



**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ**

СП 50.13330.2012

"Тепловая защита зданий"

ВИРМАК

## Исходные данные

Вид конструкции: Стена - Многослойная

Территория: Москва, Москва

t <sub>ext</sub> Расчетная температура наружного воздуха: (обеспеченностью 0,92, СП 131.13330.2012 т.3.1)	-25 °С
t <sub>ht</sub> Расчетная средняя температура отопительного периода: (со среднесуточной t ≤ 8 °С, СП 131.13330.2012 т.3.1)	-2.2 °С
z <sub>ht</sub> Продолжительность отопительного периода: (со среднесуточной t ≤ 8 °С, СП 131.13330.2012 т.3.1)	205 сут
Зона влажности:	нормальная

## Назначение здания и помещения

Здание: Жилые,

Помещение: Жилая комната

Коэффициент а: (СП 50.13330.2012, т.3)	0.00035
Коэффициент b: (СП 50.13330.2012, т.3)	1.4
α <sub>int</sub> - Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности: (по СП 50.13330.2012, т.4)	8.7
Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции: (по СП 50.13330.2012, т.5)	4 °С
α <sub>ext</sub> - Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности: (по СП 50.13330.2012, т.6)	12
t <sub>int</sub> - Температура пребывания: (по ГОСТ 30494-2011)	20 °С
φ - Относительная влажность воздуха: (по ГОСТ 30494-2011, СП 131.13330.2012 т.3.1)	не более 60 %
Влажностный режим помещения: (СП 50.13330.2012 т.1)	нормальный
Условия эксплуатации ограждающих конструкций: (СП 50.13330.2012 т.2)	Б
Коэффициент однородности конструкции g: (по ГОСТ Р 54851-2011)	0.8
Коэффициент зависимости положения ограждающей конструкции n: (СП 50.13330.2012 ф.5.3)	1

## Структура конструкции

№	Слой	Толщина, мм	Примечание
1	ЦСП	12	$\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$
2	ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СЛОЙ ISOVER Сэндвич Лайф	150	$\lambda = 0.04 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$ $\mu = 0.3 \text{ мг} / \text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$
3	ЦСП	12	$\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

Градусо-сутки отопительного периода:

(СП 50.13330.2012 ф.5.2)

$$\text{ГСОП} = \left( t_{\text{int}} - t_{\text{nt}} \right) \times z_{\text{nt}} = (20 + 2.2) \times 205 = 4551 \frac{^\circ\text{C} \times \text{сут}}{\text{год}}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче:

(СП 50.13330.2012)

$$R_{0 \text{ норм}} = (a \times \text{ГСОП} + b) \times n = (0.00035 \times 4551 + 1.4) \times 1 = 2.993 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

## Расчёт термических сопротивлений

ЦСП, однородный слой,  $\delta=12 \text{ мм}$ ,  $\lambda=58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

Термическое сопротивление:

$$R_1 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{12 \times 10^{-3}}{58} = 0 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

ЦСП, однородный слой,  $\delta=12 \text{ мм}$ ,  $\lambda=58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

Термическое сопротивление:

$$R_2 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{12 \times 10^{-3}}{58} = 0 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

## Расчёт ориентировочного термического сопротивления утеплителя

$$R_{\text{ут}} = \frac{R_{0 \text{ норм}}}{r} - R_1 - R_2 - \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} =$$

$$\frac{2.993}{0.8} - 0 - 0 - \frac{1}{8.7} - \frac{1}{12} = 3.543 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Расчёт ориентировочной толщины слоя утеплителя из условия:

$$R_{\text{ут}} = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = 3.543 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

где:  $\lambda_{\text{ут}} = 0.04 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \times \lambda_{\text{ут}} = 3.543 \times 0.04 = 141.72 \text{ мм}$$

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

$$R_{пр} = \gamma \times \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} + \frac{\delta_{утк}}{\lambda_{ут}} + R_1 + R_2 \right) =$$

$$0.8 \times \left( \frac{1}{8.7} + \frac{1}{12} + \frac{150 \times 10^{-3}}{0.04} + 0 + 0 \right) = 3.159 \frac{M^2 \times ^\circ C}{BT}$$

Условие  $R_{norm} \leq R_{пр}$  **выполняется** :  $2.993 \leq 3.159$ .

