

## Исходные данные

### Вид конструкции

Покрытие - Скатная кровля

### Территория

Краснодар, Краснодарский край

$t_{ext}$ Расчетная температура наружного воздуха: (обеспеченностью 0,92, СП 131.13330.2012 т.3.1)	-14 °С
$t_{ht}$ Расчетная средняя температура отопительного периода: (обеспеченностью 0,92, СП 131.13330.2012 т.3.1)	2.5 °С
$z_{ht}$ Продолжительность отопительного периода: (обеспеченностью 0,92, СП 131.13330.2012 т.3.1)	145 сут
Зона влажности:	

### Назначение здания

Здание: Жилые,

Помещение: Жилая комната

Коэффициент $a$ : (по ГОСТ 30494-2011)	0.0005
Коэффициент $b$ : (по ГОСТ 30494-2011)	2.2
$\alpha_{int}$ - Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности: (по ГОСТ 30494-2011)	7.6
Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции: (по ГОСТ 30494-2011)	3 °С
$\alpha_{ext}$ - Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности: (по ГОСТ 30494-2011)	23
$t_{int}$ - Температура пребывания: (по ГОСТ 30494-2011)	20 °С
$\phi$ - Относительная влажность воздуха: (по ГОСТ 30494-2011)	не более 60 %
Влажностный режим помещения: (СП 50.13330.2012 т.1)	
Условия эксплуатации ограждающих конструкций: (СП 50.13330.2012 т.2)	
Коэффициент однородности конструкции $g$ : (по ГОСТ 30494-2011)	1

## Структура конструкции

№	Слой	Толщина, мм	Примечание
1	ПОДШИВКА ПОТОЛКА Стальной профилированный лист	0	$\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$
2	СТРОПИЛЬНАЯ НОГА И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СЛОЙ ISOVER Сендвич лайф	150	$\lambda = 0.045 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$ $\mu = 0.55 \text{ мг} / \text{м ч Па}$
3	КРОВЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ Стальной профилированный лист	0	$\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

## Расчёт толщины утеплителя $\delta_{\text{ут}}$

Градусо-сутки отопительного периода:

(СП 50.13330.2012 ф.5.2)

$$^{\circ}\text{ГСОП} = (t_{(i \text{ nt})} - t_{(ht)}) * z_{(ht)} = (20 - 2.5) * 145 = 2537.5 \text{ } ^\circ\text{C} * \text{сут} / \text{год}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче:

(СП 50.13330.2012)

$$^{\circ}\text{R}_{0}^{(\text{norm})} = a * ^{\circ}\text{ГСОП} + b = 0.0005 * 2537.5 + 2.2 = 3.47 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

## Расчёт термических сопротивлений

Стальной профилированный лист, однородный слой,  $\delta=0$  мм,  $\lambda=58$  Вт/(м °C)

Термическое сопротивление:

$$^{\circ}\text{R}_1 = \delta / \lambda = \{0 * 10^{-3}\} / 58 = 0 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

Стальной профилированный лист, однородный слой,  $\delta=0$  мм,  $\lambda=58$  Вт/(м °C)

Термическое сопротивление:

$$^{\circ}\text{R}_2 = \delta / \lambda = \{0 * 10^{-3}\} / 58 = 0 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

## Расчёт ориентировочного термического сопротивления утеплителя

$$^{\circ}\text{R}_{(yT)} = \text{R}_{0}^{(\text{norm})} / r - \text{R}_1 - \text{R}_2 - 1/\alpha_{(i \text{ nt})} - 1/\alpha_{(\text{ext})} =$$

$$^{\circ} = 3.47 / 1 - 0 - 0 - 1/7.6 - 1/23 = 3.295 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

## Расчёт ориентировочной толщины слоя утеплителя из условия:

$$^{\circ}\text{R}_{(yT)} = \delta_{(yT)} / \lambda_{(yT)} = 3.295 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

где:  $\lambda_{yT} = 0.045$  Вт/(м °C)

$$^{\circ}\delta_{(yT)} = \text{R}_{(yT)} * \lambda_{(yT)} = 3.295 * 0.045 = 148.27 \text{ } \text{мм}$$

С учётом кратности материалов, толщина теплоизоляционного слоя принимается равной  $\delta_{\text{утк}} = 150$  мм. Тогда приведённое сопротивление теплопередаче:

$$^{\circ}\text{R}_{(\text{пр})} = r * (1/\alpha_{(i \text{ nt})} + 1/\alpha_{(\text{ext})} + \delta_{(\text{утк})} / \lambda_{(yT)} + \text{R}_1 + \text{R}_2) =$$

$$^{\circ} = 1 * (1/7.6 + 1/23 + 150 * 10^{-3} / 0.045 + 0 + 0) = 3.508 \text{ } \{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}\} / \{\text{Вт}\}$$

