

---

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

## Теплотехнический расчет толщины утепляющего слоя неоднородной однослойной и многослойной ограждающей конструкции

Тема 3

---

# Теплотехнический расчет толщины утепляющего слоя неоднородной однослойной и многослойной ограждающей конструкции

Переход теплоты из помещения к наружной среде через ограждение является сложным процессом теплопередачи. Внутренняя поверхность наружного ограждения обменивается теплотой с помещением. Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности равно  $R_B = 1/\alpha_B$ .

Наружная поверхность отдает теплоту наружному воздуху и окружающим поверхностям. Сопротивление теплообмену на наружной поверхности ограждения равно  $R_H = 1/\alpha_H$ .

В условиях установившегося температурного состояния теплота транзитом проходит из помещения через внутреннюю поверхность и толщину ограждения к его наружной поверхности и отдается наружной среде.

Из условия сохранения тепловой энергии количество теплоты, прошедшее через внутреннюю поверхность ограждения, равно количеству теплоты, проходящему через толщу ограждения, и количеству теплоты, отданному наружной поверхностью.

Тепловой поток последовательно преодолевает сопротивление теплообмену на внутренней поверхности  $R_B$ , термического материала толщиной ограждения  $R_K$  и теплоперехода на наружной поверхности  $R_H$ , поэтому сопротивление теплопередачи ограждения  $R_0$  равно сумме этих сопротивлений:

$$R_0 = R_B + R_K + R_H = \\ = 1/\alpha_B + \delta/\lambda + 1/\alpha_H$$

Однородность слоя материала применяемого в однослойных и многослойных строительных ограждениях нарушается включениями или прослойками.

