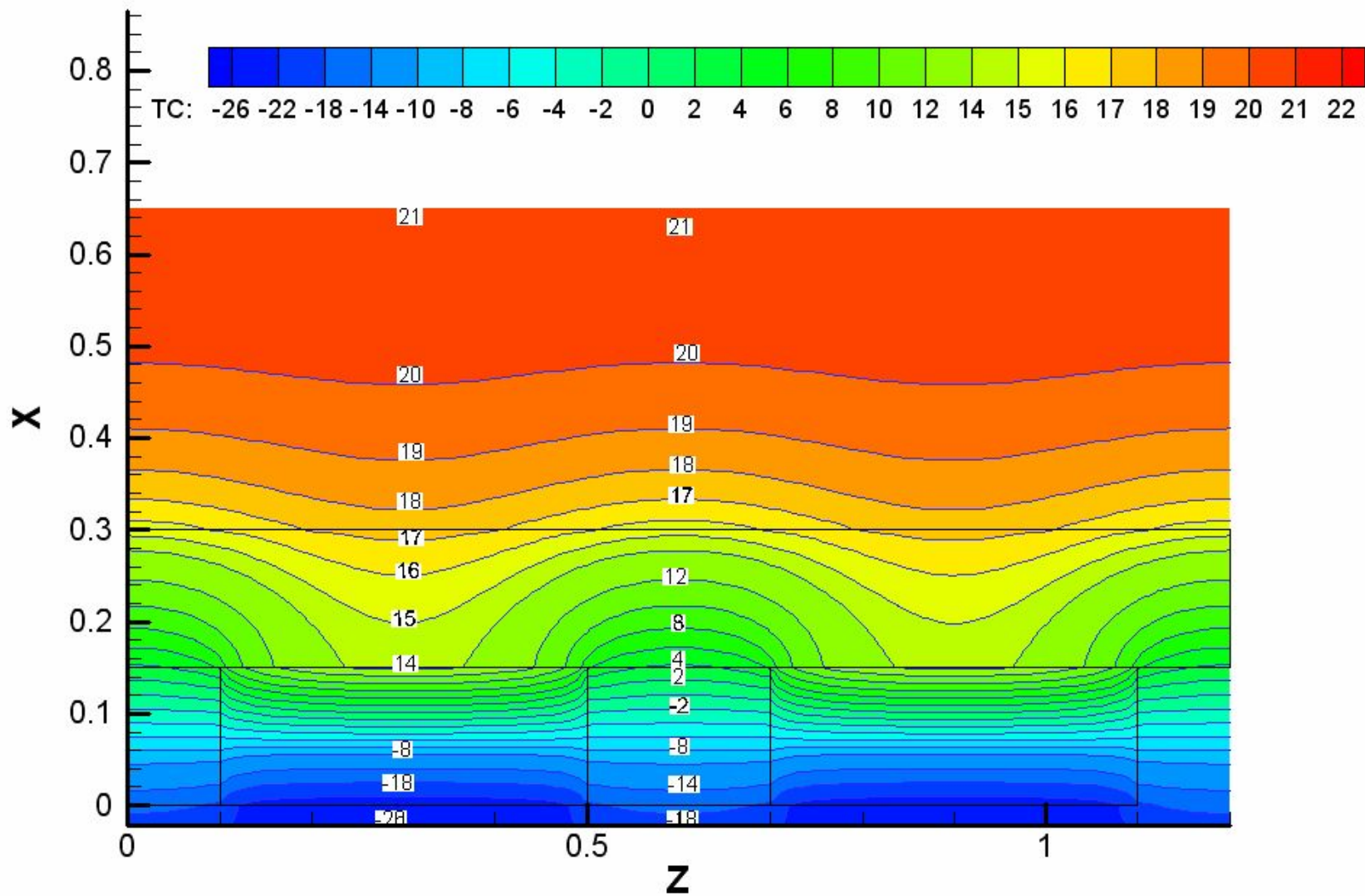
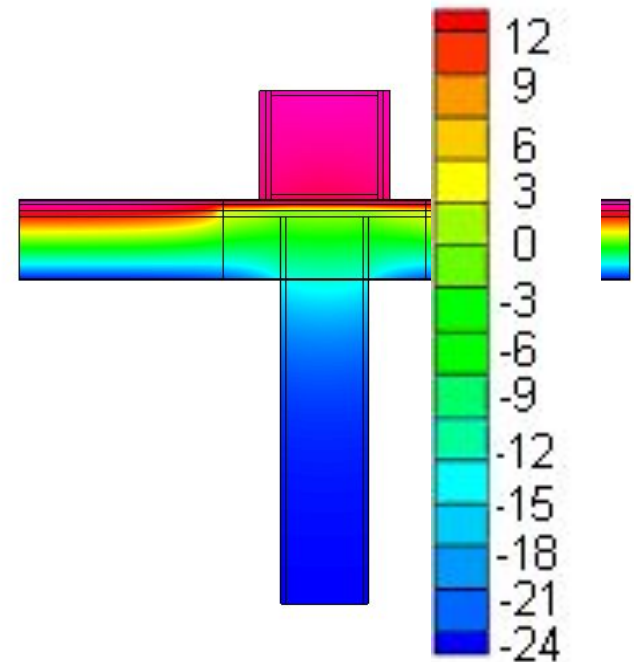
