

### 1. Введение:

Расчет произведен в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

СП 131.13330.2012 Строительная климатология.

СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий

### 2. Исходные данные:

Район строительства: Москва

Относительная влажность воздуха:  $\varphi_B=55\%$

Тип здания или помещения: Жилые

Вид ограждающей конструкции: Наружные стены с вентилируемым фасадом

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания:  $t_B=20^\circ\text{C}$

### 3. Расчет:

Согласно таблицы 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания  $t_{\text{int}}=20^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{int}}=55\%$  влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче  $Ro^{\text{TP}}$  исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) СП 50.13330.2012) согласно формуле:

$$Ro^{mp}=a \cdot \Gamma \text{СОП} + b$$

где  $a$  и  $b$  - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида- наружные стены с вентилируемым фасадом и типа здания -жилые  $a=0.00035; b=1.4$

Определим градусо-сутки отопительного периода  $\Gamma \text{СОП}$ ,  $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$  по формуле (5.2) СП 50.13330.2012

$$\Gamma \text{СОП}=(t_B-t_{\text{от}})z_{\text{от}}$$

где  $t_B$ -расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ\text{C}$

$$t_B=20^\circ\text{C}$$

$t_{\text{от}}$ -средняя температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$  принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более  $8^\circ\text{C}$  для типа здания - жилые

$$t_{\text{ов}}=-2.2^\circ\text{C}$$

$z_{\text{от}}$ -продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более  $8^\circ\text{C}$  для типа здания - жилые

$$z_{от}=205 \text{ сут.}$$

Тогда

$$ГСОП=(20-(-2.2))205=4551 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$$

По формуле в таблице 3 СП 50.13330.2012 определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи  $R_{от}^{ТР}$  ( $\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ).

$$R_{от}^{норм}=0.00035\cdot4551+1.4=2.99\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

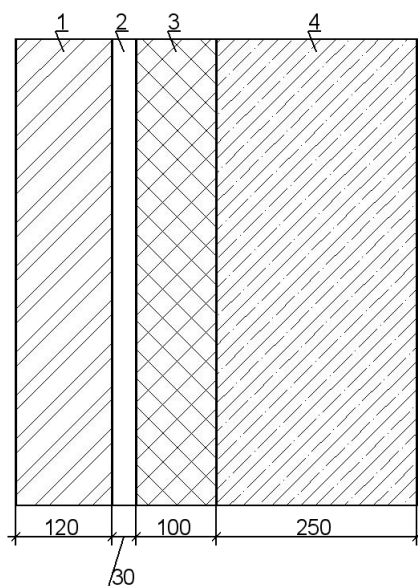
Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче  $R_{от}^{норм}$  может быть меньше нормируемого  $R_{от}^{ТР}$ , на величину  $m_p$

$$R_{от}^{норм}=R_{от}^{ТР}0.63$$

$$R_{от}^{норм}=1.88\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Поскольку населенный пункт Москва относится к зоне влажности - нормальной, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 СП50.13330.2012 теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации Б.

Схема конструкции ограждающей конструкции показана на рисунке:



1. Кладка из керамического пустотного кирпича ГОСТ 530 ( $\rho=1300\text{ кг/м.куб}$ ), толщина  $\delta_1=0.12\text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{Б1}=0.58\text{ Вт/}(\text{м}^{\circ}\text{C})$ , паропроницаемость  $\mu_1=0.16\text{ мг/}(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

2. Воздушная прослойка 3-5 см, толщина  $\delta_2=0.03\text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{Б2}=0.17\text{ Вт/}(\text{м}^{\circ}\text{C})$ , паропроницаемость  $\mu_2=0\text{ мг/}(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

3. ПСБ-С-25, толщина  $\delta_3=0.1\text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{Б3}=0.0458\text{ Вт/}(\text{м}^{\circ}\text{C})$ , паропроницаемость  $\mu_3=0.05\text{ мг/}(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