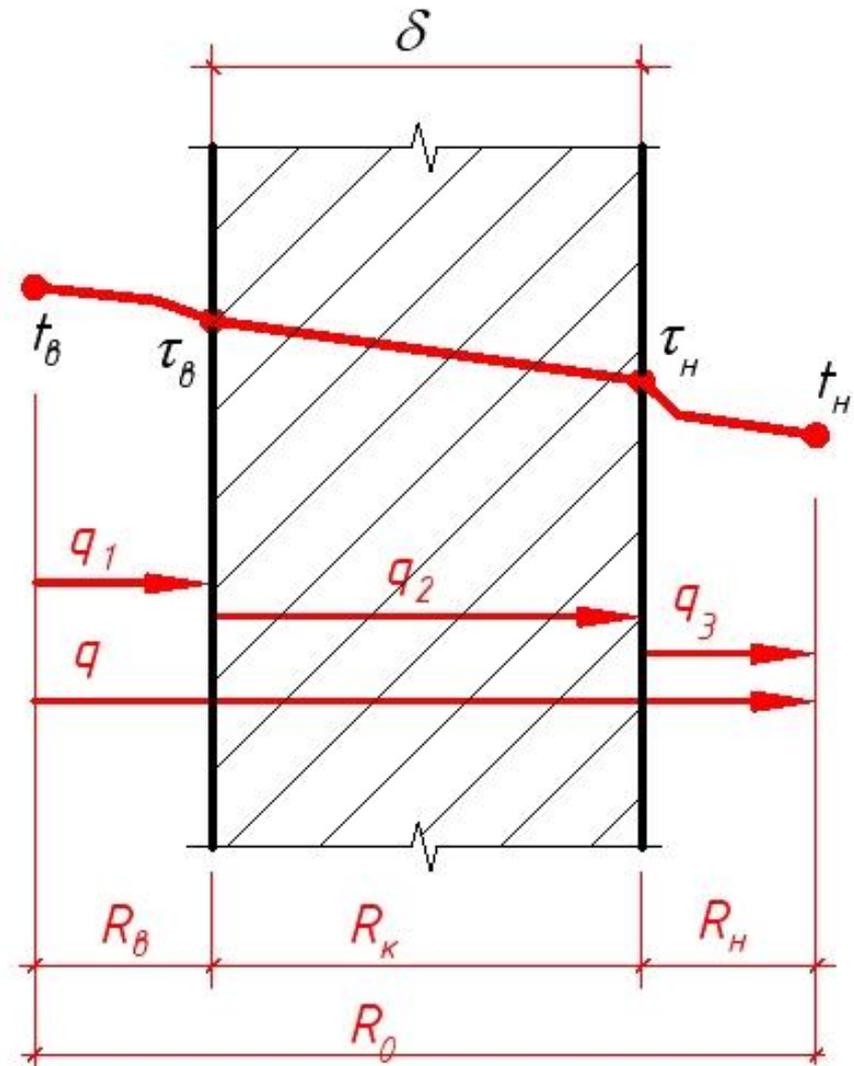
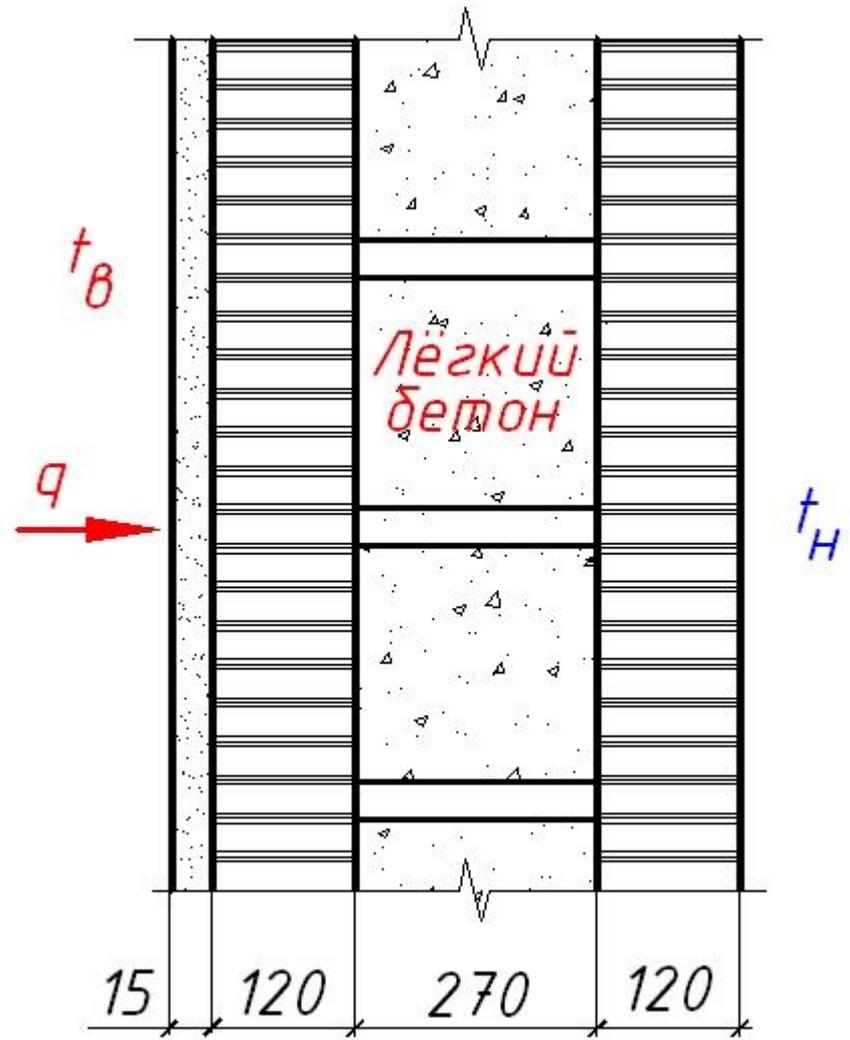


Рисунок 1

Если многослойное ограждение состоит из нескольких плоских слоев материала, расположенных перпендикулярно направлению, то термическое сопротивление толщи ограждения равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев ограждения

