



ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

СП 50.13330.2012

"Тепловая защита зданий"

ВИРМАК

Исходные данные

Вид конструкции: Стена - Многослойная

Территория: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург

t _{ext} Расчетная температура наружного воздуха: (обеспеченностью 0,92, СП 131.13330.2012 т.3.1)	-24 °С
t _{ht} Расчетная средняя температура отопительного периода: (со среднесуточной t ≤ 8 °С, СП 131.13330.2012 т.3.1)	-1.3 °С
z _{ht} Продолжительность отопительного периода: (со среднесуточной t ≤ 8 °С, СП 131.13330.2012 т.3.1)	213 сут
Зона влажности:	влажная

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 _{int} - 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 _{ext} - Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности: (по СП 50.13330.2012, т.6)	12
t _{int} - 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	ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СЛОЙ ISOVER Штукатурный Фасад	50	$\lambda = 0.043 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ $\mu = 0.4 \text{ мг / м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$
2	ЦСП	12	$\lambda = 58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$
3	ISOVER Сэндвич Лайф	100	$\lambda = 0.04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ $\mu = 0.3 \text{ мг / м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$
4	ЦСП	12	$\lambda = 58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Градусо-сутки отопительного периода:

(СП 50.13330.2012 ф.5.2)

$$ГСОП = (t_{int} - t_{ht}) \times z_{ht} = (20 + 1.3) \times 213 = 4536.9 \frac{\text{°C} \times \text{сут}}{\text{год}}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче:

(СП 50.13330.2012)

$$R_{0 \text{ норм}} = (a \times ГСОП + b) \times n = (0.00035 \times 4536.9 + 1.4) \times 1 = 2.988 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Расчёт термических сопротивлений

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

Термическое сопротивление:

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

ISOVER Сэндвич Лайф, однородный слой, $\delta=100 \text{ мм}$, $\lambda=0.04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$

Термическое сопротивление:

$$R_2 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{100 \times 10^{-3}}{0.04} = 2.5 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

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

Термическое сопротивление:

$$R_3 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{12 \times 10^{-3}}{58} = 0 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Расчёт ориентировочного термического сопротивления утеплителя

$$R_{ут} = \frac{R_{0 \text{ норм}}}{r} - R_1 - R_2 - R_3 - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} =$$

$$\frac{2.988}{0.8} - 0 - 2.5 - 0 - \frac{1}{8.7} - \frac{1}{12} = 1.037 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Расчёт ориентировочной толщины слоя утеплителя из условия:

$$R_{ут} = \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} = 1.037 \frac{M^2 \times ^\circ C}{BT}$$

где: $\lambda_{ут} = 0.043 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$

$$\delta_{ут} = R_{ут} \times \lambda_{ут} = 1.037 \times 0.043 = 44.59 \text{ мм}$$

С учётом кратности материалов, толщина теплоизоляционного слоя принимается равной $\delta_{утк} = 50 \text{ мм}$. Тогда приведённое сопротивление теплопередачи:

$$R_{пр} = r \times \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} + \frac{\delta_{утк}}{\lambda_{ут}} + R_1 + R_2 + R_3 \right) =$$

$$0.8 \times \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{12} + \frac{50 \times 10^{-3}}{0.043} + 0 + 2.5 + 0 \right) = 3.089 \frac{M^2 \times ^\circ C}{BT}$$

Условие $R_{norm} \leq R_{пр}$ **выполняется** : $2.988 \leq 3.089$.

Санитарно-гигиеническое требование

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

$$\Delta t_n = \frac{n \times (t_{int} - t_{ext})}{R_{утк} \times \alpha_{int}} = \frac{1 \times (20 + 24)}{3.089 \times 8.7} = 1.64^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

где t_p - температура точки росы.