## Санитарно-гигиеническое требование

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

$$\Delta t_n = \frac{n \times (t_{int} - t_{ext})}{R_{утк} \times \alpha_{int}} = \frac{1 \times (20 + 25)}{3.159 \times 8.7} = 1.64^\circ C$$

Условие  $\Delta t_n \geq \Delta t_n$  **выполняется** :  $4 \geq 1.64$

Температуру внутренней поверхности -  $T_v$ , °C, ограждающей конструкции (без теплопроводного включения), следует определять по формуле:

$$T_v = t_{int} - \Delta t_n = 20 - 1.64 = 18.36^\circ C$$

Условие  $T_v \geq t_p$  **выполняется** :  $18.36 \geq 12$

где  $t_p$  - температура точки росы.

$$\gamma(t_{int}, \phi) = \frac{17.27 \times t_{int}}{237.7 + t_{int}} + \log(\phi \times 0.01) = \frac{17.27 \times 20}{237.7 + 20} + \log(60 \times 0.01) = 0.83$$

$$t_p = \frac{237.7 \times \gamma(t_{int}, \phi)}{17.27 - \gamma(t_{int}, \phi)} = 12^\circ C$$

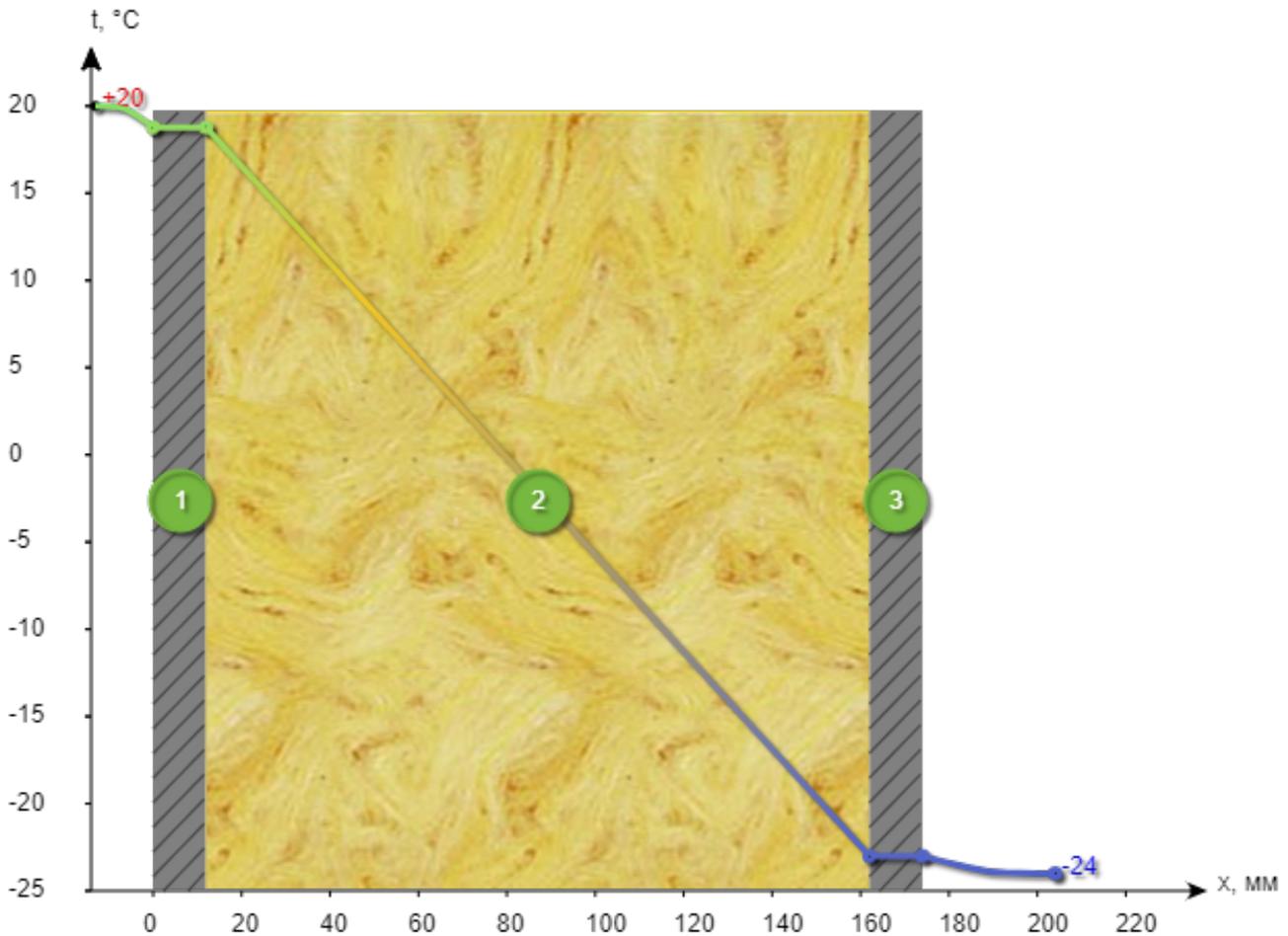
## График распределения температур в сечении конструкции

