

# Расчёт толщины утеплителя



## **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»**
- 2. ГОСТ 30494-2011 «Параметры микроклимата в помещениях»**
- 3. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»**
- 4. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»**
- 5. СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника»**

Таблица 1 — Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Холодный	Жилая комната	20—22	18—24 (20—24)	19—20	17—23 (19—23)	45—30	60	0,15	0,2
	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21—23	20—24 (22—24)	20—22	19—23 (21—23)	45—30	60	0,15	0,2
	Кухня	19—21	18—26	18—20	17—25	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Туалет	19—21	18—26	18—20	17—25	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24—26	18—26	23—27	17—26	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Помещения для отдыха и учебных занятий	20—22	18—24	19—21	17—23	45—30	60	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18—20	16—22	17—19	15—21	45—30	60	Не нормируется	Не нормируется
	Вестибюль, лестничная клетка	16—18	14—20	15—17	13—19	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
	Кладовые	16—18	12—22	15—17	11—21	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
Теплый	Жилая комната	22—25	20—28	22—24	18—27	60—30	65	0,2	0,3

Примечание — Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНОГО ВОЗДУХА РАЙОНА ЗАСТРОЙКИ И НОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ ЖИЛОГО ДОМА

Для г. Новосибирска из табл. 1 и 3\* [1] были выписаны необходимые параметры наружного воздуха:

1. Температура самой холодной пятидневки с обеспеченностью  $0,92 - t_{5xo}^{0,92} = t_{ext} = -37^{\circ}\text{C}$ ;
2. Продолжительность отопительного периода (продолжительность периода в сутках со средней суточной температурой  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  -  $z_0 = 238$  сут.
3. Средняя температура за отопительный период (средняя температура воздуха за период со средней суточной температурой  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  -  $t_{ht} = -6,9^{\circ}\text{C}$ ;
4. Средняя месячная относительная влажность воздуха самого холодного месяца -  $\varphi_{\text{н}} = 79\%$ ;
5. Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь -  $v = 4,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;
6. Средняя температура самого холодного месяца  $t_{\text{хм}} = -12,9^{\circ}\text{C}$ ;

Параметры внутреннего микроклимата были выписаны из табл. 1 [2]:

1. Температура внутреннего воздуха -  $t_{int} = 21^{\circ}\text{C}$ ;
2. Относительная влажность внутреннего воздуха -  $\varphi_{\text{в}} = 45\%$ ;

На основании выписанных данных были определены градусо-сутки отопительного периода по формуле:

$$D_d = z_0(t_{int} - t_{ht});$$

$$D_d = 238(21 + 6,9) = 6640,2 \text{ сут}^{\circ}\text{C};$$

Кроме этого, для определения теплотехнических параметров материалов, входящих в состав конструкции, необходимо знать условия эксплуатации ограждающих конструкций А или Б (табл. 2, [3]). Эти условия зависят от влажностного режима помещения и от климатической зоны застройки. Город Новосибирск находится в сухой зоне (приложение В, [3]), а влажностный режим помещения нормальный – следовательно, условия эксплуатации – Б.

# ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Наружная стена состоит из 4-х конструктивных слоев.

Необходимо подобрать толщину утеплителя -  $\delta_y$ .

Теплотехнические характеристики материалов определены по приложению Д [4] и по приложению 3\* [5].

1. Первый конструктивный слой – фактурный слой из цементно-песчаного раствора

$$\delta_1 = 0,02 \text{ м.}, \rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3, \lambda_1 = 0,94 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}.$$

2. Второй конструктивный слой – кирпичная кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе