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

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

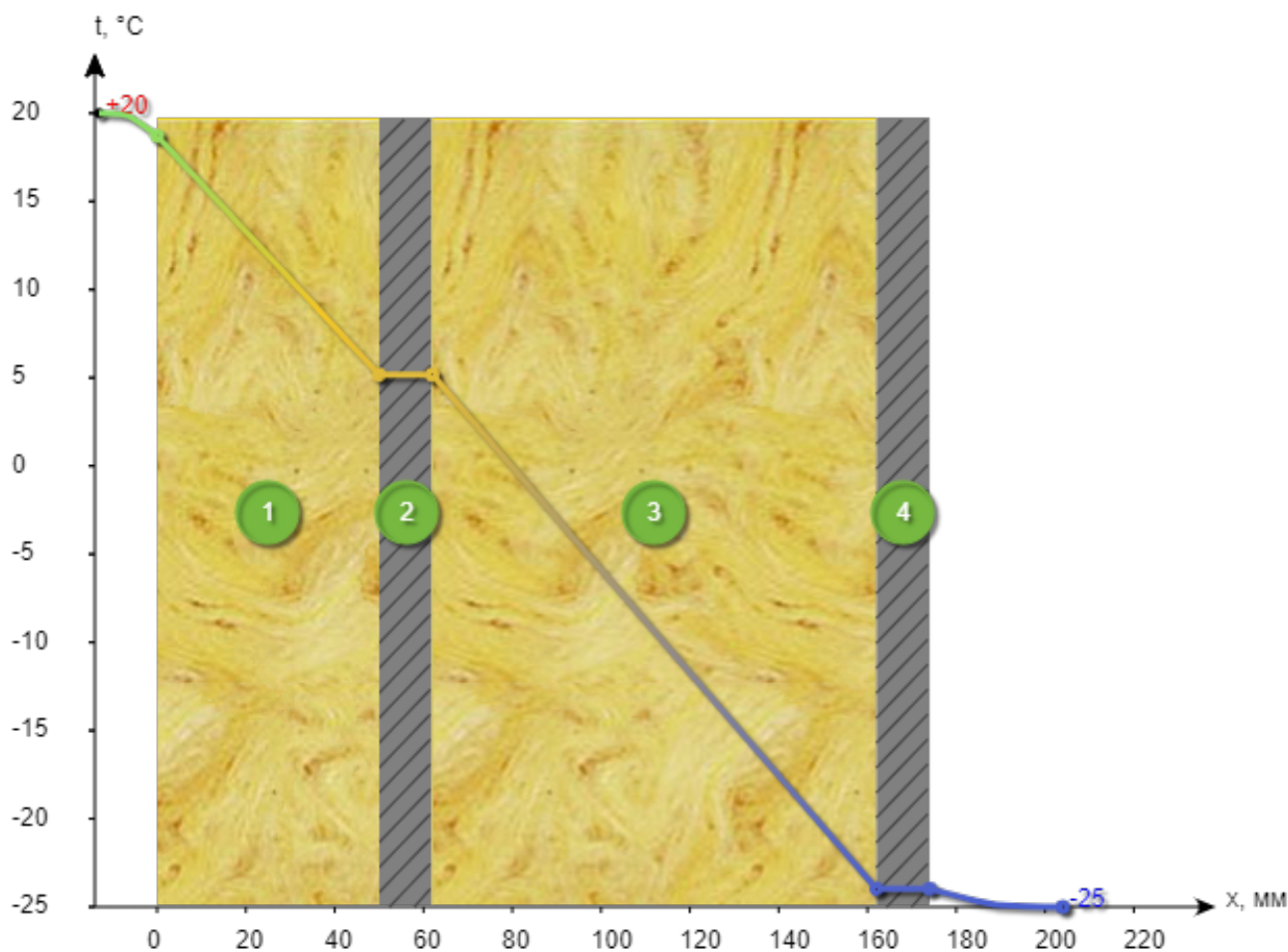
График распределения температур в сечении конструкции

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

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

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

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 - "ISOVER Штукатурный Фасад"