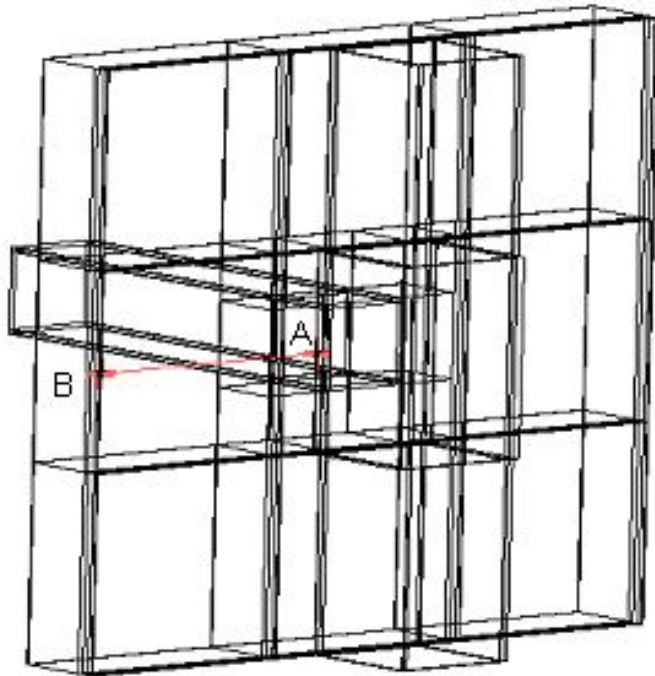