Условие  $\text{R}_{0\text{norm}} \leq \text{R}_{\text{пр}}$  **выполняется :  $3.47 \leq 3.508$ .**

## Санитарно-гигиеническое требование

Расчётный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_{(n)} = \{t_{(i \text{ nt})} - t_{(ext)}\} / \{R_{(утк)} * \alpha_{(i \text{ nt})}\} = \{20 + 14\} / \{3.508 * 7.6\} = 1.28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Условие  $\Delta t_n \geq \Delta t_n$  **выполняется** :  $3 \geq 1.28$

Температуру внутренней поверхности -  $T_v$ ,  $^\circ\text{C}$ , ограждающей конструкции (без теплопроводного включения), следует определять по формуле:

$$T_v = t_{(i \text{ nt})} - \Delta t_{(n)} = 20 - 1.28 = 18.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Условие  $T_v \geq t_p$  **выполняется** :  $18.72 \geq 12$  где  $t_p$  - расчётная температура внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\gamma(t_{(i \text{ nt})}, \phi) = \{17.27 * t_{(i \text{ nt})}\} / \{237.7 + t_{(i \text{ nt})}\} + \log(\phi * 0.01) = \{17.27 * 20\} / \{237.7 + 20\} + \log(60 * 0.01) = 0.83$$

$$t_p = \{237.7 * \gamma(t_{(i \text{ nt})}, \phi)\} / \{17.27 - \gamma(t_{(i \text{ nt})}, \phi)\} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

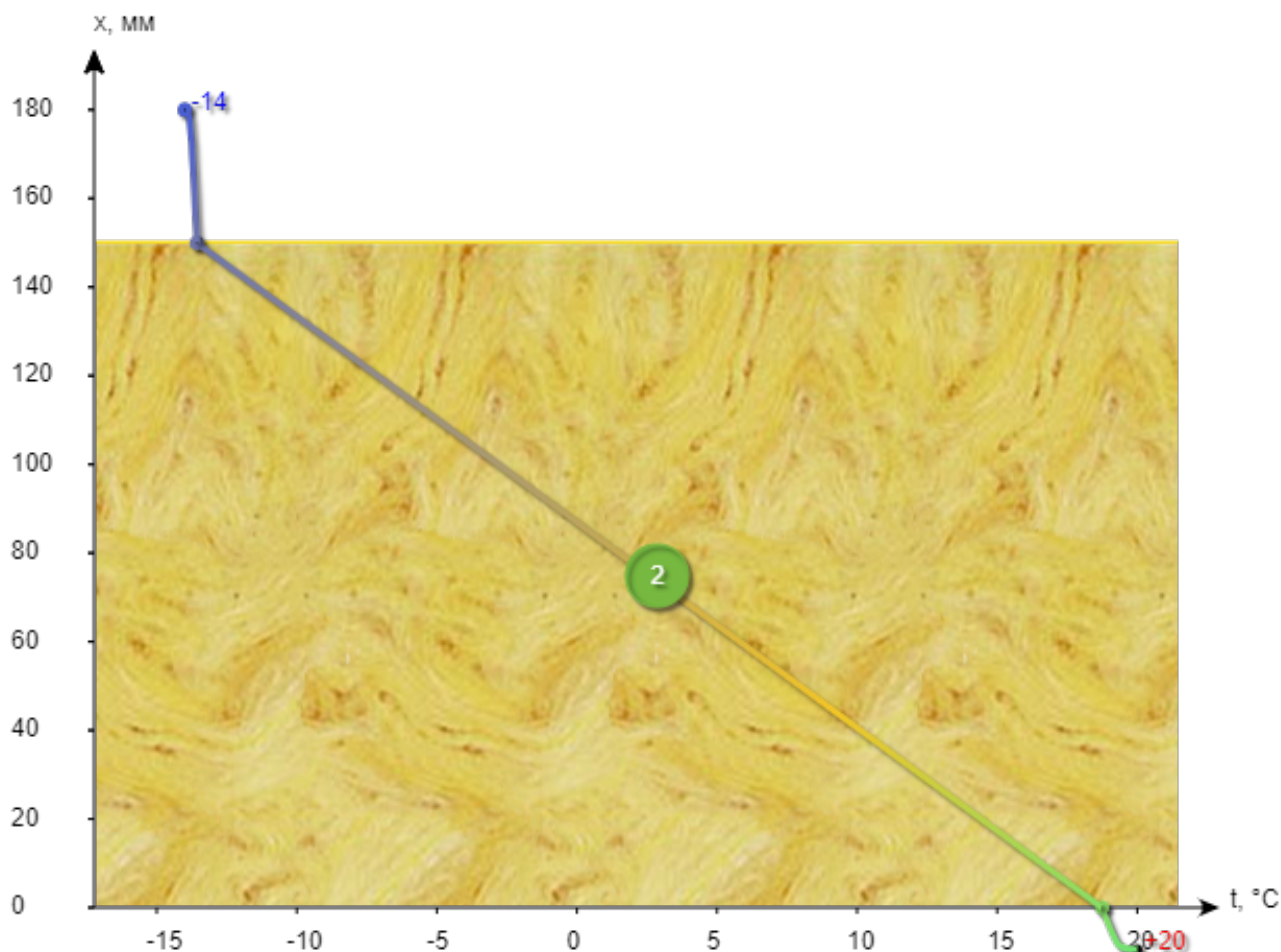
## График распределения температур в сечении конструкции