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

$$t_x(0) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(0) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 0.11 \times 0.8}{3.089} = 18.75^\circ\text{C}$$

Точка 3: $t_x(1) = 5.5^\circ\text{C}$ - температура на границе слоёв №1 - "ISOVER Штукатурный Фасад" и №2 - "ЦСП"

$$R_x(1) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^1 R_i = \frac{1}{8.7} + 1.163 = 1.273 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(1) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(1) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 1.273 \times 0.8}{3.089} = 5.5^\circ\text{C}$$

Точка 4: $t_x(2) = 5.5^\circ\text{C}$ - температура на границе слоёв №2 - "ЦСП" и №3 - "ISOVER Сэндвич Лайф"

$$R_x(2) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^2 R_i = \frac{1}{8.7} + 1.163 + 0 = 1.273 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(2) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(2) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 1.273 \times 0.8}{3.089} = 5.5^\circ\text{C}$$

Точка 5: $t_x(3) = -22.99^\circ\text{C}$ - температура на границе слоёв №3 - "ISOVER Сэндвич Лайф" и №4 - "ЦСП"

$$R_x(3) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^3 R_i = \frac{1}{8.7} + 1.163 + 0 + 2.5 = 3.773 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(3) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(3) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 3.773 \times 0.8}{3.089} = -22.99^\circ\text{C}$$

Точка 6: $t_x(4) = -22.99^\circ\text{C}$ - температура на внешней границе слоя №4 - "ЦСП"

$$R_x(4) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^4 R_i = \frac{1}{8.7} = 3.773 \frac{\text{M}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{BT}}$$

$$t_x(4) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(4) \times r}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 3.773 \times 0.8}{3.089} = -22.99^\circ\text{C}$$

Точка 7: $t_{ext} = -24^\circ\text{C}$ - температура окружающей среды

Определение плоскости максимального увлажнения (конденсации)

Методика, базирующаяся на использовании метода безразмерных характеристик.

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

№ слоя	Слой конструкции	$R_{ni} = \delta_i / \mu_i$	μ_i / λ_i
	Внутренняя поверхность ограждения	$R_{int, vp} = 0.0266$	0
1	ISOVER Штукатурный Фасад	$0.05 / 0.4 = 0.125$	$0.4 / 0.043 = 9.302326$
2	ЦСП	0	0
3	ISOVER Сэндвич Лайф	$0.1 / 0.3 = 0.333$	$0.3 / 0.04 = 7.5$
4	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, ($м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$).

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.

$$f_i(t_{м.у.}) = \frac{5330 \times R_{0,п} \times (t_{в} - t_{н,отр}) \times \mu_i}{R_{0,увл} \times (e_{в} - e_{н,отр}) \times \lambda_i}$$

$$R_{0,п} = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.0266 + 0.125 + 0 + 0.333 + 0 + 0.0133 = 0.4979 \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$$

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

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

Для температуры $t_{в} = 20$ °С:

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

$e_{в}$ - 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:

$$e_{н,отр} = \frac{100 \times (3.3 + 3.2 + 3.9 + 4.2)}{4} = 365 \text{ Па}$$

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

$$t_{н,отр} = \frac{(-6.6 - 6.3 - 1.5 - 3.9)}{4} = -4.57 \text{ }^\circ\text{C}$$

μ_i/λ_i - отношение расчетных коэффициентов теплопроводности, Вт/(м² × °C), и паропроницаемости, мг/(м × ч × Па), материала соответствующего слоя, либо 0, если коэффициенты не заданы.