Температуру  $t_x$ , °C, ограждающей конструкции в плоскости, соответствующей границе слоя  $x$ , следует определять по формуле:

$$t_x(x) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(x)}{R_{пр}}$$

$$R_x(x) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^x R_i$$

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:  $t_x(0) = 18.75^\circ\text{C}$  - температура на внутренней границе слоя №1 - "ЦСП"

$$R_x(0) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^0 R_i = \frac{1}{8.7} = 0.11 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(0) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(0) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 - (-25)) \times 0.11 \times 0.8}{3.159} = 18.75^\circ\text{C}$$

Точка 3:  $t_x(1) = 18.75^\circ\text{C}$  - температура на границе слоёв №1 - "ЦСП" и №2 - "ISOVER Сэндвич Лайф"

$$R_x(1) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^1 R_i = \frac{1}{8.7} + 0 = 0.11 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(1) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(1) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 25) \times 0.11 \times 0.8}{3.159} = 18.75^\circ\text{C}$$

Точка 4:  $t_x(2) = -23.99^\circ\text{C}$  - температура на границе слоёв №2 - "ISOVER Сэндвич Лайф" и №3 - "ЦСП"

$$R_x(2) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^2 R_i = \frac{1}{8.7} + 0 + 3.75 = 3.86 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(2) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(2) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 25) \times 3.86 \times 0.8}{3.159} = -23.99^\circ\text{C}$$

Точка 5:  $t_x(3) = -23.99^\circ\text{C}$  - температура на внешней границе слоя №3 - "ЦСП"

$$R_x(3) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^3 R_i = \frac{1}{8.7} = 3.86 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(3) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(3) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 25) \times 3.86 \times 0.8}{3.159} = -23.99^\circ\text{C}$$

Точка 6:  $t_{ext} = -25^\circ\text{C}$  - 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	ЦСП	0	0
2	ISOVER Сэндвич Лайф	$0.15 / 0.3 = 0.5$	$0.3 / 0.04 = 7.5$
3	ЦСП	0	0
	Наружная поверхность ограждения	$R_{ext, vp} = 0.0133$	0

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

**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

№ слоя	Слой конструкции	$R_{ni} = \delta_i / \mu_i$	$\mu_i / \lambda_i$
наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются в расчете.			