Температуру  $t_x$ ,  $^\circ\text{C}$ , ограждающей конструкции в плоскости, соответствующей границе слоя  $x$ , следует определять по формуле:

$$t_x(x) = t_{(i \text{ nt})} - \{(t_{(i \text{ nt})} - t_{(ext)}) * R_x(x)\} / R_{(np)}$$

$$R_x(x) = 1 / \alpha_{(i \text{ nt})} + \sum_{i=1}^x (R_i)$$

где:  $x$  - номер слоя,  $x=0$  - это внутреннее пространство,  $R_i$  - сопротивление теплопередачи слоя с номером  $i$ , в направлении от внутреннего пространства.



Точка 1:  $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$  - температура внутри помещения

Точка 2:  $t_x(0) = 18.74^{\circ}\text{C}$  - температура на внутренней границе слоя №2 - "ISOVER Сендвич лайф"

$$R_{x(0)} = 1/\alpha_{(i \text{ nt})} + \sum_{i=1}^{\{0\}} (R_{i}) = 1/7.6 = 0.13 \{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}\}/\{^{\circ}\text{Вт}\}$$

$$t_x(0) = t_{(i \text{ nt})} - (t_{(i \text{ nt})} - t_{(ext)}) \cdot R_{x(0)} / R_{(np)} = 20 - (20 + 14) \cdot 0.13 \cdot 1 / 3.508 = 18.74^{\circ}\text{C}$$

Точка 3:  $t_x(1) = -13.57^{\circ}\text{C}$  - температура на внешней границе слоя №2 - "ISOVER Сендвич лайф"

$$R_{x(1)} = 1/\alpha_{(i \text{ nt})} + \sum_{i=1}^{\{1\}} (R_{i}) = 1/7.6 = 3.463 \{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}\}/\{^{\circ}\text{Вт}\}$$

$$t_x(1) = t_{(i \text{ nt})} - (t_{(i \text{ nt})} - t_{(ext)}) \cdot R_{x(1)} / R_{(np)} = 20 - (20 + 14) \cdot 3.463 \cdot 1 / 3.508 = -13.57^{\circ}\text{C}$$

Точка 4:  $t_{ext} = -14^{\circ}\text{C}$  - температура окружающей среды

## Определение плоскости максимального увлажнения (конденсации)

Методика, базирующаяся на использовании метода безразмерных характеристик.

Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса  $f_i(t_{m.y.})$ , характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения.

№ слоя	Слой конструкции	$R_{ni} = \delta_i / \mu_i$	$\mu_i / \lambda_i$
	Внутренняя поверхность ограждения	$R_{int, vp} = 0.0266$	0
1	Стальной профилированный лист		

№ слоя	Слой конструкции	$R_{ni} = \delta_i / \mu_i$	$\mu_i / \lambda_i$
2	ISOVER Сендвич лайф	$0.15 / 0.55 = 0.273$	$0.55 / 0.045 = 12.222222$
3	Стальной профилированный лист		
Наружная поверхность ограждения		$R_{ext, vp} = 0.0133$	0

$R_{int, vp}$  и  $R_{ext, vp}$  - сопротивления влагообмену соответственно внутренней и наружной поверхности ограждения, ( $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ ).