$$R_T = \sum R_i.$$

Рисунок 2.  
Кирпичная стена комбинированной кладки



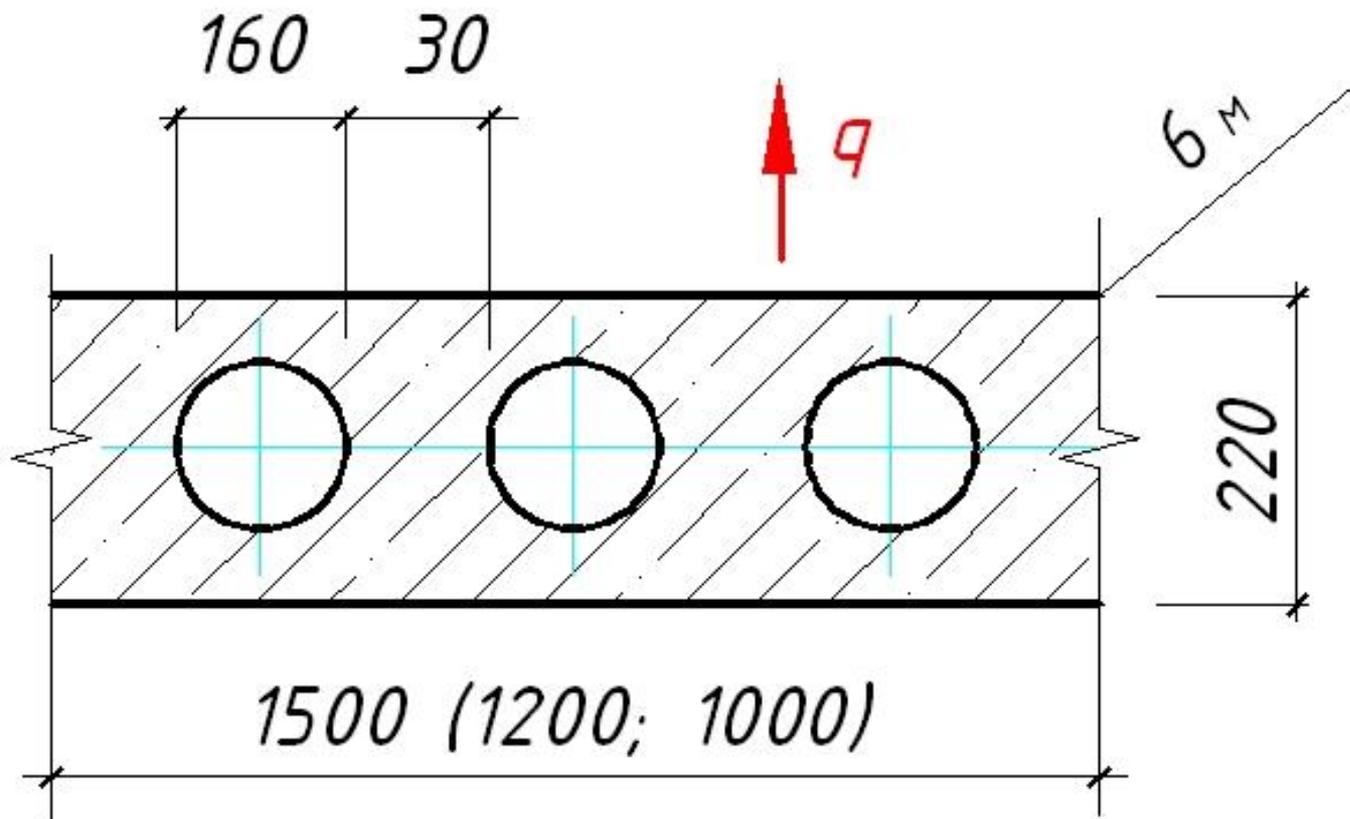
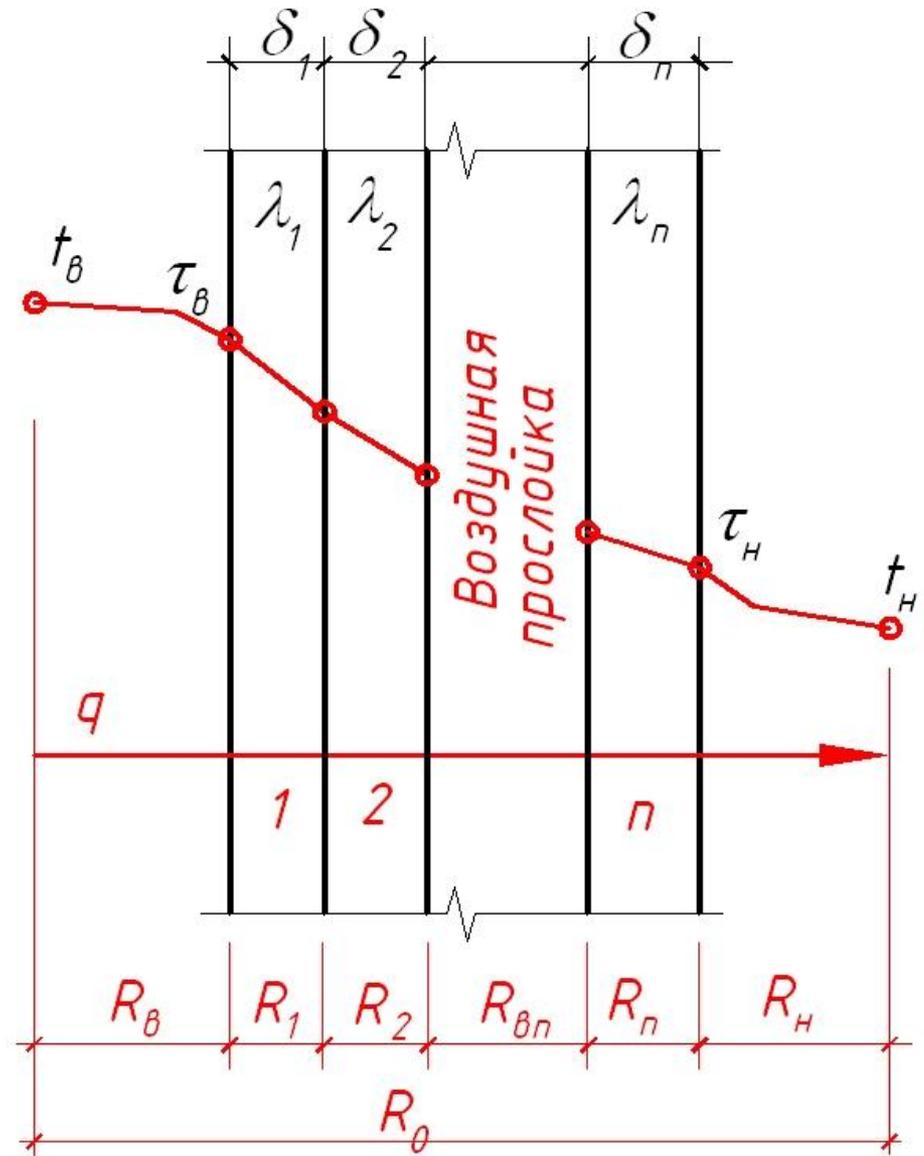