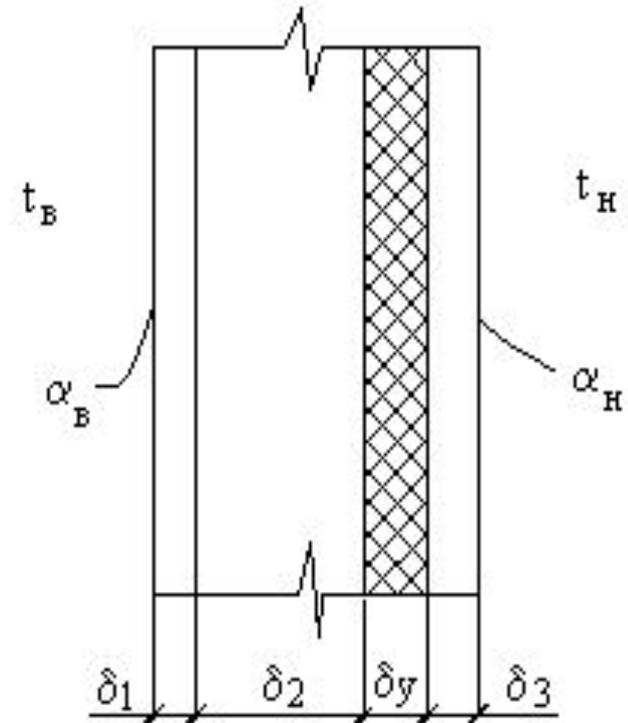
$$\delta_2 = 0,38 \text{ м.}, \rho_2 = 1800 \text{ кг/м}^3, \lambda_2 = 0,81 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}.$$

3. Третий конструктивный слой – утеплитель пенополистерол

$$\delta_y, \rho_y = 150 \text{ кг/м}^3, \lambda_y = 0,06 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}.$$

4. Четвертый конструктивный слой – фактурный слой из цементно-песчаного раствора

$$\delta_3 = 0,03 \text{ м.}, \rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3, \lambda_3 = 0,94 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}.$$



Толщина утеплителя подбирается из условия, чтобы приведенное сопротивление теплопередачи стен с теплопроводными включениями должно быть не менее нормируемых величин [3].

$$R_1^{req} \quad \text{и} \quad R_2^{req}$$

Требуемое значение коэффициента сопротивления теплопередачи определяется по формуле

$$R_1^{req} = \frac{n(t_{ext} - t_{int})}{\alpha_{int} \Delta t_n};$$

где:

$n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; определяется по табл. 6 [3], и в данном случае  $n=1$ .

$t_{ext}$  и  $t_{int}$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, принимаемая равной температуре самой холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 и температура внутреннего воздуха.  $t_{ext}=-37^\circ\text{C}$ ,  $t_{int}=21^\circ\text{C}$ .

$\alpha_{int}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по табл. 7 [3]. В данном случае  $\alpha_{int}=8,7 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ .

$\Delta t_n$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_{int}$  и температурой внутренней поверхности  $\tau_{int}$ , принимаемый по табл. 5 [3]. В данном случае  $\Delta t_n=4,0 \text{ °C}$ .

$$R_1^{req} = \frac{1(21 + 37)}{8,7 \times 4,0} = 1,67 \text{ м}^2\text{°C/Вт};$$

Нормируемое значение коэффициента сопротивления теплопередаче определяется по формуле

$$R_2^{req} = aD_d + b;$$

где:

**a** и **b** – коэффициенты, значения которых принимаются по табл. 3 [3] для соответствующих групп зданий. В данном случае **a=0,00035**, **b=1,4**.

**D<sub>d</sub> = 6640,2** – градусо-сутки отопительного периода.

$$R_2^{req} = 0,00035 \times 6640,2 + 1,4 = 3,72 \text{ м}^2\text{°C/Вт} ;$$

За расчетное значение **R** принимаем большее из этих двух величин.

$$R^{req} = 3,72 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности  $R^{req} = R/r$ , где **r=0,8**

Требуемую толщину утеплителя можно определить по формуле:

$$\delta_y = \lambda_y \left[ \frac{R^{req}}{r} - \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \right]$$

где:

$$\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/м}^2\text{°С (табл. 8, [4]).}$$

$$\delta_y = 0,06 \left[ \frac{3,72}{0,8} - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,03}{0,94} + \frac{1}{23} \right) \right] = 0,2325 \approx 0,24 \text{ м.}$$