Рис. IV.5. Двумерные (плоские) температурные поля геометрически сложных элементов однородных наружных стен:
 а — наружного угла; б — простенка



Расчетная схема фрагмента конструкции (3D) и температурное поле



**локальное снижение термического сопротивления конструкции
в 3 раза**

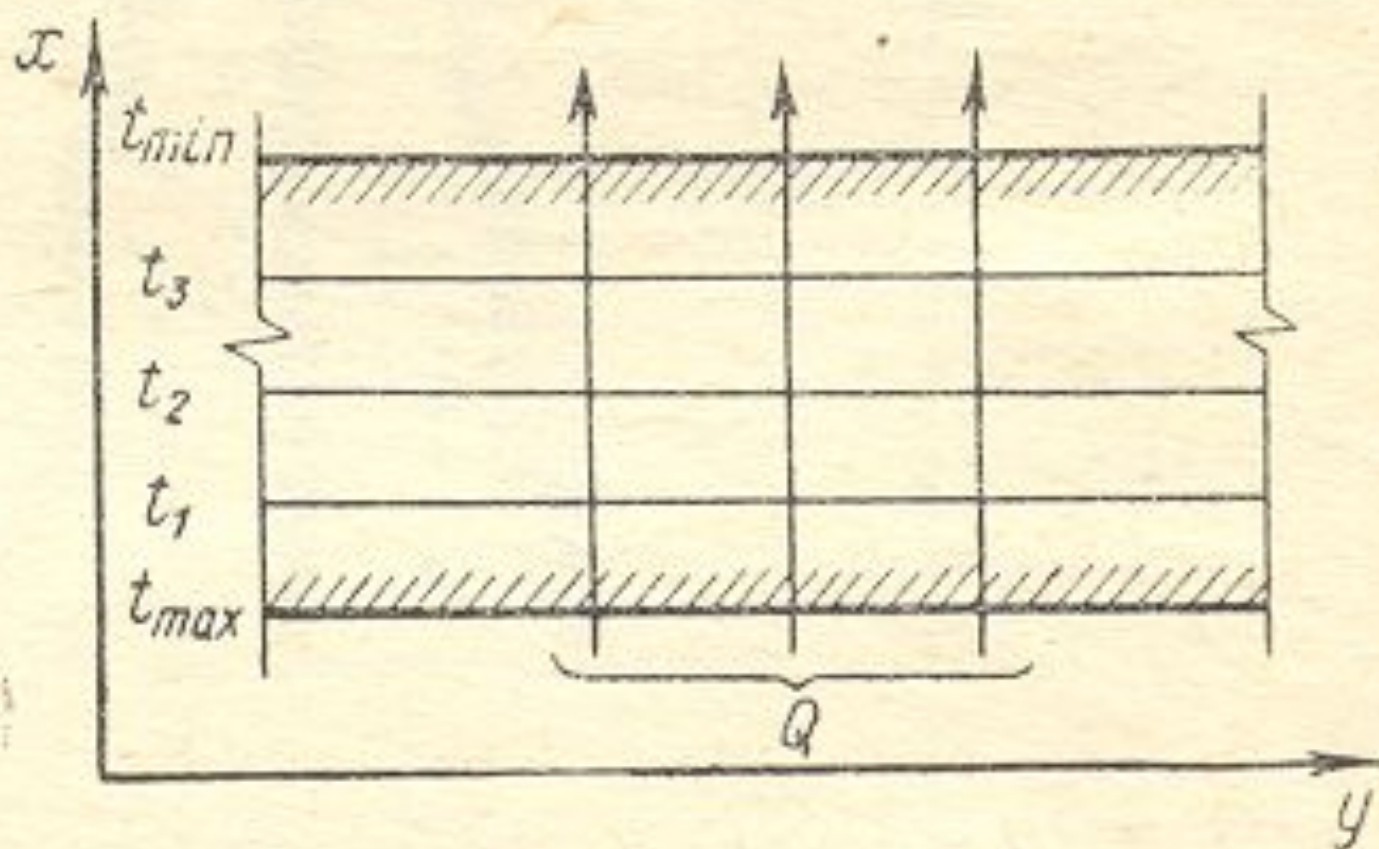


Рис. 1.3. Однородное температурное поле в плоской протяженной стене: $t=f(x)$; t — изолинии температур; Q — направление потока тепла

**УРАВНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО
ПОЛЯ В КОНСТРУКЦИИ**

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)$$

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

а - коэффициент

температуропроводности

**ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЙ В
ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0$$

Уравнение Фурье

$$q = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

где qT - *поверхностная плотность теплового потока*, проходящего через плоскость, перпендикулярную *тепловому потоку*, Вт/м²;

λ - *теплопроводность материала*, Вт/м. оС;

t - *температура*, изменяющаяся вдоль оси x , оС;