Рисунок 3. Многупустотная плита перекрытия

Плоская воздушная прослойка, расположенная в ограждении перпендикулярно направлению теплового потока, также должна быть учтена в этой сумме, как дополнительное, последовательно включению сопротивление  $R_{Вп}$ . Таким образом, в общем случае сложной многослойной конструкции с воздушной прослойкой сопротивление теплопередачи ограждения равно:

$$R_0 = R_B + \sum R_I + R_{Вп} + R_H$$



Коэффициент теплопередачи ограждения в общем слое равен:

$$k = 1/R_0 = \frac{1}{1/\alpha + \sum \delta_I / \lambda_I + R_{ВП} + 1/\alpha_H},$$

где  $\delta_I$  и  $\lambda_I$  - толщины и теплопроводность отдельных слоев;  
 $R_{ВП}$  - СНиП 23-02-2003, прил. 4.

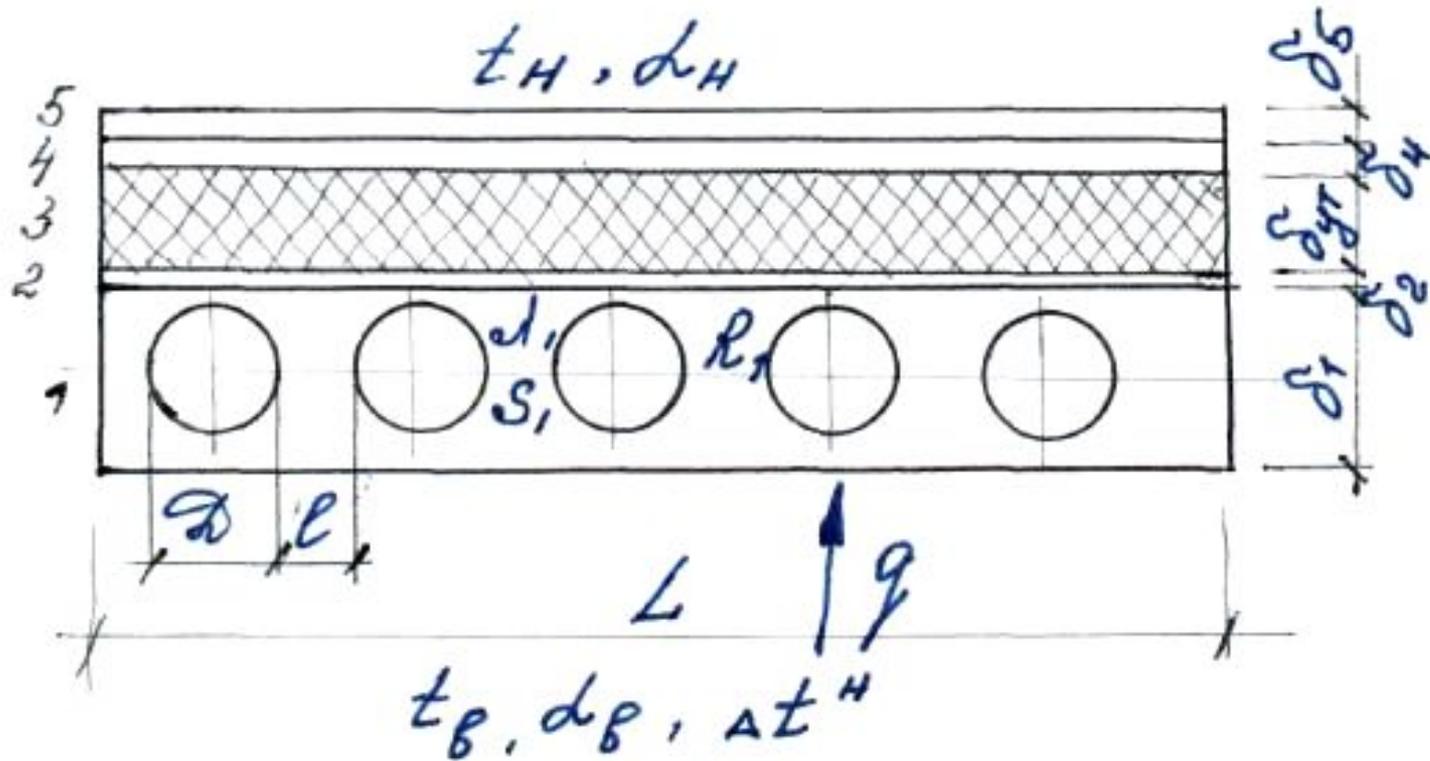
Сложнее рассчитать передачу теплоты через ограждение, материал которого неоднороден в направлении, параллельно тепловому потоку. Если ограждение разбить на отдельные однородные площади, и условно считать, что в пределах каждой сохраняется одномерность температурного поля, то можно определить термическое сопротивление толщи ограждения формулой:

$$R_T = \frac{\sum A_n}{1/R_n \cdot A_n}$$

где  $A_n$  - отдельные площади ограждения, в пределах которых конструкция однородна в направлении параллельно тепловому потоку;

$R_n$  - термическое сопротивление толщи ограждения в пределах этих площадей.

Рассмотрим порядок теплотехнического расчета покрытия, в первом слое которого (плита перекрытия) однородность материала нарушена воздушными прослойками:



1) Для учета санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к ограждающей конструкции покрытия (перекрытия), необходимо определить требуемое сопротивление теплопередаче  $R_0^{TP}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт.

Тогда  $t_H = t_{XP(0,92)}$ ,

т.е.:  $R_0^{TP} = n(t_B - t_H) / \Delta t^H \cdot \alpha_B$

где  $n$ ,  $\Delta t^H$ ,  $\alpha_B$  - см. лекцию № 1.

Затем ГСОП =  $(t_B - t_{OП}) \cdot z_{OП}$ , °С сут.,

и  $R_0^{TZ}$ , которое сравниваем с  $R_0^{TP}$ .

2) Для упрощения круглые отверстия - заменяем равно великими по площади квадратными со стороной  $a = \sqrt{\pi d^2 / 4}$ , мм.

3) Термическое сопротивление теплопередаче плиты вычисляем отдельно для слоев, параллельных А-А и Б-Б и перпендикулярно В-В, Г-Г, Д-Д движению теплового потока.

3.а) Термическое сопротивление плиты  $R_A^{II}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, в направлении, параллельно движению теплового потока, вычисляем для двух характерных сечений (А-А и Б-Б).

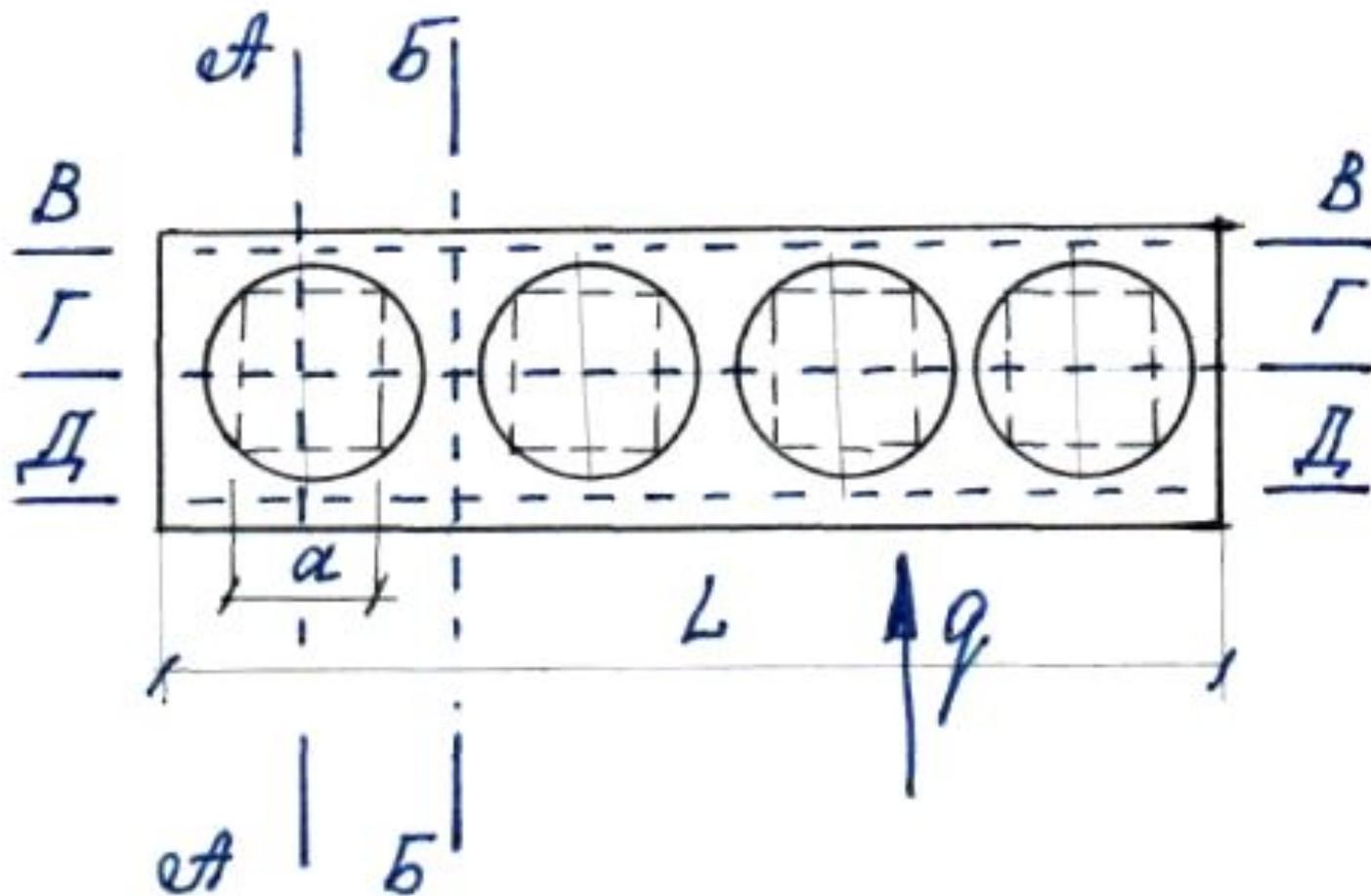


Рисунок 4. Два характерных сечения (А-А и Б-Б).