Проверяем:

$$\begin{aligned} R_\phi &= \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,24}{0,06} + \frac{0,03}{0,94} + \frac{1}{23} \\ &= 4,681 > \frac{3,72}{0,8}; \end{aligned}$$

$4,681 > 4,56$  – Условие выполнено. Окончательно принимаем толщину утеплителя – 24 сантиметра.

$$\text{Коэффициент теплопередачи} - k_0^{\text{стен}} = \frac{1}{R_\phi^{\text{стен}}} = \frac{1}{4,681} = 0,2136 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$$

# ГРАФИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ТОЛЩЕ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Определяем граничные значения температур  $t_i$  в местах соприкосновения конструктивных слоев.

Значение температуры на границе внутренний воздух – первый конструктивный слой найдем по формуле:

$$\tau_{int} = t_{int} - \frac{t_{int}-t_{ext}}{R_{\phi}} \frac{1}{\alpha_{int}} = 21 - \frac{21+37}{4,681} \frac{1}{8,7} = 19,7^{\circ}\text{C}.$$

Значение температуры на границе первый конструктивный слой – второй конструктивный слой найдем по формуле:

$$\tau_1 = t_{int} - \frac{t_{int}-t_{ext}}{R_{\phi}} \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = 21 - \frac{21+37}{4,681} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} \right) = 19,5^{\circ}\text{C}.$$

Значение температуры на границе второй конструктивный слой - утеплитель:

$$\tau_2 = t_{int} - \frac{t_{int}-t_{ext}}{R_{\phi}} \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = 21 - \frac{21+37}{4,681} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} + \frac{0,38}{0,81} \right) = 14,3^{\circ}\text{C}.$$

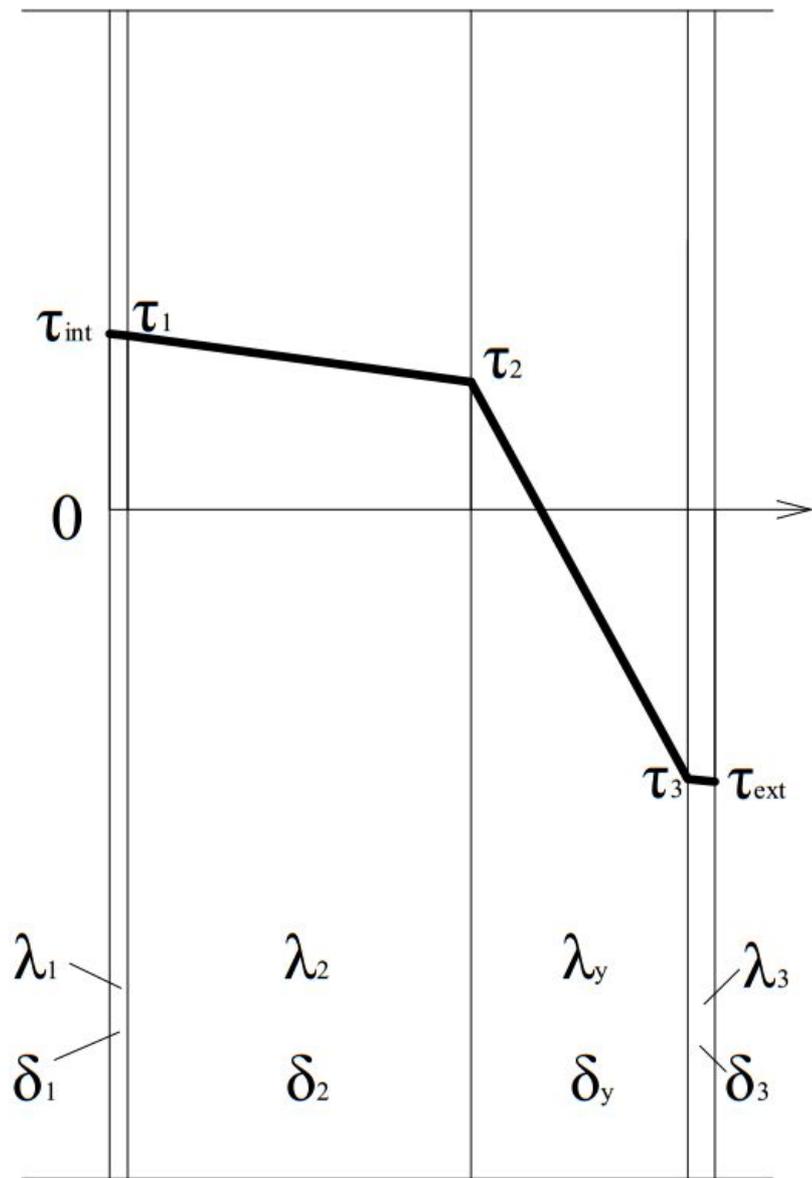
Значение температуры на границе утеплитель – третий конструктивный слой:

$$\tau_3 = t_{int} - \frac{t_{int}-t_{ext}}{R_{\phi}} \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} \right) = 21 - \frac{21+37}{4,681} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,24}{0,06} \right) = -30,2^{\circ}\text{C}.$$

Значение температуры на границе третий конструктивный слой – наружный воздух:

$$\tau_{ext} = t_{int} - \frac{t_{int}-t_{ext}}{R_{\phi}} \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = 21 - \frac{21+37}{4,681} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,94} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,24}{0,06} + \frac{0,03}{0,94} \right) = -30,5^{\circ}\text{C}.$$

По расчетным данным строим график изменения температур.



# ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Чердачное перекрытие состоит из 3-х конструктивных слоев:

1. Первый конструктивный слой – цементно-песчаная затирка,  $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_1 = 0,005 \text{ м}$ ,  $\lambda_1 = 0,94 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ ;

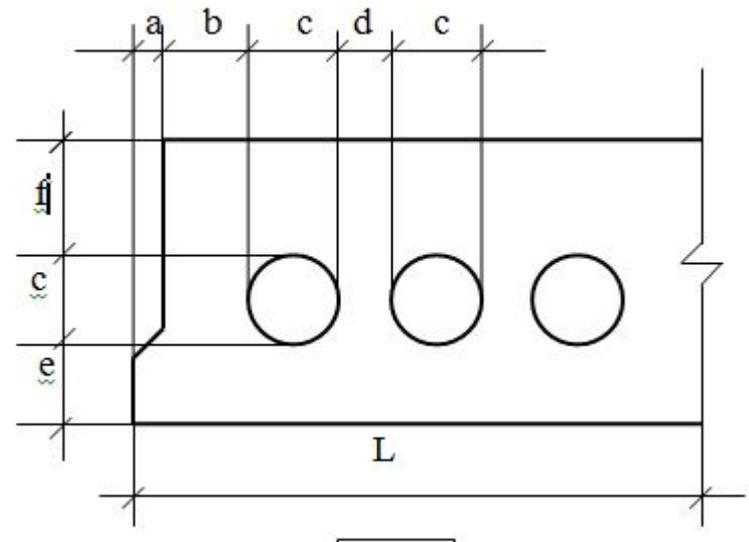
2. Второй конструктивный слой – многопустотная железобетонная плита,  $\rho_2 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_2 = 0,22 \text{ м}$ ,  $\lambda_2 = 2,04 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ ;

3. Третий конструктивный слой – утеплитель пенополистерол  $\delta_y$ ,  $\rho_y = 150 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_y = 0,06 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ .

Так как в конструкцию перекрытия входит один неоднородный элемент (железобетонная плита с пустотами), то расчет сопротивления теплопередаче начинают именно с этого элемента.