4. Железобетон (ГОСТ 26633), толщина  $\delta_4=0.25\text{м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{Б4}=2.04\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$ , паропроницаемость  $\mu_4=0.03\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

Условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{усл}}$ , ( $\text{м}^2\text{°С}/\text{Вт}$ ) определим по формуле Е.6 СП 50.13330.2012:

$$R_0^{\text{усл}} = 1/\alpha_{\text{int}} + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_{\text{ext}}$$

где  $\alpha_{\text{int}}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ , принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

$$\alpha_{\text{int}} = 8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$$

$\alpha_{\text{ext}}$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012

$\alpha_{\text{ext}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$  - согласно п.3 таблицы 6 СП 50.13330.2012 для наружных стен с вентилируемым фасадом.

$$R_0^{\text{усл}} = 1/8.7 + 0.12/0.58 + 0.03/0.17 + 0.1/0.0458 + 0.25/2.04 + 1/12$$

$$R_0^{\text{усл}} = 2.89 \text{ м}^2\text{°С}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$ , ( $\text{м}^2\text{°С}/\text{Вт}$ ) определим по формуле 11 СП 23-101-2004:

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} \cdot r$$

$r$ -коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений

$$r = 0.92$$

Тогда

$$R_0^{\text{пр}} = 2.89 \cdot 0.92 = 2.66 \text{ м}^2\text{°С}/\text{Вт}$$

Вывод: величина приведённого сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  больше требуемого  $R_0^{\text{норм}}$  ( $2.66 > 1.88$ ) следовательно представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

### Расчет паропроницаемости

Согласно п.8.5.5 СП 50.13330.2012 плоскость максимального увлажнения находится на поверхности выраженного теплоизоляционного слоя №3 ПСБ-С-25 термического сопротивление которого больше  $2/3 R_0^{\text{усл}}$  ( $R_3 = 2.18 \text{ м}^2\text{°С}/\text{Вт}$ ,  $R_0^{\text{усл}} = 2.89 \text{ м}^2\text{°С}/\text{Вт}$ )

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

$$R_n = 0.25/0.03 + 0.1/0.05 = 10.33 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам 8.1 и 8.2 СП 50.13330.2012, приведенных соответственно ниже:

$$R_{n1}^{TP} = (e_b - E)R_{n.n}/(E - e_n);$$

$$R_{n2}^{TP} = 0,0024z_0(e_b - E_0)/(p_w\delta_w\Delta w_{av} + \eta),$$

где  $e_b$  - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле 8.3 СП 50.13330.2012

$$e_b = (\varphi_b/100)E_b$$

$E_b$  - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_b$  определяется по формуле 8.8 СП 50.13330.2012: при  $t_b = 20^\circ\text{C}$   $E_b = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+20)) = 2315 \text{ Па}$ . Тогда

$$e_b = (55/100) \times 2315 = 1273 \text{ Па}$$

$E$  - парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле  $E = (E_1z_1 + E_2z_2 + E_3z_3)/12$ ,

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

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

$$\sum R = 0.1/0.0458 + 0.25/2.04 + 1/8.7 = 2.42 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Установим для периодов их продолжительность  $z_i$ , сут, среднюю температуру  $t_i$ , °С, согласно СП 131.133330.2012 и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации  $t_i$ , °С, по формуле 8.10 СП 50.13330.2012 для климатических условий населенного пункта Москва

:зима (январь, февраль, декабрь)

$$z_1 = 3 \text{ мес};$$

$$t_I = [(-7.8) + (-7.1) + (-5.6)]/3 = -6.8^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 20 - (20 - (-6.8)) \cdot 2.42/2.89 = -2.4^\circ\text{C}$$

:весна-осень (март, ноябрь)

$$z_2 = 2 \text{ мес};$$

$$t_2 = [(-1.3) + (-1.1)] / 2 = -1.2^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 - (20 - (-1.2)) \cdot 2.42 / 2.89 = 2.2^\circ\text{C}$$

