

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе ЮУрГУ

д.т.н., проф. Дьяконов А.А.

« 10 » декабря 2018 г.

Отчет о научно-технической работе по НИР № 2018540 от 28.11.2018  
Наименование темы: теплотехнический расчет ограждающей конструкции бани

Руководитель НИР \_\_\_\_\_

к.т.н., доц.

каф. «Строительные материалы и изделия» Зимич В.В.

« 10 » декабря 2018 г.

Челябинск  
2018

# 1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Исходные данные для расчета:

Проектируемый объект: баня с повышенной температурой внутри помещения +130°C.

Состав конструкции:

- 1) оцилиндрованный брус, древесина сосна, толщина слоя 200 мм;
- 2) теплоизоляционный фольгированный материал на основе лавсана Globex (НПП-К-ЛФ), толщина слоя 10 мм;
- 3) воздушная прослойка;
- 4) вагонка, древесина липа, толщина слоя 10 мм.

Необходимо:

## 1) РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

– определить нормируемое сопротивление теплопередаче  $R_{reg}$ ;

– определить сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0^{факт}$ ;

– проверить выполнение условия  $R_0^{факт} \geq R_{reg}$ ;

## 2) ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

– рассчитать требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{n1}^{mp}$  из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации;

– рассчитать требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{n2}^{mp}$  из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха;

– определить сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции  $R_{vp}$ ;

– проверить выполнение условий  $R_{n,n} \geq R_{n1}^{mp}$ ,  $R_{n,n} \geq R_{n2}^{mp}$ .

## Расчет

### 1. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

1.1. Определение нормируемого сопротивления теплопередачи конструкции (наружной стены)

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле:

$$R_0^{норм} = \frac{(t_B - t_H)}{\Delta t^H \alpha_B}, \quad (1.1)$$

Тогда:  $\Delta t_H = 12$  °С ;

$\alpha_B = 8.7$  Вт/(м·°С)

$t_H = -34$  °С для населенного пункта – Челябинск

$t_B = 130$  °С

$$R_0^{норм} = (130 + 34) / (12 * 8,7) = 1.57 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$$

Параметры внутренней среды:

– г. Челябинск относится к 3 зоне влажности – сухой влажности;

- влажностный режим помещения – мокрый;
- режим эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

1.2. Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции  
Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции  $R_0$ , определяется по формуле:

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (1.2)$$

где  $R_{si}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/ (м<sup>2</sup>·°С), определяется по формуле ниже;  $R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяется по формуле ниже;  $R_{se}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/ (м<sup>2</sup>·°С), определяется по формуле ниже.

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_{int}} \quad (1.3)$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, для стен  $\alpha_e = 8,7$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Тогда  $R_{si} = 1/8,7 = 0,115$  м<sup>2</sup>·°С /Вт

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (1.4)$$

где  $\alpha_{ext}$  – коэффициент теплопередачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\alpha_{ext} = 23$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Тогда  $R_{se} = 1/23 = 0,043$  м<sup>2</sup>·°С /Вт

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{al}, \quad (1.5)$$

где  $R_1, R_2, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°С /Вт, определяется по формуле ниже;  $R_{al}$  – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, м<sup>2</sup>·°С /Вт,  $R_{al} = 0,15$  м<sup>2</sup>·°С /Вт

$$R_{1,2,n} = \frac{\delta}{\lambda} \quad (1.6)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопередачи материала, Вт/м·°С

Изобразим стену проектируемого здания схематично на рис. 2.1, и послойно опишем состав конструкции с указанием всех размеров в табл. 2.1.

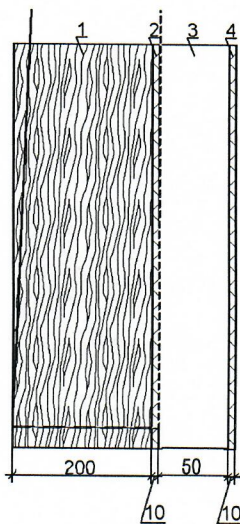


Рис. 1.1. Вид стены с указанием размеров каждого слоя

Таблица 1.1

## Состав ограждающей конструкции

№	Материал	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м*°С
1	Оцилиндрованный брус (древесина сосна)	0,2	0,18
2	НПП-К-ЛФ	0,01	0,048
3	Воздушная прослойка	0,05	0,18
4	Вагонка (липа)	10	0,15

Таким образом,  $R_0$  будем считать по следующей формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{ext}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + R_{al} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (1.7)$$

$$R_0 = 1/8.7 + 0.2/0.18 + 0.01/0.048 + 0.05/0.18 + 0.01/0.15 + 1/23 = 2,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

А фактическое сопротивление по формуле:

$$R_0^{факт} = R_0 \cdot r, \quad (1.8)$$

где  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности для древесины,  $r = 0,92$ .

Тогда:  $R_0^{факт} = 1,69 \cdot 0,92 = 1,93 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Условие:  $R_0^{факт} > R_0^{норм}$  ( $1,93 > 1,57$ ) выполняется.