**В сечении А-А** два слоя железобетона толщиной  $\delta_{ЖБ}^{А-А}$  и воздушная прослойка  $\delta_{ВП}$ , термическое сопротивление составит:

$$R_{А-А} = \frac{\delta_{ЖБ}^{А-А}}{\lambda_{ЖБ}} + R_{ВП},$$

**В сечении Б-Б**

$$R_{Б-Б} = \frac{\delta_{ЖБ}^{Б-Б}}{\lambda_{ЖБ}} + R_{ВП},$$

Затем определяем термическое сопротивление

$$R_A^{\parallel} = \frac{F_{А-А} + F_{Б-Б}}{\frac{F_{А-А}}{R_{А-А}} + \frac{F_{Б-Б}}{R_{Б-Б}}},$$

где  $F_{АА}$  - площадь в сечении А-А, м<sup>2</sup>;

$F_{ББ}$  - площадь в сечении Б-Б, м<sup>2</sup>.

**3.6)** Термическое сопротивление плиты  $R_A^{\perp}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, в направлении, перпендикулярном движению теплового потока, вычисляют для трех характерных сечений (В-В; Г-Г; Д-Д).

Для сечения В-В и Д-Д

$$R_{ВВиДД} = \frac{\delta_{ЖБ}^{В-В} + \delta_{ЖБ}^{Д-Д}}{\lambda_{ЖБ}},$$

Для сечения Г-Г

$$R_{Г-Г} = \frac{F_{(Г-Г)ВП} + F_{(Г-Г)ЖБ}}{\frac{F_{(Г-Г)ВП}}{R_{(Г-Г)ВП}} + \frac{F_{(Г-Г)ЖБ}}{R_{(Г-Г)ЖБ}}},$$

где  $F_{(Г-Г)ВП}$  - площадь воздушных прослоек в сечении Г-Г, м<sup>2</sup>, равная:

$$F_{(Г-Г)ЖБ} = F_{А-А}$$

$F_{(Г-Г)ЖБ}$  - площадь слоев из железобетона в сечении Г-Г :

$$F_{(Г-Г)ЖБ} = F_{Б-Б}$$

$R_{(Г-Г)ВП}$  - термическое сопротивление воздушной прослойки в сечении Г-Г (СНиП 23-02-2003, прил. 4) :  $R_{(Г-Г)ВП} = R_{ВП}$

$R_{(Г-Г)ЖБ}$  - термическое сопротивление слоя железобетона :

$$R_{(Г-Г)ЖБ} = \delta_{ЖБ} / \lambda_{ЖБ}$$

Определяем

$$R_{Б}^{\perp} = R_{ВВиДД} + R_{Г-Г}$$

Разница между величинами  $R_A^{\parallel}$  и  $R_A^{\perp}$  не должна превышать 25%.  
Полное термическое сопротивление железобетонной плиты определяем из уравнения:

$$R_{ЖБ} = (R_A^{\parallel} + 2R_B^{\perp})/3, \text{ м}^2\text{°C/Вт.}$$

Определяем толщину утеплителя  $\delta_{ут}$  покрытия:

$$\delta_{ут} = \left[ \frac{R_0^{TP(T3)}}{r} - \left( \frac{1}{\alpha_B} + R_{ЖБ} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_H} \right) \right] \cdot \lambda_{ут},$$

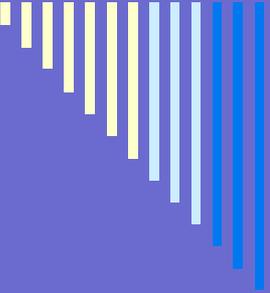
Определяем общее фактическое сопротивление теплопередаче:

$$R_0^{\Phi} = \frac{1}{\alpha_B} + R_{ЖБ} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\lambda_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{1}{\alpha_H},$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$k = 1/R_0^{\Phi}, \text{ Вт/м}^2\text{°C.}$$





---

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

## Теплотехнический расчет толщины утепляющего слоя неоднородной однослойной и многослойной ограждающей конструкции

### Тема 3

---