:лето (апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь)

$$z_3 = 7 \text{ мес};$$

$$t_3 = [(6.4) + (13) + (16.9) + (18.7) + (16.8) + (11.1) + (5.2)] / 7 = 12.6^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 20 - (20 - (12.6)) \cdot 2.42 / 2.89 = 13.8^\circ\text{C}$$

По температурам ( $t_1, t_2, t_3$ ) для соответствующих периодов года определим по формуле 8.8 СП 50.13330.2012 парциальные давления ( $E_1, E_2, E_3$ ) водяного пара  $E_1 = 513.5$  Па,  $E_2 = 713.7$  Па,  $E_3 = 1562.2$  Па,

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

$$E = (513.5 \cdot 3 + 713.7 \cdot 2 + 1562.2 \cdot 7) / 12 = 1158.6 \text{ Па.}$$

Сопrotивление паропрооницанию  $R_{п.н}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяется по формуле 8.9 СП 50.13330.2012

$$R_{п.н} = 0.12 / 0.16 = 0.75 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_n$ , Па, за годовой период определяется по СП 131.13330.2012 (таблица 7.1)

$$e_n = (280 + 290 + 390 + 620 + 910 + 1240 + 1470 + 1400 + 1040 + 700 + 500 + 360) / 12 = 767 \text{ Па}$$

По формуле (8.1) СП 50.13330.2012 определим нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации

$$R_{н1}^{TP} = (1273 - 1158.6) \cdot 0.75 / (1158.6 - 767) = 0.22 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию  $R_{н2}^{TP}$  из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берем определенную по таблице 5.1 СП 131.13330.2012 продолжительность этого периода  $z_0$ , сут, среднюю температуру этого периода  $t_0$ ,  $^\circ\text{C}$ :  $z_0 = 151$  сут,  $t_0 = -4.6^\circ\text{C}$

Температуру  $t_0$ ,  $^\circ\text{C}$ , в плоскости возможной конденсации для этого периода определяют по формуле (8.10) СП 50.13330.2012

$$t_0 = 20 - (20 - (-4.6)) \cdot 2.42 / 2.89 = -0.6^\circ\text{C}$$

Парциальное давление водяного пара  $E_0$ , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по формуле (8.8) СП 50.13330.2012 при  $t_0 = -0.6^\circ\text{C}$  равным  $E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-0.6))) = 584.9 \text{ Па.}$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материалах ПСБ-С-25 и Воздушная прослойка 3-5 см согласно таблице 10 СП 50.13330.2012  $\Delta w_1 = 50\%$   $\Delta w_2 = 0\%$  соответственно. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с

отрицательными средними месячными температурами, согласно СП 131.13330.2012 равна  $\epsilon_{н.отр}=364$  Па.

Коэффициент  $\eta$  определяется по формуле (8.5) СП 50.13330.2012

$$\eta=0.0024(E_0-\epsilon_{н.отр})z_0/R_{н.н.}=0.0024(584.9-364)151/0.75=106.7$$

Определим  $R_{н2}^{TP}$  по формуле (8.2) СП 50.13330.2012

$$R_{н2}^{TP}=0.0024 \cdot 151(1273-584.9)/(25 \cdot (0.1/2 \cdot 50+0.03/2 \cdot 0)+106.7)=1.47 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Условие паропроницаемости выполняются  $R_n > R_{н1}^{TP}$  ( $10.33 > 0.22$ ),  $R_n > R_{н2}^{TP}$  ( $10.33 > 1.47$ )

### **Расчет распределения парциального давления водяного пара по толще конструкция ограждения и определение возможности образования конденсата в толще ограждения(расчет точки росы)**

Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри конструкции ограждения определяем сопротивление паропроницанию ограждения  $R_n$  по формуле (8.9) СП 50.13330.2012(здесь и далее сопротивлением влагообмену у внутренней и наружной поверхностях пренебрегаем).