$$f_i(t_{m.y.}) = \frac{5330 \times R_{0,n} \times (t_{в} - t_{н,отр}) \times \mu_i}{R_{0,усл} \times (e_{в} - e_{н,отр}) \times \lambda_i}$$

$$R_{0,n} = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.0266 + 0 + 0.5 + 0 + 0.0133 = 0.5399 \frac{m^2 \times ч \times Па}{мг}$$

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

$$E(t) = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + t}\right)$$

Для температуры  $t_{в} = 20$  °C:

$$E_{в} = E(20) = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 20}\right) = 2314.79 \text{ Па}$$

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

$$e_{в} = \left(\frac{\phi_{в}}{100}\right) \times E_{в} = \left(\frac{60}{100}\right) \times 2314.79 = 1388.87 \text{ Па}$$

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

$$e_{н,отр} = \frac{100 \times (2.8 + 2.9 + 3.9 + 5 + 3.6)}{5} = 364 \text{ Па}$$

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

$$t_{н,отр} = \frac{(-7.8 - 7.1 - 1.3 - 1.1 - 5.6)}{5} = -4.58 \text{ °C}$$

$\mu_i / \lambda_i$  - отношение расчетных коэффициентов теплопроводности, Вт/(м<sup>2</sup> × °C), и паропроницаемости, мг/(м × ч × Па), материала соответствующего слоя, либо 0, если коэффициенты не заданы.

$$f_i(t_{m.y.}) = \frac{5330 \times R_{0,n} \times (t_{в} - t_{н,отр}) \times \mu_i}{R_{0,усл} \times (e_{в} - e_{н,отр}) \times \lambda_i} = \frac{5330 \times 0.5399 \times (20 + 4.58) \times \mu_i}{3.949 \times (1388.87 - 364) \times \lambda_i} = 17.48 \times \left(\frac{\mu_i}{\lambda_i}\right)$$

$$f_1(t_{m.y.}) = 17.48 \times 0 = 0$$

$$f_2(t_{m.y.}) = 17.48 \times 7.5 = 131.1$$

$$f_3(t_{m.y.}) = 17.48 \times 0 = 0$$

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

$$t_{m.y.} = \frac{\left( a \times b + c \times f(t_{m.y.})^d \right)}{\left( b + f(t_{m.y.})^d \right)}$$

$$a = 96.6680675349$$

$$b = 4.89349504771$$

$$c = -66.4983819958$$

$$d = 0.406903783624$$

$$t_{m.y.1} = \frac{(a \times b + c \times 0^d)}{(b + 0^d)} = 96.668$$

$$t_{m.y.2} = \frac{(a \times b + c \times 131.1^d)}{(b + 131.1^d)} = -0.866$$

$$t_{m.y.3} = \frac{(a \times b + c \times 0^d)}{(b + 0^d)} = 96.668$$

Расчёт температур на границах слоёв

$$T_{срk} = t_{в} - \left( \frac{t_{в} - t_{н,отр}}{R_{д,учл}} \right) \times \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^k R_i \right)$$

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

$$T_{ср0} = 20 - \left( \frac{20 + 4.58}{3.949} \right) \times \left( \frac{1}{8.7} \right) = 19.28^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cp1} = 20 - \left( \frac{20 + 4.58}{3.949} \right) \times \left( \frac{1}{8.7} + 0 \right) = 19.28^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cp2} = 20 - \left( \frac{20 + 4.58}{3.949} \right) \times \left( \frac{1}{8.7} + 0 + 3.75 \right) = -4.06^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cp3} = 20 - \left( \frac{20 + 4.58}{3.949} \right) \times \left( \frac{1}{8.7} + 0 + 3.75 + 0 \right) = -4.06^{\circ}\text{C}$$

### Сводная таблица $t_{м.у.}$ и $T_{cp k}$

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	$T_{cp k}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{м.у.}, ^{\circ}\text{C}$
0	ЦСП	19.28	96.668
1		19.28	
1	ISOVER Сэндвич Лайф	19.28	-0.866
2		-4.06	
2	ЦСП	-4.06	96.668
3		-4.06	

### Определение плоскости максимального увлажнения

Как видно из таблицы, нашлись следующие слои с  $t_{м.у.}$  в пределах  $T_{cp}$ :

- №2. ISOVER Сэндвич Лайф.