Железобетонная плита имеет следующие параметры:

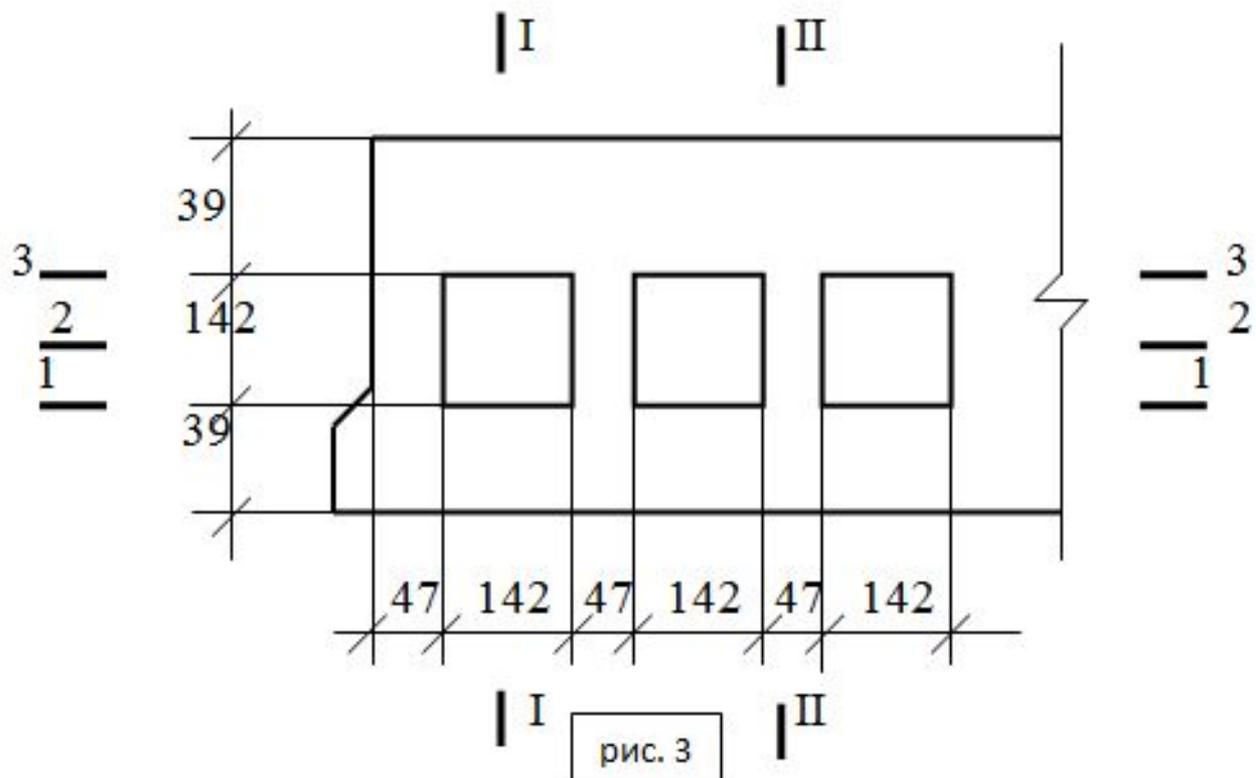
$a=15 \text{ мм}$ ,  $b=52,5 \text{ мм}$ ,  $c=160 \text{ мм}$ ,  $d=25 \text{ мм}$ ,  $e=29,5 \text{ мм}$ ,  $f=30,5 \text{ мм}$ ,  $L=1590 \text{ мм}$ ,  $n(\text{количество отверстий})=8 \text{ шт.}$



● Необходимо найти термическое сопротивление многопустотной железобетонной плиты.

Для этого круглые отверстия (пустоты) диаметром 150 мм заменим равновеликими по площади квадратами со стороной квадрата

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot c^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 160^2}{4}} = 142 \text{ мм}$$



Разрезаем конструкцию плиты характерными сечениями I-I, II-II параллельно и 1-1, 2-2, 3-3 перпендикулярно тепловому потоку.