- ПОТОК

$$Q / t$$

- 1 Дж/с = 1Вт

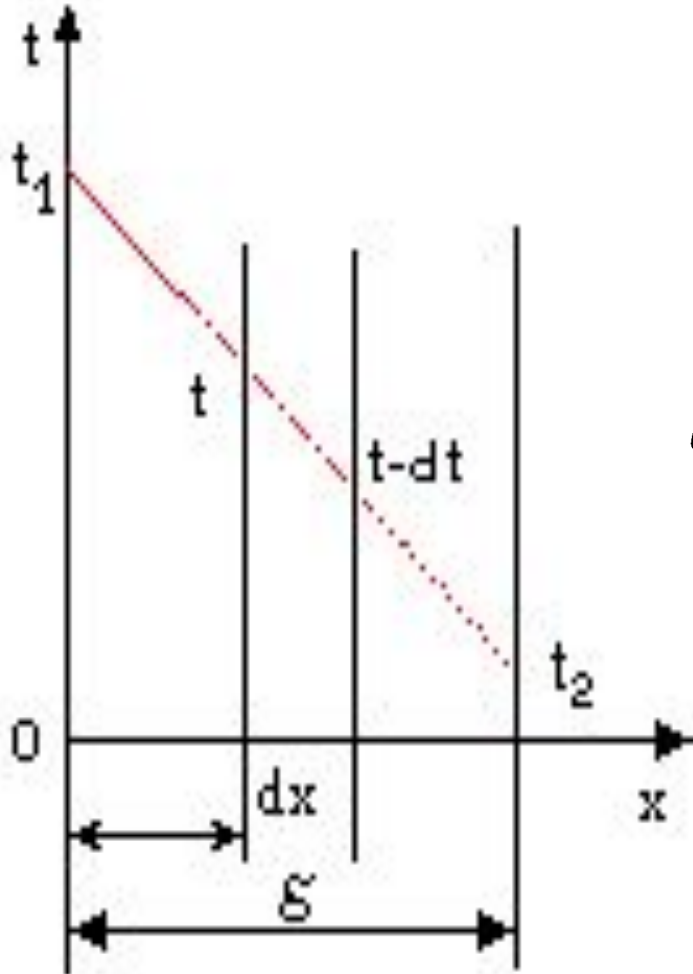
$$Q / t \quad S$$

- Плотность потока
- 1 Дж/с кв м = 1Вт/кв м

$$\frac{\Delta t}{\Delta x}$$

- носит название *градиента температуры*, и обозначается *grad t*. Градиент температуры направлен в сторону возрастания температуры,
- Теплопроводность является одной из основных тепловых характеристик материала.
- теплоизоляционные материалы - теплопроводность менее 0,3 Вт/м.оС.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ОДНОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ



$$t = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{\delta} x$$

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ R

$$q = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta \delta}$$

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{t_1 - t_2}{R},$$

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

$$R = \frac{t_1 - t_2}{q} = \frac{\Delta t}{q}, \quad \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

Сопротивление теплопередаче однослойной конструкции

$$R_i = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}$$

кв м град /Вт

Значения теплопроводности принимается в зависимости от
зоны влажности и режима помещений

Сопротивление
теплообмену на
внутренней
поверхности:

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}$$

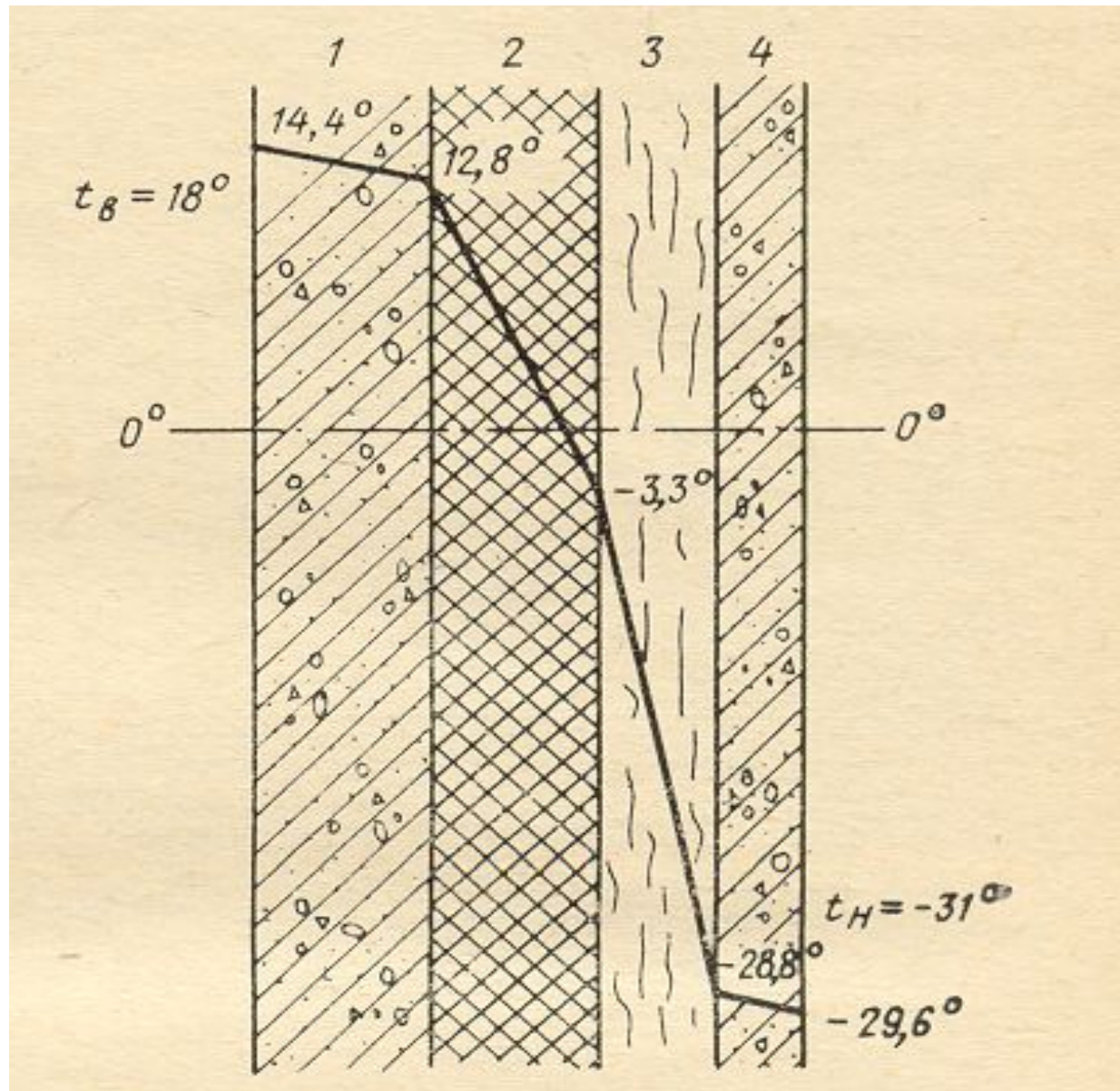
Сопротивление
теплообмену на
наружной
поверхности

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}$$

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_{int} , Вт/(м ² ·°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9
<p>Примечание - Коэффициент теплоотдачи α_{int} внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать в соответствии с СНиП 2.10.03.</p>	

Наружная поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·°С)
1. Наружные стены	23,0
2. Ограждающие поверхности с вентилируемыми воздушными прослойками	10,8

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ



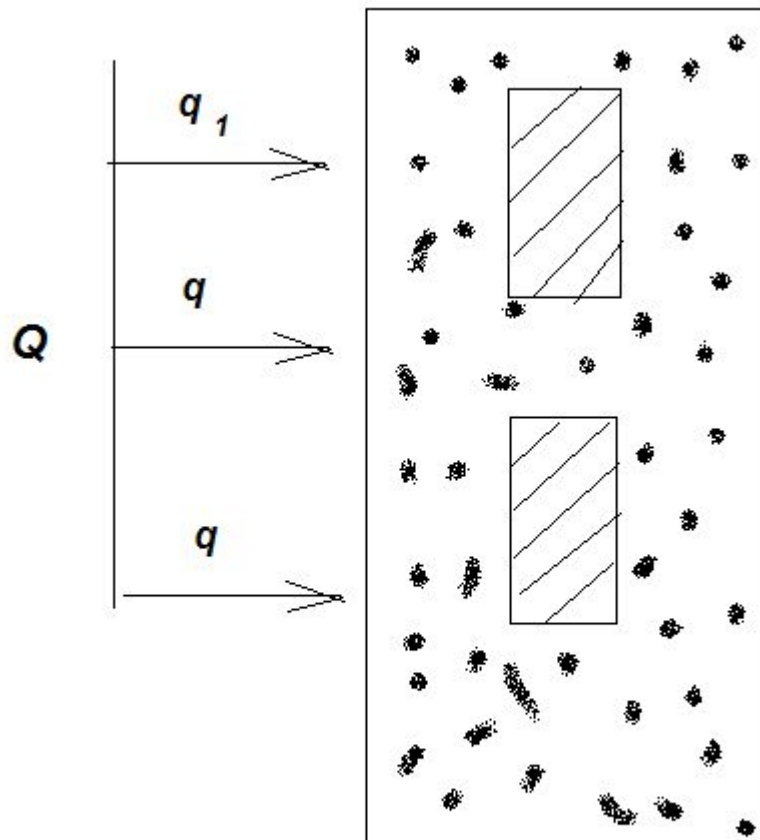
Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции

$$R_i = \frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}$$

кв м град /Вт

Значения теплопроводности принимается в зависимости от зоны влажности и режима помещений

Неоднородные конструкции



Экспериментальный метод
Приведенное сопротивление
теплопередаче

$$R_0^r \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W]$$

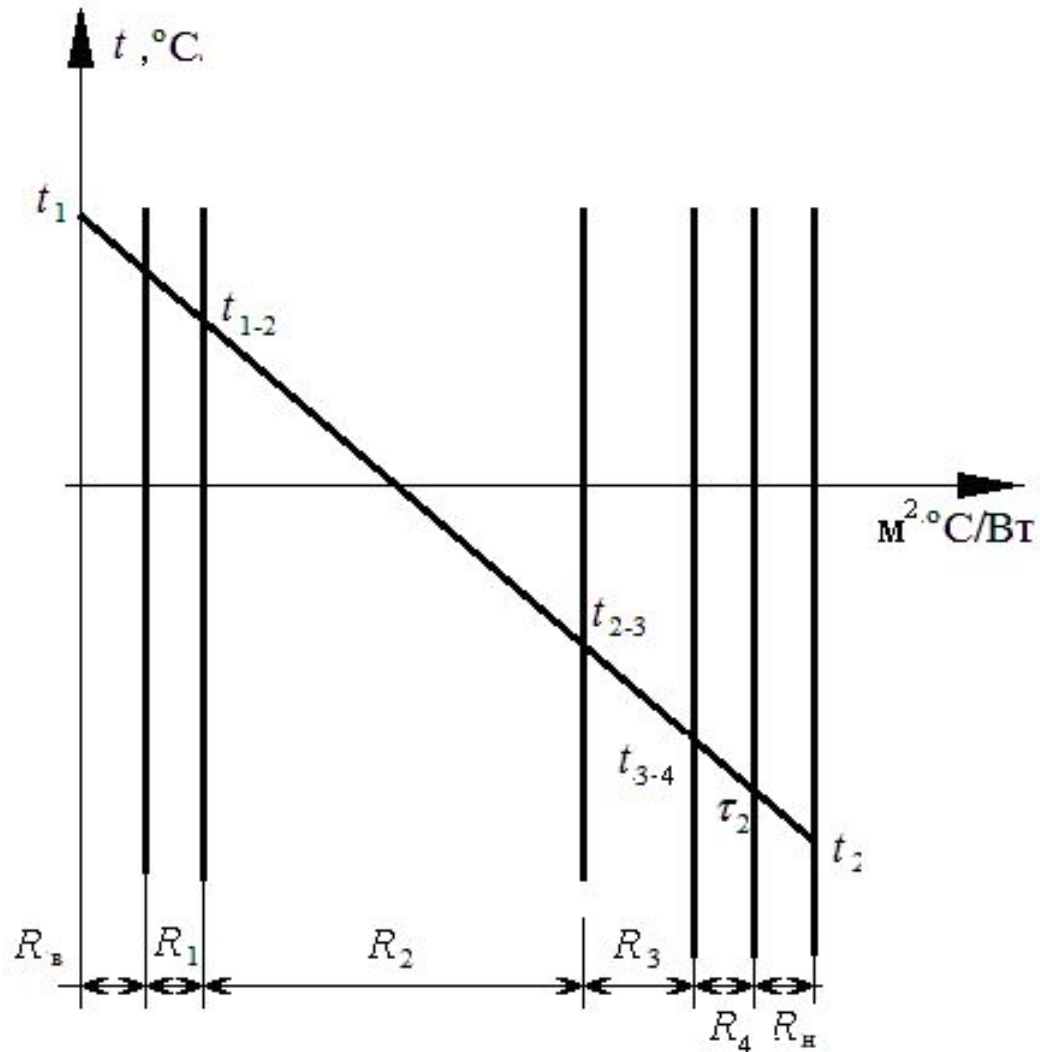
$$R_0^r = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot A}{Q},$$