В предположении линейного распределения температуры, координата плоскости максимального увлажнения в этих слоях,  $x_{м.у.i}$ , вычисляется по формуле:

$$x_{м.у.i} = \lambda_i \times \left( \frac{(t_B - t_{м.у.})}{q} - \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_1^{i-1} R_i \right) \right)$$

$$q = \frac{(t_B - t_{н,отр})}{R_{0,уен}} = \frac{(20 + 4.58)}{3.949} = 6.224 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$x_{м.г.д} = 0.04 \times \left( \frac{(20 + 0.866)}{6.224} - \left( \frac{1}{8.7} \right) \right) = 130 \text{ мм}$$

## Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Z<sub>зима</sub>, Z<sub>весна-осень</sub>, Z<sub>лето</sub> - продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес, определяемая по СП 131.13330, Таблица 5.1, с учетом следующих условий:

- к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;
- к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до 5 °С;
- к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5 °С;

Z	Z <sub>зима</sub>	Z <sub>весна-осень</sub>	Z <sub>лето</sub>
количество месяцев	3	2	7
$\sum t, ^\circ\text{C}$ суммарная температура	-7.8-7.1-5.6 = -20.5	-1.3-1.1 = -2.4	+6.4+13+16.9+18.7+16.8+11.1+5.2 = 88.1
$t_{ср.г}, ^\circ\text{C}$ среднее арифметическое	-6.83	-1.2	12.59

Для всех вероятных зон конденсации проводится расчёт.

Расчёт для плоскости, расположенной внутри слоя №2 ISOVER Сэндвич Лайф.

Z	Z <sub>зима</sub>	Z <sub>весна-осень</sub>	Z <sub>лето</sub>
$T_k, ^\circ\text{C}$ температура в зоне конденсации	-2.86	1.94	13.69
$E_k, \text{Па}$ парциальное давление насыщенного водяного пара	496.55	700.75	1551.06

Температура в зоне конденсации:

$$T_k = t_v - \left( \frac{t_v - t_{ср.г}}{R_{д.уч}} \right) \times \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_k \right)$$

где: R<sub>к</sub> - сопротивление теплопередаче на участке от внутренней поверхности до плоскости конденсации.

E<sub>в</sub> - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре воздуха от -40 до +45 °С определяется по формуле:

$$E(t) = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + T_k}\right)$$

$$R_k = \frac{3.75 \times 130}{150} = 3.25 \frac{\text{М}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

**Зима**

$$T_{k, \text{зима}} = 20 - \left(\frac{20 + 6.83}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = -2.86 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{зима}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 - 2.86}\right) = 496.55 \text{ Па}$$

**Осень-весна**

$$T_{k, \text{осень-весна}} = 20 - \left(\frac{20 + 1.2}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = 1.94 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{осень-весна}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 1.94}\right) = 700.75 \text{ Па}$$

**Лето**

При определении парциального давления для летнего периода, температуру в плоскости максимального увлажнения следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода.

$$T_{k, \text{лето}} = 20 - \left(\frac{20 - 12.59}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = 13.69 \text{ °C}$$

$$T_{k, \text{лето}} = \max\left(T_k, t_{\text{ср.з}}\right) = 13.69 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{лето}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 13.69}\right) = 1551.06 \text{ Па}$$

E - парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па, определяемое по формуле:

$$E = \frac{E_{k, \text{зима}} \times Z_{\text{зима}} + E_{k, \text{осень-весна}} \times Z_{\text{осень-весна}} + E_{k, \text{лето}} \times Z_{\text{лето}}}{12}$$

$$E = \frac{496.55 \times 3 + 700.75 \times 2 + 1551.06 \times 7}{12} = 1145.71 \text{ Па}$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ , ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения:

$$R_n = R_{\text{int, vp}} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.0266 + \frac{130 \times 10^{-3}}{0.3} = 0.45993 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