**Величина приведённого сопротивления теплопередаче  $R_0^{факт}$  больше требуемого  $R_0^{норм}$ , следовательно, представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.**

## 2. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА

Состав стены изображен на рис. 1.1. Свойства слоев стены дополнены и представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Состав и свойства ограждающей конструкции

№	Материал	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м*°С	$\mu$
1	Оцилиндрованный брус (древесина сосна)	0,2	0,18	0,06
2	НПП-К-ЛФ	0,01	0,048	0
3	Воздушная прослойка	0,05	0,18 $R_{в.п} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	0
4	Вагонка (липа)	10	0,15	0,3

Для определения плоскости возможной конденсации определим для каждого слоя значение комплекса  $f_i(t_{м.у.})$  по формуле

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 \cdot R_{o.n.} \cdot (t_в - t_{н.отп}) \cdot \mu_i / R_0^{учл} / (e_в - e_{н.отп}) / \lambda_i \quad (2.1)$$

где  $R_{o.n.}$  – общее сопротивление паропроницаемости ограждающей конструкции  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ , определяется по формуле

$$R_{o.n.} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} \quad (2.2)$$

$$R_{o.n.} = 0.2/0.06 + 0.01/0.3 = 3.37 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

$R_0^{усл}$  – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$

$$R_0^{усл} = 2.07 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$$

$t_{н.отр}$  – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами,  $^\circ C$

$$t_{н.отр} = -11.3^\circ C$$

$t_e$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ C$

$$t_e = 130^\circ C$$

$e_e$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па

$$e_e = \left(\frac{\varphi_e}{100}\right) \cdot E \quad (2.3)$$

$E$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_e$ : при  $t_e = 130^\circ C$ :

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+130)) = 331836 \text{ Па}$$

$$e_e = (100/100) \cdot 331836 = 331836 \text{ Па}$$

$e_{н.отр}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па.

$$e_{н.отр} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-11.3))) = 263 \text{ Па для температуры } t_{н.отр} = -11.3^\circ C$$

$\lambda_i$  и  $\mu_i$  – расчетные коэффициенты теплопроводности,  $Вт/(м^2) \cdot ^\circ C$  и паропроницаемости  $мг/(м \cdot ч \cdot Па)$ .

Для каждого значения  $f_i(t_{м.у.})$  определим значение  $t_{м.у.}$  и температуру на границе слоев  $t_n$  и  $t_k$  (таблица 2.2).

Таблица 2.2

Температура на границе слоев ограждающей конструкции

№	Материал	$f_i(t_{м.у.})$	$t_{м.у.}$	$t_n$	$t_k$
1	Оцилиндрованный брус (древесина сосна)	1.2	0.5	-8.3	67.5
2	НПП-К-ЛФ	0	0	67.5	93.7
3	Воздушная прослойка	0	0	93.7	117.7
4	Вагонка (липа)	7.4	3.2	117.7	122.2

Плоскость максимального увлажнения находится в слое №1.

Определим координаты плоскости максимального увлажнения  $x_{м.у.}$ :

$$x_{м.у.} = (67.5 - (0.5)) / ((67.5 - (-8.3)) \cdot 0.2) = 0.177 \text{ м}$$

Определим паропроницаемость  $R_n$ ,  $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ , ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации):

$$R_n = 0.01 / 0.3 + 0.177 / 0.06 = 2.98 \text{ м}^2 \cdot ч \cdot Па / мг$$

Сопротивление паропроницанию  $R_n$ ,  $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ , должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропроницанию, приведенных ниже:

$$R_{n1}^{мп} = \frac{(e_e - E) \cdot R_{n,n}}{(E - e_{нт})} \quad (2.4)$$

$$R_{n2}^{мп} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_e - E_0)}{p_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta} \quad (2.5)$$

где  $e_e$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха

$$e_g = \left(\frac{\varphi_g}{100}\right) \cdot E_g \quad (2.6)$$

$E_g$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_g$ :  
при  $t_g = 130^\circ\text{C}$

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+130)) = 331836 \text{ Па}$$

$$\text{Тогда } e_g = (100/100) \cdot 331836 = 331836 \text{ Па}$$

$E$  – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле:

$$E = \frac{(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3)}{12} \quad (2.7)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре  $t_i$ , в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $z_1, z_2, z_3$ , – продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий: а)  $z_1$  – зимний период, месяцы со средней температурой наружного воздуха  $< -5^\circ\text{C}$ ; б)  $z_2$  – весенне-осенний период, месяцы со средней температурой наружного воздуха от  $-5^\circ\text{C}$  до  $5^\circ\text{C}$ ; в)  $z_3$  – летний период, месяцы со средней температурой наружного воздуха  $> 5^\circ\text{C}$ .