$$f_i(t_{м.у.}) = \frac{5330 \times R_{0,п} \times (t_{в} - t_{н,отр}) \times \mu_i}{R_{0,учел} \times (e_{в} - e_{н,отр}) \times \lambda_i} = \frac{5330 \times 0.4979 \times (20 + 4.57) \times \mu_i}{3.861 \times (1388.87 - 365) \times \lambda_i} = 16.49 \times \left(\frac{\mu_i}{\lambda_i} \right)$$

$$f_1(t_{м.у.}) = 16.49 \times 9.302326 = 153.4$$

$$f_2(t_{м.у.}) = 16.49 \times 0 = 0$$

$$f_3(t_{м.у.}) = 16.49 \times 7.5 = 123.67$$

$$f_4(t_{м.у.}) = 16.49 \times 0 = 0$$

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

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

$$a = 96.6680675349$$

$$b = 4.89349504771$$

$$c = -66.4983819958$$

$$d = 0.406903783624$$

$$t_{m.y.1} = \frac{(a \times b + c \times 153.4^d)}{(b + 153.4^d)} = -3.358$$

$$t_{m.y.2} = \frac{(a \times b + c \times 0^d)}{(b + 0^d)} = 96.668$$

$$t_{m.y.3} = \frac{(a \times b + c \times 123.67^d)}{(b + 123.67^d)} = 0.067$$

$$t_{m.y.4} = \frac{(a \times b + c \times 0^d)}{(b + 0^d)} = 96.668$$

Расчёт температур на границах слоёв

$$T_{cpk} = t_B - \left(\frac{t_B - t_{H,отр}}{R_{D,учел}} \right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^k R_i \right)$$

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

$$T_{cp0} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} \right) = 19.27^\circ\text{C}$$

$$T_{cp1} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 1.1628 \right) = 11.87^\circ\text{C}$$

$$T_{cp2} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 1.1628 + 0 \right) = 11.87^\circ\text{C}$$

$$T_{cp3} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 1.1628 + 0 + 2.5 \right) = -4.04^\circ\text{C}$$

$$T_{cp4} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 1.1628 + 0 + 2.5 + 0 \right) = -4.04^\circ\text{C}$$

Сводная таблица $t_{m.y.}$ и T_{cpk}

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

№ слоя	Слой конструкции	$T_{cpk}, ^\circ\text{C}$	$t_{m.y.}, ^\circ\text{C}$
0	ISOVER Штукатурный Фасад	19.27	-3.358
1		11.87	

№ слоя	Слой конструкции	$T_{ср k}, °C$	$t_{м.у.}, °C$
1	ЦСП	11.87	96.668
2		11.87	
2	ISOVER Сэндвич Лайф	11.87	0.067
3		-4.04	
3	ЦСП	-4.04	96.668
4		-4.04	

Определение плоскости максимального увлажнения

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

- №3. ISOVER Сэндвич Лайф.

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

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

$$q = \frac{(t_B - t_{н,отр})}{R_{0,уел}} = \frac{(20 + 4.57)}{3.861} = 6.364 \frac{Вт}{м^2}$$

$$x_{м.у.3} = 0.04 \times \left(\frac{(20 - 0.067)}{6.364} - \left(\frac{1}{8.7} \right) \right) = 74 \text{ мм}$$

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

$Z_{зима}$, $Z_{весна-осень}$, $Z_{лето}$ - 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	$Z_{зима}$	$Z_{весна-осень}$	$Z_{лето}$
количество месяцев	2	4	6

Z	Z зима	Z весна-осень	Z лето
$\sum t, ^\circ\text{C}$ суммарная температура	$-6.6-6.3 = -12.9$	$-1.5+4.5+0.2-3.9 = 0.7$	$+10.9+15.7+18.3+16.7+11.4+5.7 = 78.7$
$t_{\text{ср.з}}, ^\circ\text{C}$ среднее арифметическое	-6.45	-0.17	13.12

Для всех вероятных зон конденсации проводится расчёт.

Расчёт для плоскости, расположенной внутри слоя №3 ISOVER Сэндвич Лайф.

Z	Z зима	Z весна-осень	Z лето
$T_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$ температура в зоне конденсации	-1.43	3.66	14.43
$E_{\text{к}}, \text{Па}$ парциальное давление насыщенного водяного пара	550.92	790.51	1627.1

Температура в зоне конденсации:

$$T_{\text{к}} = t_{\text{в}} - \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.з}}}{R_{\text{д.усл}}} \right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_{\text{к}} \right)$$

где: $R_{\text{к}}$ - сопротивление теплопередаче на участке от внутренней поверхности до плоскости конденсации.

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

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

$$R_{\text{к}} = 1.1628 + \frac{2.5 \times 74}{100} = 3.013 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Зима

$$T_{\text{к,зима}} = 20 - \left(\frac{20 + 6.45}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.013 \right) = -1.43^\circ\text{C}$$

$$E_{\text{к,зима}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 - 1.43}\right) = 550.92 \text{ Па}$$

Осень-весна

$$T_{\text{к,осень-весна}} = 20 - \left(\frac{20 + 0.17}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.013 \right) = 3.66^\circ\text{C}$$

$$E_{k, \text{осень-весна}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 3.66}\right) = 790.51 \text{ Па}$$

Лето

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

$$T_{k, \text{лето}} = 20 - \left(\frac{20 - 13.12}{3.861}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.013\right) = 14.43^\circ\text{C}$$

$$T_{k, \text{лето}} = \max\left(T_k, t_{\text{ср.з}}\right) = 14.43^\circ\text{C}$$

$$E_{k, \text{лето}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 14.43}\right) = 1627.1 \text{ Па}$$

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

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

$$E = \frac{550.92 \times 2 + 790.51 \times 4 + 1627.1 \times 6}{12} = 1168.87 \text{ Па}$$

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

$$R_n = R_{\text{int, vp}} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} =$$

$$0.0266 + \frac{50 \times 10^{-3}}{0.4} + \frac{74 \times 10^{-3}}{0.3} = 0.39827 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

Данное значение должно быть больше каждого из следующих двух значений:

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

$$R_{1, \text{нтр}} = \left(e_v - E\right) \times \left(\frac{R_{n, \text{н}}}{E - e_n}\right)$$

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

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

$$e_n = \left(\frac{100}{12}\right) \times (3.3 + 3.2 + 3.9 + 5.7 + 8 + 11.8 + 14.6 + 14.3 + 10.9 + 7.6 + 5.5 + 4.2) = 775 \text{ Па}$$

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

$$e_v = \left(\frac{\phi_v}{100} \right) \times E_v = \left(\frac{60}{100} \right) \times 2314.79 = 1388.87 \text{ Па}$$

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

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

$$R_{п,н} = R_{ext,вр} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.0133 + \frac{(100 - 74) \times 10^{-3}}{0.3} = 0.08667 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$R_{1,п\text{тп}} = (1388.87 - 1168.87) \times \left(\frac{0.08667}{1168.87 - 775} \right) = 0.04841$$

Условие выполняется: $R_{п} > R_{1,п\text{тп}}$ ($0.39827 > 0.04841$)

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

$$R_{2,п\text{тп}} = \frac{0.0024 \times z_0 \times (e_v - E_0)}{\rho_w \times \delta_w \times \Delta w + \eta}$$

δ_w - толщина слоя ISOVER Сэндвич Лайф, в котором находится плоскость конденсации,
 Δw - соответственно, предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале данного слоя.

$$\eta = \frac{0.0024 \times (E_0 - e_{н,отр}) \times z_0}{R_{п,н}}$$

$z_0 = 131$ - 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:

$$t_0 = t_v - \left(\frac{t_v - t_{н,отр}}{R_{0\text{усл}}} \right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + R_k \right) = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.861} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.013 \right) = 0.09^\circ\text{C}$$

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

$$e_{н,отр} = \frac{100 \times (3.3 + 3.2 + 3.9 + 4.2)}{4} = 365 \text{ Па}$$

E_0 - парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального

увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_0 ;

$$E_0 = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 0.09}\right) = 614.51 \text{ Па}$$

$$\eta = \frac{0.0024 \times (614.51 - 365) \times 131}{0.08667} = 905.1107$$

$$R_{2,птр} = \frac{0.0024 \times 131 \times (1388.87 - 614.51)}{55 \times 100 \times 10^{-3} \times 3 + 905.1107} = 0.26417 \frac{\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па}}{\text{мг}}$$

Условие выполняется: $R_n > R_{2,птр}$ ($0.39827 > 0.26417$)

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 Штукатурный Фасад равна 50 мм.

Толщина теплоизоляционного слоя ISOVER Сэндвич Лайф равна 100 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

ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138	Телефон: +7 (812) 318-30-71
ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Александровской фермы, д. 29 корп. Е.Г.32	Телефон: +7 (812) 331-68-48
ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Боровая, д. 40	Телефон: +7 (812) 318-33-58
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Касимовская, д. 3	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 17 А	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Краснопутиловская, д. 31	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Лахтинский пр., д. 139	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Хрулева, д.12	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Индустриальный, д. 71	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
ЗАО "ТехноНИКОЛЬ - Север" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, д. 76М	Телефон: +7 (812) 320-77-77
ЗАО "ТехноНИКОЛЬ - Север" Адрес: Санкт-Петербург,	Телефон: +7 (812) 320-78-37

<p>ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138</p>	<p>Телефон: +7 (812) 318-30-71</p>
<p>Санкт-Петербург, Выборгское шоссе д. 389</p>	
<p>ООО "АВК" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Вербная, д. 27, литера А, офис №724-А (БЦ «Лайнер»)</p>	<p>Телефон: +7 (812) 244-50-95</p>
<p>ООО "ПСМ" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д.27, б/ц "Энгельс- Центр", офис № 8</p>	<p>Телефон: +7 (812) 309-11-83</p>
<p>ООО "РСТ" (Мир теплоизоляции) Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Обуховской обороны пр., д. 120, корпус Б, оф 705</p>	<p>Телефон: +7 (812) 642-08-37 Вебсайт: http://mirvat.ru</p>
<p>ООО "Славдом" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Аптекарская набережная д. 12, Б/Ц «Кантемировский»</p>	<p>Телефон: +7 (812) 337-51-51 Вебсайт: http://www.slav-dom.ru/</p>
<p>ООО "Славдом" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Пискаревский пр., д.150, корп.2, литера Н</p>	<p>Телефон: +7 (812) 337-51-51 Вебсайт: http://www.slav-dom.ru/</p>
<p>ООО "Снабстрой" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Якорная, д. 8</p>	<p>Телефон: +7 (812) 622-23-73</p>
<p>ООО "СП Амарант" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Хрустальная, д.11</p>	<p>Телефон: +7 (812) 329-23-33 Вебсайт: http://nevskaja.ru/catalog/teploizolyatsiya/uteplitel_isover/</p>
<p>ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Салова, д. 46</p>	<p>Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/</p>
<p>ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург,</p>	<p>Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/</p>

ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138	Телефон: +7 (812) 318-30-71
Санкт-Петербург, ул. Планерная, д. 15	
ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Индустриальный пр.	Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/
ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д 304	Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/
ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д.157 А	Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/
ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Таллинское шоссе, д. 304	Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/
ООО "СТД Петрович" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Мурманское шоссе 12-13 км	Телефон: +7 (812) 334-88-88 Вебсайт: http://petrovich.ru/
ООО "СТМ" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, проспект Непокоренных, д.17 корпус 4	Телефон: +7 (981) 128-82-30
ООО "Строительный Торговый Дом СКС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Полевая-Сабировская, д.46	Телефон: +7 (812) 331-09-22 Вебсайт: http://www.sks.spb.ru/
ООО "Строительный Торговый Дом СКС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Гагарина, д.2, корп.8	Телефон: +7 (812) 740-17-17 Вебсайт: http://www.sks.spb.ru/
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Большевииков, д.11\2	Телефон: +7 (812) 244-95-44
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург,	Телефон: +7 (812) 244-95-20

ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138	Телефон: +7 (812) 318-30-71
Санкт-Петербург, ул. Якорная, д.6	
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Дибуновская, д. 50	Телефон: +7 (812) 244-95-50
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Коломяжский пр., 15/1	Телефон: +7 (812) 244-95-15
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Кузнецовская, д. 10	Телефон: +7 (812) 244-95-25
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр.Славы, д. 51	Телефон: +7 (812) 244-95-05
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Северный, д.14	Телефон: +7 (812) 244-95-35
ООО "ТОП ХАУС" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Ленинский, д.104	Телефон: +7 (812) 244-95-30
ООО "ТПК КВАЗАР" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Митрофаньевское шоссе, д. 17	Телефон: +7 (812) 436-30-82 Вебсайт: http://kvazarcomp.ru/
ООО «Элкор» Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, д.27, б/ц "Энгельс- Центр", офис № 8	Телефон: +7 (812) 309-11-83 Вебсайт: http://el-cor.ru/
ООО Торговый Дом "СВ- строй" Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Шафировский проспект, дом 17, литер О	Телефон: +7 (812) 327-91-72

ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138	Телефон: +7 (812) 318-30-71
ООО Торговый Дом Стройудача Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Аннинское шоссе, д.1 корп.3	Телефон: +7 (901) 971-01-65 Вебсайт: https://stroyudacha.ru/
ТОП ХАУС Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, г. Санкт- Петербург, ул.Кузнецовская, д.10	Телефон: +7 (812) 244-95-25 Вебсайт: https://www.tophouse.ru/products/utepliteli/steklovata/?filter_vendors%5B%5D=115&filter_price_from=&filter_price_to=
Торговый дом МАТЕРИК Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, наб. Смоленки, д. 31	Телефон: +7 (812) 318-31-81 Вебсайт: https://www.materik-m.ru/shop/Isover/
Торговый дом МАТЕРИК Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Калинина, д. 39	Телефон: +7 (812) 318-31-81 Вебсайт: https://www.materik-m.ru/shop/Isover/
Торговый дом МАТЕРИК Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Якорная, д. 16 Б	Телефон: +7 (812) 318-31-81 Вебсайт: https://www.materik-m.ru/shop/Isover/
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, дер. Иваново	Телефон: +7 (921) 438-63-98 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, пос. Большие Колпаны	Телефон: +7 (901) 302-67-07 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, 9-й км. Новоприозерского ш., поворот на КП «Медовое» и АЗС Neste	Телефон: +7 (812) 925-41-51 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Выборгское ш., д. 473	Телефон: +7 (911) 724-65-59 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург,	Телефон: +7 (911) 973-24-25 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru

ГК Металл Профиль Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 138	Телефон: +7 (812) 318-30-71
Санкт-Петербург, Московское ш., д. 118	
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Таллинское шоссе, Старо- Паново, д. 85	Телефон: +7 (911) 838-28-45 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
ЗАО "САТУРН" Адрес: Санкт-Петербург, Петергоф, Санкт- Петербургский пр., д. 60	Телефон: +7 (812) 322-22-66 Вебсайт: https://saturn.net
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Ломоносов, ул. Первомайская, д. 2/71 лит. А	Телефон: +7 (812) 948-61-11 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
ООО Торговый Дом Стройудача Адрес: Санкт-Петербург, Красное Село, Пушкинское шоссе, д.1 корп.2	Телефон: +7 (800) 550-88-66 Вебсайт: https://stroyudacha.ru/
Удачная Покупка Адрес: Санкт-Петербург, Красное Село, ул. Семеновская, д.13	Телефон: +7 (921) 426-58-02 Вебсайт: http://upokupka-spb.ru
ООО Торговый Дом Стройудача Адрес: Санкт-Петербург, п. Александровская, Волхонское шоссе, д.81/1	Телефон: +7 (812) 600-88-66 Вебсайт: https://stroyudacha.ru/