Данное значение должно быть больше каждого из следующих двух значений:

- Требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{1, \text{птр}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации:

$$R_{1, \text{птр}} = \left( e_{\text{в}} - E \right) \times \left( \frac{R_{\text{п, н}}}{E - e_{\text{н}}} \right)$$

Средняя упругость водяного пара за годовой период (по СП 131.13330 табл. 7.1):

$$e_{\text{н}} = \left( \frac{100}{12} \right) \times \sum e_{\text{н, i}}$$

$$e_{\text{н}} = \left( \frac{100}{12} \right) \times (2.8 + 2.9 + 3.9 + 6.2 + 9.1 + 12.4 + 14.7 + 14 + 10.4 + 7 + 5 + 3.6) = 766.67 \text{ Па}$$

$e_{\text{в}}$  - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчётных температуре и относительной влажности воздуха в помещении, определяемое по формуле:

$$e_{\text{в}} = \left( \frac{\phi_{\text{в}}}{100} \right) \times E_{\text{в}} = \left( \frac{60}{100} \right) \times 2314.79 = 1388.87 \text{ Па}$$

$$E_{\text{в}} = E(20) = 1.84 \times 10^{11} \times \exp \left( \frac{-5330}{273 + 20} \right) = 2314.79 \text{ Па}$$

$R_{\text{п, н}}$  - сопротивление паропрооницанию, ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения:

$$R_{\text{п, н}} = R_{\text{ext, vp}} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.0133 + \frac{(150 - 130) \times 10^{-3}}{0.3} = 0.06667 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$R_{1, \text{птр}} = (1388.87 - 1145.71) \times \left( \frac{0.06667}{1145.71 - 766.67} \right) = 0.04277$$

**Условие выполняется:**  $R_n > R_{1, \text{птр}}$  ( $0.45993 > 0.04277$ )

- Требуемое сопротивление паропрооницанию,  $R_{2, \text{птр}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, из условия ограничения накопления влаги за период с отрицательными температурами:

$$R_{2, \text{птр}} = \frac{0.0024 \times z_0 \times (e_{\text{в}} - E_0)}{\rho_{\text{w}} \times \delta_{\text{w}} \times \Delta W + \eta}$$

$\delta_{\text{w}}$  - толщина слоя ISOVER Сэндвич Лайф, в котором находится плоскость конденсации,

$\Delta w$  - соответственно, предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале данного слоя.

$$\eta = \frac{0.0024 \times (E_0 - e_{H, \text{отр}}) \times z_0}{R_{\rho, H}}$$

$z_0 = 135$  - продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по СП 131.13330; Температура в плоскости возможной конденсации для этого периода:

$$t_0 = t_B - \left( \frac{t_B - t_{H, \text{отр}}}{R_{0, \text{усл}}} \right) \times \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_K \right) = 20 - \left( \frac{20 + 4.58}{3.949} \right) \times \left( \frac{1}{8.7} + 3.25 \right) = -0.94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя упругость водяного пара за период с отрицательными среднемесячными температурами (по СП 131.13330 табл. 7.1)

$$e_{H, \text{отр}} = \frac{100 \times (2.8 + 2.9 + 3.9 + 5 + 3.6)}{5} = 364 \text{ Па}$$

$E_0$  - парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления  $z_0$ ;

$$E_0 = 1.84 \times 10^{11} \times \exp \left( \frac{-5330}{273 - 0.94} \right) = 570.74 \text{ Па}$$

$$\eta = \frac{0.0024 \times (570.74 - 364) \times 135}{0.06667} = 1004.70616$$

$$R_{2, \text{птр}} = \frac{0.0024 \times 135 \times (1388.87 - 570.74)}{55 \times 150 \times 10^{-3} \times 3 + 1004.70616} = 0.25749 \frac{\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па}}{\text{Мг}}$$

**Условие выполняется:**  $R_{\text{п}} > R_{2, \text{птр}}$  ( $0.45993 > 0.25749$ )

Конструкция не требует дополнительных мер по защите от переувлажнения.