$$R_n=0.12/0.16+0.1/0.05+0.25/0.03=11.08 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи конструкции ограждения по формуле(8.3) и (8.8) СП 50.13330.2012

$$t_B=20^\circ\text{C}; \varphi_B=55\%;$$

$$\epsilon_B=(55/100) \times 2315=1273 \text{ Па};$$

$$t_H=-7.8^\circ\text{C}$$

где  $t_H$ -средняя месячная температура наиболее холодного месяца в году принимаемая по таблице 5.1 СП 131.13330.2012.

$$\varphi_H=83\%;$$

где  $\varphi_H$ -средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, принимаемая по таблице 3.1 СП 131.13330.2012.

$$\epsilon_H=(83/100) \times 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-7.8)))=286 \text{ Па}$$

Определяем температуры  $t_i$  на границах слоев по формуле (8.10) СП50.13330.2012, нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам - максимальное парциальное давление водяного пара  $E_i$  по формуле (8.8) СП 50.13330.2012:

$$t_1=20-(20-(-7.8)) \cdot (0.115) \cdot 0.92/2.66=18.9^\circ\text{C};$$

$$\epsilon_{B1}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(18.9)))=2161 \text{ Па}$$

$$t_2=20-(20-(-7.8)) \cdot (0.115+0.12)/2.89=17.7^\circ\text{C};$$

$$\epsilon_{B2}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(17.7)))=2004 \text{ Па}$$

$$t_3 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 2.3) / 2.89 = -3.2^\circ\text{C};$$

$$e_{B3} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-3.2))) = 484 \text{ Па}$$

$$t_4 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 2.48) / 2.89 = -5^\circ\text{C};$$

$$e_{B4} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-5))) = 424 \text{ Па}$$

$$t_5 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 2.69) / 2.89 = -7^\circ\text{C};$$

$$e_{B5} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-7))) = 365 \text{ Па}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления  $e_i$  водяного пара на границах слоев по формуле

$$e_i = e_B - (e_B - e_H) \sum R / R_n$$

где  $\sum R$  - сумма сопротивлений паропроницанию слоев, считая от внутренней поверхности. В результате расчета получим следующие значения:

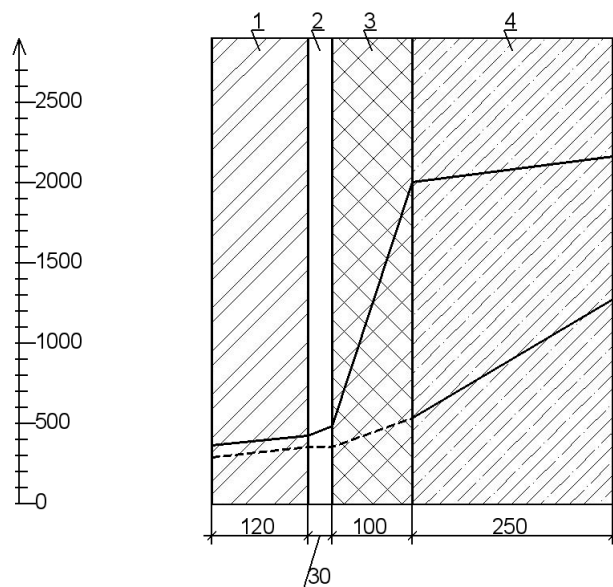
$$e_1 = 1273 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (8.33) / 11.08 = 531 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (10.33) / 11.08 = 352.8 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (10.33) / 11.08 = 352.8 \text{ Па};$$

$$e_5 = 286 \text{ Па}$$



— — — — распределение действительного парциального давления водяного пара  $e$

————— распределение максимального парциального давления водяного пара  $E$

Вывод: Кривые распределения действительного и максимального парциального давления не пересекаются. Выпадение конденсата в конструкции ограждения невозможно.