

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^{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 СП 131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°C для типа здания - жилые

$$t_{\text{ов}} = -2.2^\circ\text{C}$$

$Z_{\text{от}}$ - продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 СП 131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°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 $R_{от}^{ТР}$ ($\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$).

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

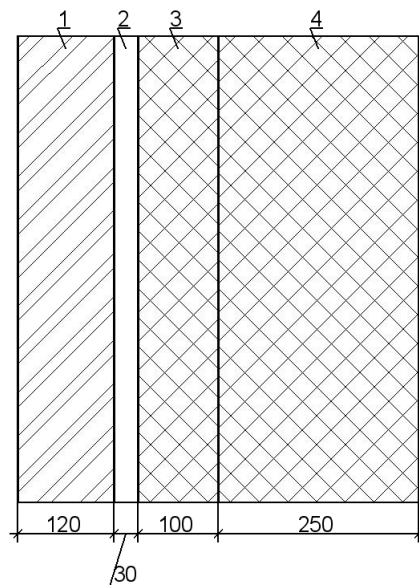
Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче $R_{от}^{норм}$ может быть меньше нормируемого $R_{от}^{ТР}$, на величину m_p

$$R_{от}^{норм}=R_{от}^{ТР}0.63$$

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

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. ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ (тип 31С), толщина $\delta_3=0.1\text{ м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б3}=0.032\text{ Вт/}(\text{м}^{\circ}\text{C})$, паропроницаемость $\mu_3=0.018\text{ мг/}(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

4.Газосиликат ($\rho=600\text{кг/м.куб}$), толщина $\delta_4=0.25\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}=0.26\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$, паропроницаемость $\mu_4=0.17\text{мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$

Условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл}}$, ($\text{м}^2\text{°C/Вт}$) 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 α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт/(м}^2\text{°C)}$, принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

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

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

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

$$R_0^{\text{усл}}=1/8.7+0.12/0.58+0.03/0.17+0.1/0.032+0.25/0.26+1/12$$

$$R_0^{\text{усл}}=4.67\text{м}^2\text{°C/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$, ($\text{м}^2\text{°C/Вт}$) 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

$$R_0^{\text{пр}}=4.67 \cdot 0.92=4.3\text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$$

Вывод: величина приведённого сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ больше требуемого $R_0^{\text{норм}}$ ($4.3>1.88$) 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 ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ (тип 31С) термического сопротивление которого больше $2/3 R_0^{\text{усл}}$ ($R_3=3.13\text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$, $R_0^{\text{усл}}=4.67\text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$)

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

$$R_n=0.25/0.17+0.1/0.018=7.03\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$$

Сопротивление паропрооницанию R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам 8.1 и 8.2 СП 50.13330.2012, приведенных соответственно ниже:

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

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

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 $E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3)/12$,

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

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

$$\sum R = 0.1/0.032 + 0.25/0.26 + 1/8.7 = 4.2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Установим для периодов их продолжительность z_i , сут, среднюю температуру t_i , $^\circ\text{C}$, согласно СП 131.133330.2012 и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации t_i , $^\circ\text{C}$, по формуле 8.10 СП 50.13330.2012 для климатических условий населенного пункта Москва

:зима (январь, февраль, декабрь)

$$z_1 = 3 \text{ мес};$$

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

$$t_1 = 20 - (20 - (-6.8))4.2/4.67 = -4.1^\circ\text{C}$$

:весна-осень (март, ноябрь)

$$z_2 = 2 \text{ мес};$$

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

$$t_2 = 20 - (20 - (-1.2)) \cdot 4.2 / 4.67 = 0.9^\circ\text{C}$$

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

$$z_3 = 7 \text{ мес};$$

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

$$t_3 = 20 - (20 - (12.6)) \cdot 4.2 / 4.67 = 13.3^\circ\text{C}$$

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 $E_1 = 453.4$ Па, $E_2 = 651$ Па, $E_3 = 1512.3$ 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

$$E = (453.4 \cdot 3 + 651 \cdot 2 + 1512.3 \cdot 7) / 12 = 1104 \text{ Па}.$$

Сопротивление 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

$$R_{п1}^{TP} = (1273 - 1104) \cdot 0.75 / (1104 - 767) = 0.38 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию $R_{п2}^{TP}$ 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

$$t_0 = 20 - (20 - (-4.6)) \cdot 4.2 / 4.67 = -2.1^\circ\text{C}$$

Парциальное давление водяного пара E_0 , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по формуле (8.8) СП 50.13330.2012 при $t_0 = -2.1^\circ\text{C}$ равным $E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-2.1))) = 524.8 \text{ Па}$.