## Вывод

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

Толщина теплоизоляционного слоя ISOVER Сэндвич 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.

## Где купить

<p>ООО Торговый Дом Стройудача  <b>Адрес:</b> Москва, п. Поляны, Выборгское ш., д.16 Б</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (965) 024-18-65  <b>Вебсайт:</b> <a href="https://stroyudacha.ru/">https://stroyudacha.ru/</a></p>
<p>ООО Спецстрой Р  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул. 6-я Радиальная, д. 28, стр. 9.</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 221-61-40  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.sptr.ru">http://www.sptr.ru</a></p>
<p>АО Изолюкс  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул. Молодогвардейская, д.61</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 287-34-00  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.isolux.ru">http://www.isolux.ru</a></p>
<p>ООО "АСБАУ"  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул.Братиславская, дом 6</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 772-00-11  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.asbau.ru">http://www.asbau.ru</a></p>
<p>ООО "Сатурн Центр"  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул. Молодцова, д.14</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 223-60-00  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.msk.saturn.net">http://www.msk.saturn.net</a></p>
<p>ООО Апельсин  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул. Есенина, д.13</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (491) 224-02-20  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.apelsin.ru">http://www.apelsin.ru</a></p>
<p>ООО Апельсин  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Дмитровский р-н, д. Елизаветино, д. 203А</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (496) 221-96-98  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.apelsin.ru">http://www.apelsin.ru</a></p>
<p>ООО Арма  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Шоссейная ул, дом 1, корпус 2 оф 2</p>	<p><b>Телефон:</b></p>
<p>ООО Атавирос Групп  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Дмитровское ш., д.157 стр9, офис 9365</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 789-22-56  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.murfacade.ru">http://www.murfacade.ru</a></p>
<p>ООО БауфасаД-КО  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул. Дорогобужская, д.14, стр. 41</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 975-72-35  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.baufasad.ru">http://www.baufasad.ru</a></p>
<p>ООО ГК "Веста"  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, ул.Братиславская, д. 6</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 640-96-96  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.vestasnab.ru/">http://www.vestasnab.ru/</a></p>

<p>ООО Торговый Дом Стройудача  <b>Адрес:</b> Москва, п. Поляны, Выборгское ш., д.16 Б</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (965) 024-18-65  <b>Вебсайт:</b> <a href="https://stroyudacha.ru/">https://stroyudacha.ru/</a></p>
<p>ООО РДС Строй  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Хованская промзона, вл. 19</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 258-32-32  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://rdstroy.ru">http://rdstroy.ru</a></p>
<p>ООО РДС Строй  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, 22-й км Киевского шоссе (п. Московский), домовл. 4, стр. 1, подъезд 5. БП "Румянцево", корпус "Б", 5й подъезд, 4й этаж</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 258-32-32  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://rdstroy.ru">http://rdstroy.ru</a></p>
<p>ООО РДС Строй  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, г. Мытищи, Волковское ш., с. 34</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 258-32-32  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://rdstroy.ru">http://rdstroy.ru</a></p>
<p>ООО Строительный Двор  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Краснопресненская наб., д.12</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (345) 253-23-01  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.sdvor.ru">http://www.sdvor.ru</a></p>
<p>ООО Теплокровля  <b>Адрес:</b> Москва, Москва, Красногорский р-н, д. Путилково, Путилковское шоссе, 31</p>	<p><b>Телефон:</b> +7 (495) 669-34-44  <b>Вебсайт:</b> <a href="http://www.teplokrov.ru">http://www.teplokrov.ru</a></p>