### 1. Параллельные сечения.

В сечении I-I два слоя железобетона толщиной  $\delta_{\text{жб}}^{\text{I-I}} = 0,039 + 0,039 = 0,078$  м с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 2,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) и воздушная прослойка толщиной  $\delta_{\text{вп}} = 0,142$  м с термическим сопротивлением  $R_{\text{вп}} = 0,15$  м<sup>2</sup>·°C/Вт (по табл. 7, [4]).

Термическое сопротивление составит

$$R_{\text{I-I}} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{\text{I-I}}}{\lambda_{\text{жб}}} + R_{\text{вп}} = \frac{0,078}{2,04} + 0,15 = 0,1882 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

В сечении II-II слой железобетона толщиной  $\delta_{\text{жб}}^{\text{II-II}} = 0,22$  м с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 2,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C). Термическое сопротивление составит

$$R_{\text{II-II}} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{\text{II-II}}}{\lambda_{\text{жб}}} = \frac{0,22}{2,04} = 0,1078 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление плиты параллельно тепловому потоку будет

$$R_{\parallel} = \frac{F_{\text{I-I}} + F_{\text{II-II}}}{\frac{F_{\text{I-I}}}{R_{\text{I-I}}} + \frac{F_{\text{II-II}}}{R_{\text{II-II}}}} = \frac{1,136 + 0,423}{\frac{1,136}{0,1882} + \frac{0,423}{0,1078}} = 0,1565 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

где: площадь слоев в сечении I-I  $F_{\text{I-I}} = (0,142 \cdot 1) \cdot 8 = 1,136$  м<sup>2</sup>, площадь слоев в сечении II-II:  $F_{\text{II-II}} = (0,047 \cdot 1) \cdot 9 = 0,423$  м<sup>2</sup>.

## 2. Перпендикулярные сечения.

В сечениях 1-1 и 3-3 два слоя железобетона толщиной  $\delta_{\text{жб}} = 0,039 + 0,039 = 0,078$  м с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 2,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Термическое сопротивление составит

$$R_{1-1 \text{ и } 3-3} = \frac{\delta_{\text{жб}}}{\lambda_{\text{жб}}} = \frac{0,078}{2,04} = 0,0382 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

В сечении 2-2 воздушная прослойка толщиной  $\delta_{\text{вп}} = 0,142$  м с термическим сопротивлением  $R_{(2-2)\text{вп}} = 0,15$  м<sup>2</sup>·°С/Вт (по табл.7,[4]) и слой железобетона толщиной  $\delta_{\text{жб}}^{2-2} = 0,142$  м с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 2,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Терм. сопротивление составит  $R_{(2-2)\text{жб}} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{2-2}}{\lambda_{\text{жб}}} = \frac{0,142}{2,04} = 0,0696 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$

Для сечения 2-2 терм. сопротивление составит  $R_{2-2} = \frac{F_{(2-2)\text{вп}} + F_{(2-2)\text{жб}}}{\frac{F_{(2-2)\text{вп}}}{R_{(2-2)\text{вп}}} + \frac{F_{(2-2)\text{жб}}}{R_{(2-2)\text{жб}}}}$

где площадь воздушных прослоек в сечении 2-2  $F_{(2-2)\text{вп}} = F_{\text{I-I}} = 1,136$  м<sup>2</sup>, площадь слоев железобетона в сечении 2-2  $F_{(2-2)\text{жб}} = F_{\text{II-II}} = 0,423$  м<sup>2</sup>.