Расчетный метод

Приведенное сопротивление теплопередаче

$$R_0^r = \frac{A}{\left(\sum_{i=1}^m \frac{A_i}{R_{0,i}^r} \right)},$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ



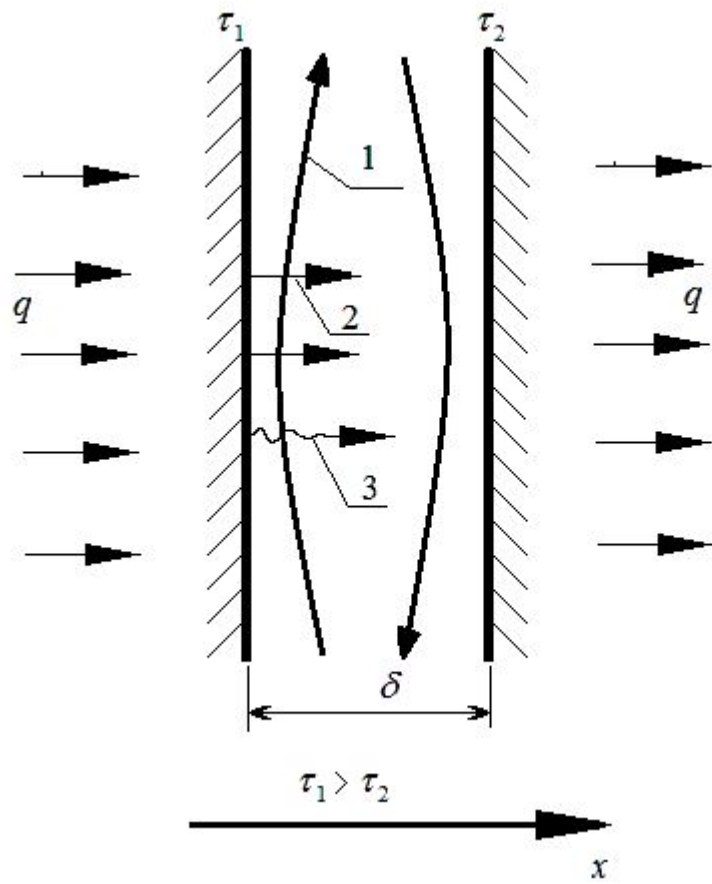
ПРИВЕДЕННОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{H}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{B}}}$$

Воздушные прослойки

Замкнутые

Вентилируемые



Толщина прослойки, мм	Плотность теплового потока, Вт/м ²	Количество тепла в %, передаваемого			Эквивалентный коэффициент теплопроводности, м ⁰ С/Вт	Термическое сопротивление прослойки, Вт/м ² °С
		теплопроводностью	конвекцией	излучением		
10	30,8	38	2	60	0,062	0,161
50	25,9	9	19	72	0,259	0,193
100	24,8	5	20	75	0,495	0,202
200	23,8	2	19	79	0,951	0,210

Примечание: приведенные в таблице величины соответствуют температуре воздуха в прослойке, равной 0 °С, разности температур на ее поверхностях 5 °С и коэффициенту излучения поверхностей С=4,4.

Термическое сопротивление воздушных прослоек

Толщина воздуш- ной про- слойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, Вт/(м ² ·°С)			
	горизонтальной при потоке те- пла снизу вверх и вертикаль- ной		горизонтальной при потоке те- пла сверху вниз	
	при температуре воздуха в воздушной прослойке			
	положитель- ной	отрицатель- ной	положитель- ной	отрицатель- ной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24