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материалах ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ (тип 31С) и Воздушная прослойка 3-5 см согласно таблице 10 СП 50.13330.2012 $\Delta w_1 = 25\%$ $\Delta w_2 = 0\%$ соответственно. Средняя упругость водяного пара наружного

воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, согласно СП 131.13330.2012 равна $e_{н.отр}=364$ Па.

Коэффициент η определяется по формуле (8.5) СП 50.13330.2012

$$\eta = 0.0024(E_0 - e_{н.отр})z_0/R_{п.н.} = 0.0024(524.8 - 364)151/0.75 = 77.7$$

Определим R_{n2}^{TP} по формуле (8.2) СП 50.13330.2012

$$R_{n2}^{TP} = 0.0024 \cdot 151(1273 - 524.8)/(41 \cdot (0.1/2 \cdot 25 + 0.03/2 \cdot 0) + 77.7) = 2.1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

Условие паропроницаемости выполняются $R_n > R_{n1}^{TP}$ ($7.03 > 0.38$), $R_n > R_{n2}^{TP}$ ($7.03 > 2.1$)

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).

$$R_n = 0.12/0.16 + 0.1/0.018 + 0.25/0.17 = 7.78 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

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

$$t_b = 20^\circ\text{C}; \varphi_b = 55\%;$$

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

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

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

$$\varphi_n = 83\%;$$

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

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

Определяем температуры t_i на границах слоев по формуле (8.10) СП 50.13330.2012, 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:

$$t_1 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115) \cdot 0.92/4.3 = 19.3^\circ\text{C};$$

$$e_{b1} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273 + (19.3))) = 2216 \text{ Па}$$

$$t_2 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 0.96)/4.67 = 13.6^\circ\text{C};$$

$$e_{b2} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273 + (13.6))) = 1542 \text{ Па}$$

$$t_3 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 4.09) / 4.67 = -5^\circ\text{C};$$

$$e_{B3} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-5))) = 424 \text{ Па}$$

$$t_4 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 4.27) / 4.67 = -6.1^\circ\text{C};$$

$$e_{B4} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-6.1))) = 391 \text{ Па}$$

$$t_5 = 20 - (20 - (-7.8)) \cdot (0.115 + 4.48) / 4.67 = -7.4^\circ\text{C};$$

$$e_{B5} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-7.4))) = 354 \text{ Па}$$

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:

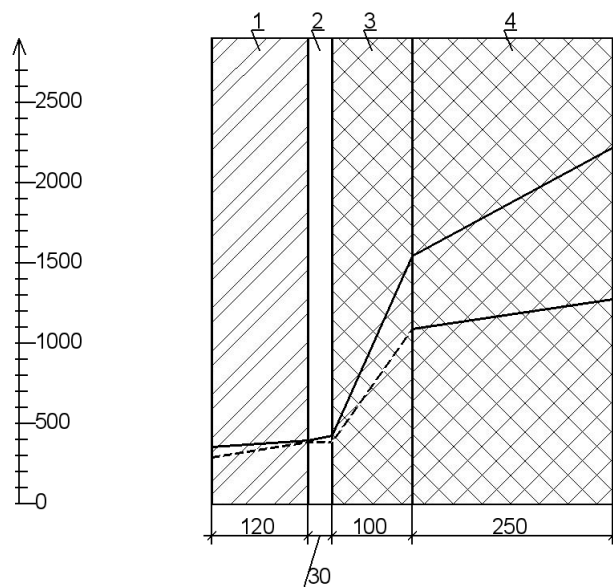
$$e_1 = 1273 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (1.47) / 7.78 = 1086.5 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (7.03) / 7.78 = 381.1 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1273 - (1273 - (286)) \cdot (7.03) / 7.78 = 381.1 \text{ Па};$$

$$e_5 = 286 \text{ Па}$$



— — — — — 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.