$$R_{2-2} = \frac{F_{(2-2)\text{вп}} + F_{(2-2)\text{жб}}}{\frac{F_{(2-2)\text{вп}}}{R_{(2-2)\text{вп}}} + \frac{F_{(2-2)\text{жб}}}{R_{(2-2)\text{жб}}}} = \frac{1,136 + 0,423}{\frac{1,136}{0,15} + \frac{0,423}{0,0696}} = 0,1287 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Термическое сопротивление плиты перпендикулярно тепловому потоку будет

$$R_{\perp} = R_{1-1 \text{ и } 3-3} + R_{2-2} = 0,0382 + 0,1287 = 0,1669 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Разница между  $R_{\parallel}$  и  $R_{\perp}$  составляет

$$\frac{0,1669 - 0,1565}{0,1669} \cdot 100 \% = 6,23 \% < 25 \%$$

Тогда общее термическое сопротивление плиты определяется по формуле

$$R_{\text{жб}} = \frac{R_{\parallel} + 2 \cdot R_{\perp}}{3} = \frac{0,1669 + 2 \cdot 0,1565}{3} = 0,1634 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Теперь, зная термическое сопротивление железобетонной плиты ( $R_{\text{жб}} = R_2$ ), можем найти толщину утеплителя. Для этого по методике, описанной в расчете наружной стены, вначале найдем нормируемое и требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия. Для этого нам понадобятся следующие данные, взятые из соответствующих таблиц:

$$\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}, n = 1,0; \Delta t_n = 3,0; t_{\text{int}} = 21 \text{°C}, t_{\text{ext}} = -31 \text{°C}, \alpha_{\text{ext}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C},$$

$$a = 0,00045, \quad b = 1,9, \quad D_d = 6640,2.$$

$$R_1^{req} = \frac{1,0(21+37)}{8,7 \times 3,0} = 1,9923 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

$$R_2^{req} = 0,00045 \times 6640,2 + 1,9 = 4,7918 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

За расчетное принимаем большее значение  $R_p = R_2^{req}$ .

Тогда необходимая толщина утеплителя может быть посчитана по формуле:

$$\begin{aligned} \delta_y &= \lambda_y \left[ R_2^{req} - \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \right] = \\ &= 0,06 \left[ 4,7918 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,94} + 0,1634 + \frac{1}{12} \right) \right] = \\ &= 0,2650 \approx 0,27 \text{ м}. \end{aligned}$$

Проверяем:

$$R_\phi = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,94} + 0,1634 + \frac{0,27}{0,06} + \frac{1}{12} = 4,8424 > 4,7918.$$

Условие выполнено. Окончательно принимаем толщину утеплителя на чердачном перекрытии, равным 27 сантиметров.

$$\text{Коэффициент теплопередачи} - k_0^ч = \frac{1}{R_\phi^ч} = \frac{1}{4,8424} = 0,2065 \text{ Вт/м}^2\text{°C}.$$

# ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УТЕПЛЕННОГО ПОЛА

Перекрытие над подвалом состоит из следующих конструктивных слоев:

1. Первый конструктивный слой - многослойная железобетонная плита (уже рассчитана)

$\delta_1 = 220$  мм.,  $R_1 = 0,1634$  м<sup>2</sup>°С/Вт. 2. Второй конструктивный слой - утеплитель пенополистерол  $\delta_y, \rho_y = 150$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda_y = 0,06$  Вт/м°С.

3. Третий конструктивный слой - воздушная прослойка  $\delta_2 = 20$  мм.,  $R_2 = 0,15$  м<sup>2</sup>°С/Вт.

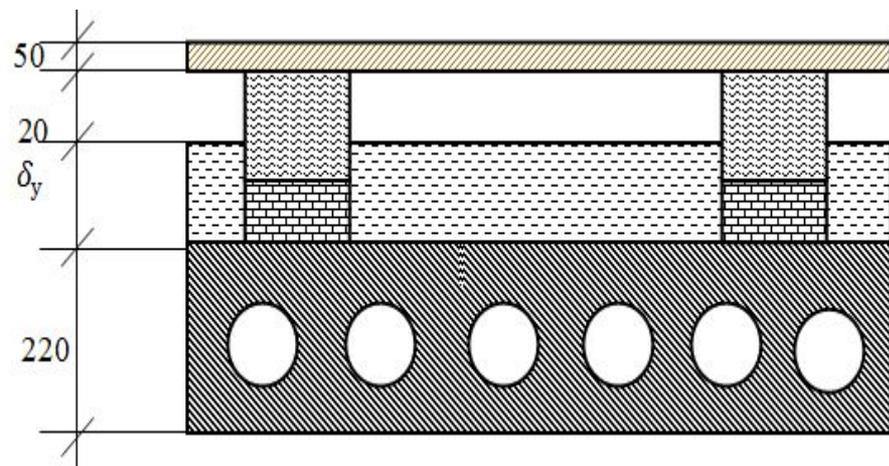
4. Четвертый конструктивный слой – сосновая рейка с поперечными волокнами  $\delta_3 = 50$  мм.,  $\lambda_3 = 0,18$  Вт/м°С.