*Примечание:*

1. Сопротивление паропрооницанию замкнутых воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю независимо от расположения и толщины этих прослоек.
2. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются в расчете.

$$f_i(t_{(m.y.)}) = 5330 * \{R_{(0,n)} * (t_v - t_{(n,отр)}) * \mu_i\} / \{R_{0^{(усл)}} * (e_v - e_{(n,отр)}) * \lambda_i\}$$

$$R_{(0,n)} = \sum_{i} (\delta_i / \mu_i) = 0.0266 + 0.273 + 0.0133 = 0.3129 \{m^2 \cdot ч * "Па" / "мг"\}$$

$E_v$  - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре воздуха от -40 до +45 °C определяется по формуле:

$$E(t) = 1.84 * 10^{(11)} * \exp(-5330 / \{273 + t\})$$

Для температуры  $t_v = 20$  °C:

$$E_v = E(20) = 1.84 * 10^{(11)} * \exp(-5330 / \{273 + 20\}) = 2314.79 \text{ " Па"}$$

$e_v$  - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчётных температуре и относительной влажности воздуха в помещении, определяемое по формуле:

$$e_v = (ф_v / 100) * E_v = (60 / 100) * 2314.79 = 1388.87 \text{ " Па"}$$

$e_{(n,отр)}$  - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по СП 131.13330:

$$e_{(n,отр)} = 100 * 4.9 = 490 \text{ " Па"}$$

$t_{(n,отр)}$  - среднее значение температуры наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по СП 131.13330:

$$t_{(n,отр)} = -0.2 = -0.2 \text{ °C}$$

$\mu_i / \lambda_i$  - отношение расчетных коэффициентов теплопроводности, Вт/( $m^2 \cdot x \text{ °C}$ ), и паропрооницаемости, мг/( $m \cdot ч \cdot Па$ ), материала соответствующего слоя, либо 0, если коэффициенты не заданы.

$$f_i(t_{(m.y.)}) = 5330 * \{R_{(0,n)} * (t_v - t_{(n,отр)}) * \mu_i\} / \{R_{0^{(усл)}} * (e_v - e_{(n,отр)}) * \lambda_i\} = 5330 * \{0.3129 * (20 + 0.2) * \mu_i\} / \{3.508 * (1388.87 - 490) * \lambda_i\} = 10.68 * (\mu_i / \lambda_i)$$

$$f_{(2)}(t_{(m.y.)}) = 10.68 * 12.222222 = 130.53$$

Согласно СП 50.13330 табл. 11, при положительном  $f_i(t_{m.y.})$  найдём  $t_{m.y.}$  по формуле:

$$t_{(m.y.)} = -15.08 * \ln(f(t_{(m.y.)})) + 72.882$$

$$t_{(m.y.2)} = -15.08 * \ln(130.53) + 72.882 = -0.58$$

### Расчёт температур на границах слоёв

$$t_{(срk)} = t_v - ((t_v - t_{(n,отр)}) / R_{0^{(усл)}}) * (1 / \alpha_{(i \ n \ t)} + \sum_{i=1}^k (R_i))$$

где  $R_i$  - сопротивление теплопередачи слоя  $i$  (либо 0, если слой не входит в теплотехнический расчёт),  $k$  - номер слоя, для которого вычисляется температура.

$$t_{cp0} = 20 - ((20 + 0.2)/3.508) * (1/7.6 + 0) = 19.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{cp2} = 20 - ((20 + 0.2)/3.508) * (1/7.6 + 0 + 3.3333) = 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### Сводная таблица $t_{м.у.}$ и $t_{ср.к}$

Составляется таблица, содержащая для каждого слоя  $t_{м.у.}$  и вычисленные выше температуры на границах слоя (при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами):

№ слоя	Слой конструкции	$t_{ср.к}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{м.у.}, \text{ }^{\circ}\text{C}$
0	ISOVER Сендвич лайф	19.24	-0.58
2		0.05	

### Определение плоскости максимального увлажнения

Как видно из таблицы, нет ни одного слоя с температурой  $t_{м.у.}$  в пределах  $t_{ср.к}$ . Также не нашлось ни одной пары соседних слоёв, где для более холодного слоя выполнялось бы условие  $t_{м.у.} > \max(t_{ср.к})$  и для более тёплого  $t_{м.у.} < \min(t_{ср.к})$ .

В этом случае плоскость максимального увлажнения принимается на наружной поверхности конструкции. **Защиты от переувлажнения не требуется.**

### Вывод

Конструкция рассчитана с учётом требований СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий" и СП 131.13330.2012 "Строительная климатология".

Требуемая толщина теплоизоляционного слоя ISOVER Сендвич лайф равна 150 мм

В соответствии с расчётом:

- Конструкция удовлетворяет требованию по тепловой защите.
- Конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническому требованию.
- Конструкция не требует дополнительных мер по защите от переувлажнения.