Для определения  $t_i$  определим  $\Sigma R$ -термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации:

$$\Sigma R = 0.177/0.18 + 0.01/0.048 + 0.05/0.19 + 0.01/0.15 + 1/8.7 = 1.9 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$$

Установим для периодов их продолжительность  $z_i$ , сут, среднюю температуру  $t_i$ ,  $^\circ\text{C}$ , и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации  $t_{ig}$ ,  $^\circ\text{C}$ , для климатических условий населенного пункта Челябинск:

$z_1$  (зима – январь, февраль, март, ноябрь, декабрь) = 5мес;

$z_2$  (весна-осень – апрель, октябрь) = 2мес;

$z_3$  (лето – май, июнь, июль, август, сентябрь) = 5мес;

Тогда:

$$t_0 = \frac{\Sigma t_{\text{месяцев с отрицательной температурой}}}{\text{количество месяцев}} \quad (2.8)$$

$$\tau_0 = t_{ig} - \frac{(t_g - t_0) \cdot (R_{si} + \Sigma R)}{R_0} \quad (2.9)$$

Для периода  $z_1$ :

$$t_1 = [(-15.8) + (-14.3) + (-7.4) + (-6.2) + (-12.9)]/5 = -11.3^\circ\text{C}$$

$$\tau_1 = 130 - (130 - (-11.3)) \cdot 1.9/2.07 = 0.3^\circ\text{C}$$

Для периода  $z_2$ :

$$t_2 = [(3.9) + (2.4)]/2 = 3.2^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = 130 - (130 - (3.2)) \cdot 1.9/2.07 = 13.6^\circ\text{C}$$

Для периода  $z_3$ :

$$t_3 = [(11.9) + (16.8) + (18.4) + (16.2) + (10.7)]/5 = 14.8^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = 130 - (130 - (14.8)) \cdot 1.9/2.07 = 24.3^\circ\text{C}$$

По температурам  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  для соответствующих периодов года определим парциальные давления  $E_1, E_2, E_3$  водяного пара:

$$E_1 = 623.8 \text{ Па}, E_2 = 1542 \text{ Па}, E_3 = 3011.5 \text{ Па}$$

Определим парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов  $z_1, z_2, z_3$ :

$$E = (623.8 \cdot 5 + 1542 \cdot 2 + 3011.5 \cdot 5) / 12 = 1771.7 \text{ Па.}$$

Сопrotивление паропрооницанию  $R_{n,n}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, составит:

$$R_{n,n} = (0.2 - 0.177) / 0.06 = 0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_n$ , Па, за годовой период составит:

$$e_n = (160 + 170 + 290 + 530 + 780 + 1160 + 1470 + 1260 + 900 + 530 + 330 + 220) / 12 = 650 \text{ Па}$$

Определим нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{n1}^{mp} = (331836 - 1771.7) / (1771.7 - 650) = 0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию  $R_{n2}^{mp}$  из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берем продолжительность этого периода  $z_0$ , сут, среднюю температуру этого периода  $t_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$z_0 = 151 \text{ сут}, t_0 = -11.3^{\circ}\text{C}$$

Температуру  $t_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , в плоскости возможной конденсации для этого:

$$t_0 = 130 - (130 - (-11.3)) \cdot 1.9 / 2.07 = 0.3^{\circ}\text{C}$$

Парциальное давление водяного пара  $E_0$ , Па, в плоскости возможной конденсации при  $t_0 = 0.3^{\circ}\text{C}$ :

$$E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (0.3))) = 623.8 \text{ Па.}$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале №1  $\Delta w_{av} = 7,5\%$ . Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, составляет  $e_{n,omp} = 234 \text{ Па}$ .

Коэффициент  $\eta$  составляет:

$$\eta = 0.0024(E_0 - e_{n,omp})z_0 / R_{n,n} = 0.0024(623.8 - 234)151 / 0 = 0$$

Тогда:

$$R_{n2}^{mp} = 0.0024 \cdot 151(331836 - 623.8) / (500 \cdot 0.2 \cdot 7.5 + 0) = 160.04 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг.}$$

**Условие паропрооницаемости не выполняются  $R_n < R_{n2}^{mp}$  ( $2.98 < 160.04$ )**

Выводы по расчетам:

1. Применение теплоизоляционного фольгированного материала Globex, толщиной слоя 10 мм, для утепления ограждающей конструкции с одновременным устройством воздушной прослойки между указанным материалом и внутренним облицовочным не менее 50 мм, допустимо.

2. Расчеты показывают возможность поддержания температуры внутри бани в пределах  $130^{\circ}\text{C}$ , при этом температура на границе «воздушная прослойка-НПП-К-ЛФ» составит  $93.7^{\circ}\text{C}$ , что ниже температуры плавления НПП-К-ЛФ, заявленной производителем.

3. Материал НПП-К-ЛФ является эффективным пароизоляционным материалом, т.к. паропрооницаемость фольгированного материала, по данным заказчика, составляет  $0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

4. Данный расчет произведен с учетом заданных свойств строительных материалов ограждающей конструкции.