Для расчета нам необходимы следующие данные:  $\alpha_{int}=8,7$  Вт/м<sup>2</sup>°С,  $n=0,6$ ;  $\Delta t_n=2,0$ ;  $t_{int}=21$ °С,  $t_{ext}=-31$ °С,  $\alpha_{ext}=6$  Вт/м<sup>2</sup>°С,  $a=0,00045$ ,  $b=1,9$ ,  $D_d=6426,2$ .

Определим нормируемое и требуемое сопротивление теплопередаче:

$$R_1^{req} = \frac{0,6(21+37)}{8,7 \times 2,0} = 1,7991 \text{ м}^2\text{°С/Вт.}$$

$$R_2^{req} = 0,00045 \times 6640,2 + 1,9 = 4,7918 \text{ м}^2\text{°С/Вт.}$$



●  
За расчетное термическое сопротивление принимаем большее из этих двух значение, то есть  $R_2^{req}=4,7918 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ ;

Тогда толщину утеплителя можно найти по формуле:

$$\delta_y = \lambda_y \left[ R_2^{req} - \left( \frac{1}{\alpha_{ext}} + R_1 + R_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{int}} \right) \right] =$$
$$= 0,06 \left[ 4,7918 - \left( \frac{1}{6} + 0,1634 + 0,15 + \frac{0,05}{0,18} + \frac{1}{8,7} \right) \right] = 0,2351 \approx 0,24 \text{ м.}$$

Проверяем:  $R_\phi = \frac{1}{6} + 0,1634 + \frac{0,24}{0,06} + 0,15 + \frac{0,05}{0,18} + \frac{1}{8,7} = 4,8728 > 4,7918$ .

Условие выполнено. Окончательно принимаем толщину утеплителя на чердачном перекрытии, равным 24 сантиметров.

Коэффициент теплопередачи -  $k_0^{пол} = \frac{1}{R_\phi^{пол}} = \frac{1}{4,8728} = 0,2088 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{°C}$ .

## ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОН И ДВЕРЕЙ

Для окон и балконных дверей имеются следующие исходные данные:

$a=0,00005$ ,  $b=0,3$ ,  $D_d=6426,2$ ; Тогда их термическое сопротивление определится как:

$$R^{req} = 0,00005 \times 6640,2 + 0,3 = 0,6213 \text{ м}^2\text{°С/Вт};$$

Затем по приложению Л1 (п. 13, [4]) выбираем заполнение светового проема из условия  $R_0^r \geq R^{req}$ : двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах из обычного стекла ( $R_0^r = 0,65 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ ).

Коэффициент теплопередачи -  $k_0^r = \frac{1}{R_0^r} = \frac{1}{0,65} = 1,5385 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ .

При выборе наружных дверей согласно п. 5.7 [3] необходимо руководствоваться правилом:

$$R_0^{дв} \geq 0,6 R_{стен}^{req} \text{ или } R_0^{дв} \geq 0,6 \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\alpha_{int} \Delta t_n}$$

Тогда  $R_0^{дв} \geq 0,6 \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\alpha_{int} \Delta t_n} = 0,6 \frac{1,0(21+37)}{4,0 \times 8,7} = 0,8966 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ ;

Коэффициент теплопередачи -  $k_0^r = \frac{1}{R_0^{дв}} = \frac{1}{0,8966} = 1,1154 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ .