



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	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)

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{int}} - t_{\text{nt}}) \times z_{\text{nt}} = (20 + 1.3) \times 213 = 4536.9 \frac{^\circ\text{C}\cdot\text{сут}}{\text{год}}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче:

(СП 50.13330.2012)

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

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

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

$$\frac{2.988}{0.8} - 0 - 0 - \frac{1}{8.7} - \frac{1}{12} = 3.537 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Расчёт ориентировочной толщины слоя утеплителя из условия:

$$R_{\text{ут}} = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = 3.537 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

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

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \times \lambda_{\text{ут}} = 3.537 \times 0.04 = 141.48 \text{ мм}$$

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** : $2.988 \leq 3.159$.

Санитарно-гигиеническое требование

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

$$\Delta t_n = \frac{n \times (t_{int} - t_{ext})}{R_{утк} \times \alpha_{int}} = \frac{1 \times (20 + 24)}{3.159 \times 8.7} = 1.6^\circ C$$

Условие $\Delta t_n \geq \Delta t_n$ **выполняется** : $4 \geq 1.6$

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

$$T_v = t_{int} - \Delta t_n = 20 - 1.6 = 18.4^\circ C$$

Условие $T_v \geq t_p$ **выполняется** : $18.4 \geq 12$

где t_p - температура точки росы.

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

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

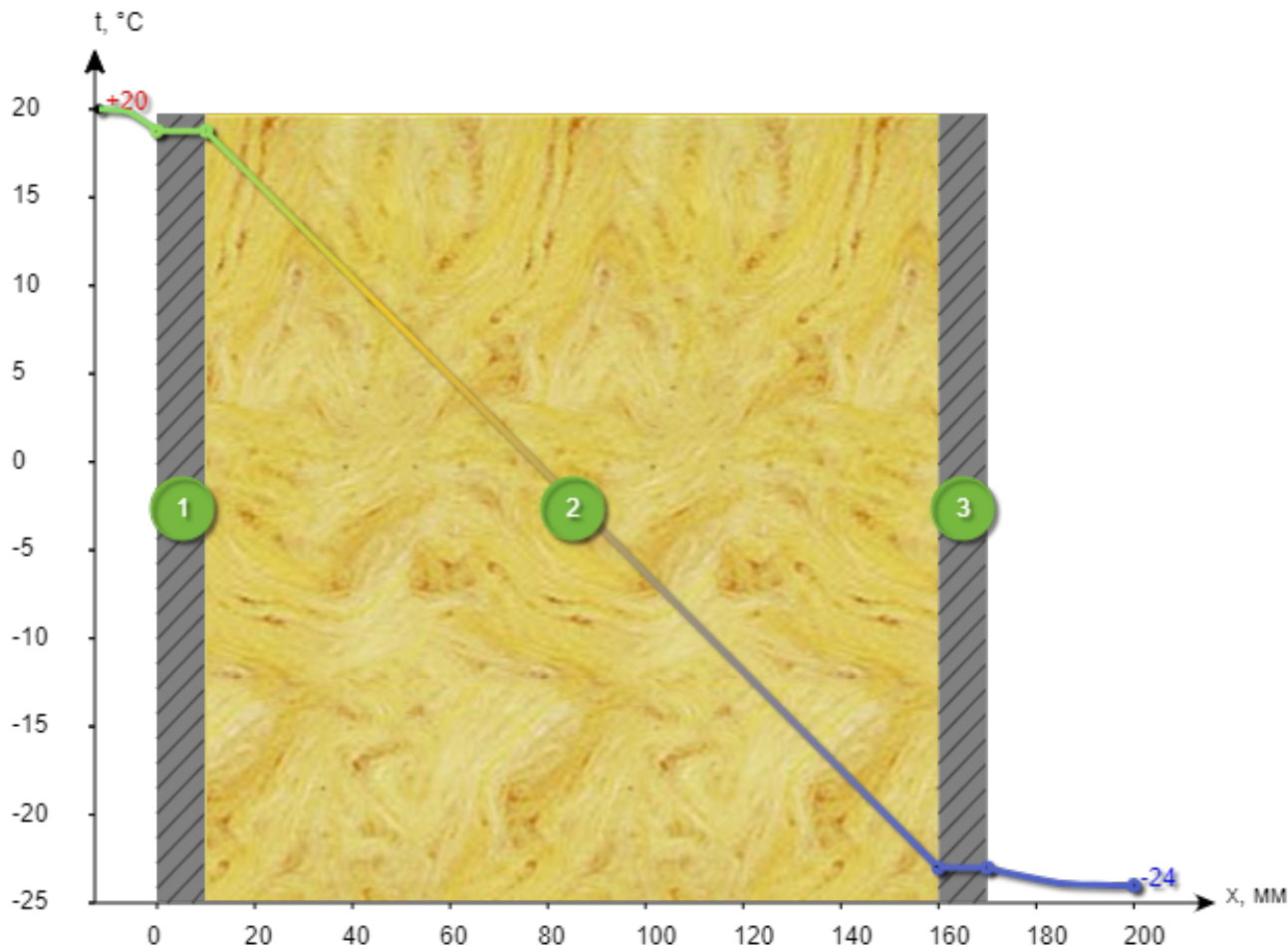
График распределения температур в сечении конструкции

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: $t_x(0) = 18.77^\circ\text{C}$ - температура на внутренней границе слоя №1 - "ЦСП"

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

$$t_x(0) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(0) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 - (-24)) \times 0.11 \times 0.8}{3.159} = 18.77^\circ\text{C}$$

Точка 3: $t_x(1) = 18.77^\circ\text{C}$ - температура на границе слоёв №1 - "ЦСП" и №2 - "ISOVER Сэндвич Лайф"

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

$$t_x(1) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(1) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 0.11 \times 0.8}{3.159} = 18.77^\circ\text{C}$$

Точка 4: $t_x(2) = -23.01^\circ\text{C}$ - температура на границе слоёв №2 - "ISOVER Сэндвич Лайф" и №3 - "ЦСП"

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

$$t_x(2) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(2) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 3.86 \times 0.8}{3.159} = -23.01^\circ\text{C}$$

Точка 5: $t_x(3) = -23.01^\circ\text{C}$ - температура на внешней границе слоя №3 - "ЦСП"

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

$$t_x(3) = t_{int} - \frac{(t_{int} - t_{ext}) \times R_x(3) \times \gamma}{R_{np}} = 20 - \frac{(20 + 24) \times 3.86 \times 0.8}{3.159} = -23.01^\circ\text{C}$$

Точка 6: $t_{ext} = -24^\circ\text{C}$ - температура окружающей среды

Определение плоскости максимального увлажнения (конденсации)

Методика, базирующаяся на использовании метода безразмерных характеристик.

Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{m.y.})$, 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	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, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$).

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	$R_{ni} = \delta_i / \mu_i$	μ_i / λ_i
наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются в расчете.			

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

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

$E_{в}$ - 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:

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

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

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

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.

$$f_i(t_{m.y.}) = \frac{5330 \times R_{0,n} \times (t_{в} - t_{н,отр}) \times \mu_i}{R_{0,всн} \times (e_{в} - e_{н,отр}) \times \lambda_i} = \frac{5330 \times 0.5399 \times (20 + 4.57) \times \mu_i}{3.949 \times (1388.87 - 365) \times \lambda_i} = 17.49 \times \left(\frac{\mu_i}{\lambda_i}\right)$$

$$f_1(t_{m.y.}) = 17.49 \times 0 = 0$$

$$f_2(t_{m.y.}) = 17.49 \times 7.5 = 131.17$$

$$f_3(t_{m.y.}) = 17.49 \times 0 = 0$$

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

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

$$a = 96.6680675349$$

$$b = 4.89349504771$$

$$c = -66.4983819958$$

$$d = 0.406903783624$$

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

$$t_{m.y.2} = \frac{(a \times b + c \times 131.17^d)}{(b + 131.17^d)} = -0.875$$

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

Расчёт температур на границах слоёв

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

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

$$T_{ср0} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.949} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} \right) = 19.28^\circ\text{C}$$

$$T_{cp1} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.949} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 0 \right) = 19.28^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cp2} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.949} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 0 + 3.75 \right) = -4.05^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cp3} = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.949} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 0 + 3.75 + 0 \right) = -4.05^{\circ}\text{C}$$

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	-0.875
2		-4.05	
2	ЦСП	-4.05	96.668
3		-4.05	

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:

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

$$q = \frac{(t_B - t_{н,отр})}{R_{0,вен}} = \frac{(20 + 4.57)}{3.949} = 6.222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$x_{м.у.з} = 0.04 \times \left(\frac{(20 + 0.875)}{6.222} - \left(\frac{1}{8.7} \right) \right) = 130 \text{ мм}$$

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
$\sum t, ^\circ\text{C}$ 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
$t_{ср.з}, ^\circ\text{C}$ среднее арифметическое	-6.45	-0.17	13.12

Для всех вероятных зон конденсации проводится расчёт.

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

Z	Z _{зима}	Z _{весна-осень}	Z _{лето}
$T_k, ^\circ\text{C}$ температура в зоне конденсации	-2.54	2.81	14.14
$E_k, \text{Па}$ парциальное давление насыщенного водяного пара	508.28	744.94	1596.91

Температура в зоне конденсации:

$$T_k = t_v - \left(\frac{t_v - t_{ср.з}}{R_{0\text{всн}}} \right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_k \right)$$

где: R_к - сопротивление теплопередаче на участке от внутренней поверхности до плоскости конденсации.

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

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

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

Зима

$$T_{k, \text{зима}} = 20 - \left(\frac{20 + 6.45}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = -2.54 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{зима}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 - 2.54}\right) = 508.28 \text{ Па}$$

Осень-весна

$$T_{k, \text{осень-весна}} = 20 - \left(\frac{20 + 0.17}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = 2.81 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{осень-весна}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 2.81}\right) = 744.94 \text{ Па}$$

Лето

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

$$T_{k, \text{лето}} = 20 - \left(\frac{20 - 13.12}{3.949}\right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25\right) = 14.14 \text{ °C}$$

$$T_{k, \text{лето}} = \max\left(T_k, t_{\text{ср.з}}\right) = 14.14 \text{ °C}$$

$$E_{k, \text{лето}} = 1.84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{273 + 14.14}\right) = 1596.91 \text{ Па}$$

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

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

$$E = \frac{508.28 \times 2 + 744.94 \times 4 + 1596.91 \times 6}{12} = 1131.48 \text{ Па}$$

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:

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

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):

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

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

$e_{\text{в}}$ - 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:

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

$$R_{1, \text{птр}} = (1388.87 - 1131.48) \times \left(\frac{0.06667}{1131.48 - 775} \right) = 0.04814$$

Условие выполняется: $R_n > R_{1, \text{птр}}$ ($0.45993 > 0.04814$)

- 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:

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

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:

$$t_0 = t_{в} - \left(\frac{t_{в} - t_{н,отр}}{R_{0,усл}} \right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + R_k \right) = 20 - \left(\frac{20 + 4.57}{3.949} \right) \times \left(\frac{1}{8.7} + 3.25 \right) = -0.94^{\circ}\text{C}$$

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 ;

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

$$\eta = \frac{0.0024 \times (570.74 - 365) \times 131}{0.06667} = 970.22133$$

$$R_{2,п,тр} = \frac{0.0024 \times 131 \times (1388.87 - 570.74)}{55 \times 150 \times 10^{-3} \times 3 + 970.22133} = 0.25852 \frac{\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па}}{\text{мг}}$$

Условие выполняется: $R_n > R_{2,п,тр}$ ($0.45993 > 0.25852$)

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

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. Большевикова, 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

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