

**Теплотехнический
расчет 4-х слойного
теплоблока
от Superblock
Laboratory.**

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: Южно-Сахалинск

Относительная влажность воздуха: $\varphi_{в}=55\%$

Тип здания или помещения: Жилые

Вид ограждающей конструкции: Наружные стены

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_{в}=22^{\circ}\text{C}$

3. Расчет:

Согласно таблицы 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания $t_{\text{int}}=22^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{int}}=55\%$ влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

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

$$R_{o}^{mp}=a \cdot ГСОП+b$$

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 и типа здания - жилые $a=0.00035$; $b=1.4$

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

$$\text{ГСОП}=(t_{в}-t_{от})Z_{от}$$

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

$$t_{в}=22^{\circ}\text{C}$$

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

$$t_{ов}=-4.4^{\circ}\text{C}$$

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

$$z_{от}=227 \text{ сут.}$$

Тогда

$$\text{ГСОП}=(22-(-4.4))227=5992.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$$

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

$$R_{о\text{норм}}=0.00035\cdot 5992.8+1.4=3.5\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

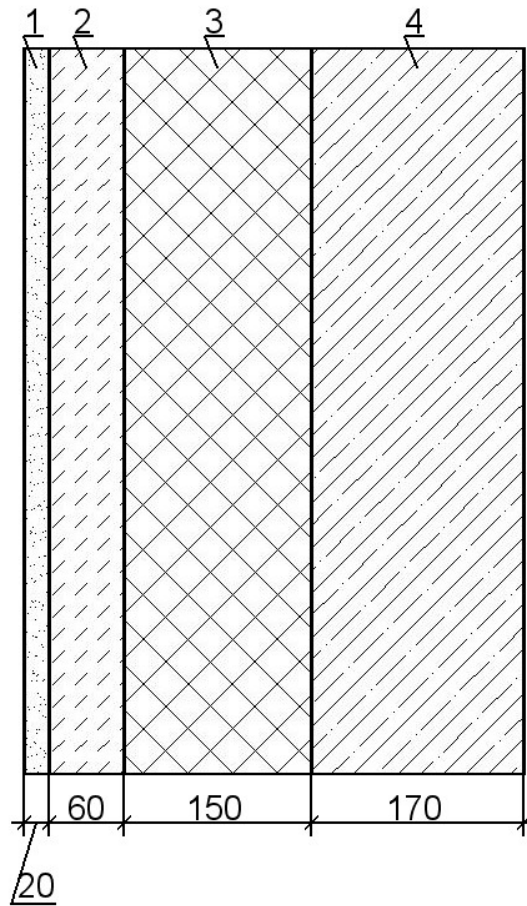
Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче $R_{о\text{норм}}$ может быть меньше нормируемого $R_{о\text{TP}}$, на величину m_p

$$R_{о\text{норм}}=R_{о\text{TP}}0.63$$

$$R_{о\text{норм}}=2.21\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Поскольку населенный пункт Южно-Сахалинск относится к зоне влажности - влажной, 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. Раствор цементно-песчаный, толщина $\delta_1=0.02\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б1}=0.93\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$, паропроницаемость $\mu_1=0.09\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

2. Керамзитобетон на керамзитовом песке ($\rho=800\text{ кг}/\text{м.куб}$), толщина $\delta_2=0.06\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}=0.31\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$, паропроницаемость $\mu_2=0.19\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

3. ПСБ-С-25, толщина $\delta_3=0.15\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б3}=0.0458\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$, паропроницаемость $\mu_3=0.05\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$

4. Бетон на гравии или щебне из природного камня (ГОСТ 26633), толщина $\delta_4=0.17\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}=1.86\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$, 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 α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²°C), принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

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

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

$\alpha_{ext}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ -согласно п.1 таблицы 6 СП 50.13330.2012 для наружных стен.

$$R_0^{ysl}=1/8.7+0.02/0.93+0.06/0.31+0.15/0.0458+0.17/1.86+1/23$$

$$R_0^{ysl}=3.74\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{пр}$, (м²°C/Вт) определим по формуле 11 СП 23-101-2004:

$$R_0^{пр}=R_0^{ysl} \cdot r$$

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

$$r=0.85$$

Тогда

$$R_0^{пр}=3.74 \cdot 0.85=3.18\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Вывод: величина приведённого сопротивления теплопередаче $R_0^{пр}$ больше требуемого $R_0^{норм}$ ($3.18 > 2.21$) 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^{ysl} ($R_3=3.28\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, $R_0^{ysl}=3.74\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Определим паропроницаемость R_n , м²·ч·Па/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации)

$$R_n=0.17/0.03+0.15/0.05=8.67\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

Сопротивление паропрооницанию R_n , м²·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:

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

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

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 $t_b = 22^\circ\text{C}$ $E_b = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+22)) = 2619 \text{ Па}$. Тогда

$$e_b = (55/100) \times 2619 = 1440 \text{ Па}$$

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°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

$$\sum R = 0.15/0.0458 + 0.17/1.86 + 1/8.7 = 3.48 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$$

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 , °С, по формуле 8.10 СП 50.13330.2012 для климатических условий населенного пункта Южно-Сахалинск

:зима (январь,февраль,март,декабрь)

$z_1=4$ мес;

$$t_1=[(-12.8)+(-12)+(-5.8)+(-8.8)]/4=-9.9^{\circ}\text{C}$$

$$t_1=22-(22-(-9.9))3.48/3.74=-7.7^{\circ}\text{C}$$

:весна-осень (апрель,ноябрь)

$z_2=2$ мес;

$$t_2=[(1.6)+(-1.7)]/2=-0^{\circ}\text{C}$$

$$t_2=22-(22-(-0))3.48/3.74=1.5^{\circ}\text{C}$$

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

$z_3=6$ мес;

$$t_3=[(7)+(11.5)+(15.5)+(17)+(13)+(6.3)]/6=11.7^{\circ}\text{C}$$

$$t_3=22-(22-(11.7))3.48/3.74=12.4^{\circ}\text{C}$$

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 $E_1=346.4$ Па, $E_2=679.3$ Па, $E_3=1426$ 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

$$E=(346.4 \cdot 4+679.3 \cdot 2+1426 \cdot 6)/12=941.7\text{Па.}$$

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

$$R_{п.н}=0.02/0.09+0.06/0.19=0.54\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

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

$$e_n=(190+200+310+520+750+1090+1530+1650+1230+750+430+270)/12=743\text{Па}$$

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

$$R_{n1}^{TP}=(1440-941.7)0.54/(941.7-743)=1.35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{n2}^{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 , °C: $z_0 = 151$ сут, $t_0 = -8.2$ °C

Температуру t_0 , °C, в плоскости возможной конденсации для этого периода определяют по формуле (8.10) СП 50.13330.2012

$$t_0=22-(22-(-8.2)) \cdot 3.48/3.74=-6.1 \text{ °C}$$

Парциальное давление водяного пара E_0 , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по формуле (8.8) СП 50.13330.2012 при $t_0 = -6.1$ °C равным $E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-6.1)))=390.8$ Па.

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материалах ПСБ-С-25 и Керамзитобетон на керамзитовом песке ($\rho=800$ кг/м.куб) согласно таблице 10 СП 50.13330.2012 $\Delta w_1 = 50\%$ $\Delta w_2 = 5\%$ соответственно. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, согласно СП 131.13330.2012 равна $e_{н.отр}=280$ Па.

Коэффициент η определяется по формуле (8.5) СП 50.13330.2012

$$\eta=0.0024(E_0-e_{н.отр})z_0/R_{п.н.}=0.0024(390.8-280)151/0.54=74.4$$

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

$$R_{n2}^{TP}=0.0024 \cdot 151(1440-390.8)/(25 \cdot (0.15/2 \cdot 50+0.06/2 \cdot 5)+74.4)=2.21 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Вывод: Условие паропрооницаемости выполняются $R_n > R_{n1}^{TP}$ ($8.67 > 1.35$), $R_n > R_{n2}^{TP}$ ($8.67 > 2.21$).

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 паропрооницанию ограждения R_n по

формуле (8.9) СП 50.13330.2012(здесь и далее сопротивлением влагообмену у внутренней и наружной поверхностях пренебрегаем).

$$R_n=0.02/0.09+0.06/0.19+0.15/0.05+0.17/0.03=9.2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

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

$$t_b=22^\circ\text{C}; \varphi_b=55\%;$$

$$e_b=(55/100) \times 2619=1440 \text{ Па};$$

$$t_n=-12.8^\circ\text{C}$$

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

$$\varphi_n=82\%;$$

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

$$e_n=(82/100) \times 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-12.8)))=192 \text{ Па}$$

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:

$$t_1=22-(22-(-12.8)) \cdot (0.115) \cdot 0.85/3.18=20.9^\circ\text{C};$$

$$e_{b1}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(20.9)))=2447 \text{ Па}$$

$$t_2=22-(22-(-12.8)) \cdot (0.115+0.09)/3.74=20.1^\circ\text{C};$$

$$e_{b2}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(20.1)))=2329 \text{ Па}$$

$$t_3=22-(22-(-12.8)) \cdot (0.115+3.37)/3.74=-10.4^\circ\text{C};$$

$$e_{b3}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-10.4)))=282 \text{ Па}$$

$$t_4=22-(22-(-12.8)) \cdot (0.115+3.56)/3.74=-12.2^\circ\text{C};$$

$$e_{b4}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-12.2)))=245 \text{ Па}$$

$$t_5=22-(22-(-12.8)) \cdot (0.115+3.58)/3.74=-12.4^\circ\text{C};$$

$$e_{b5}=1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-12.4)))=241 \text{ Па}$$

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:

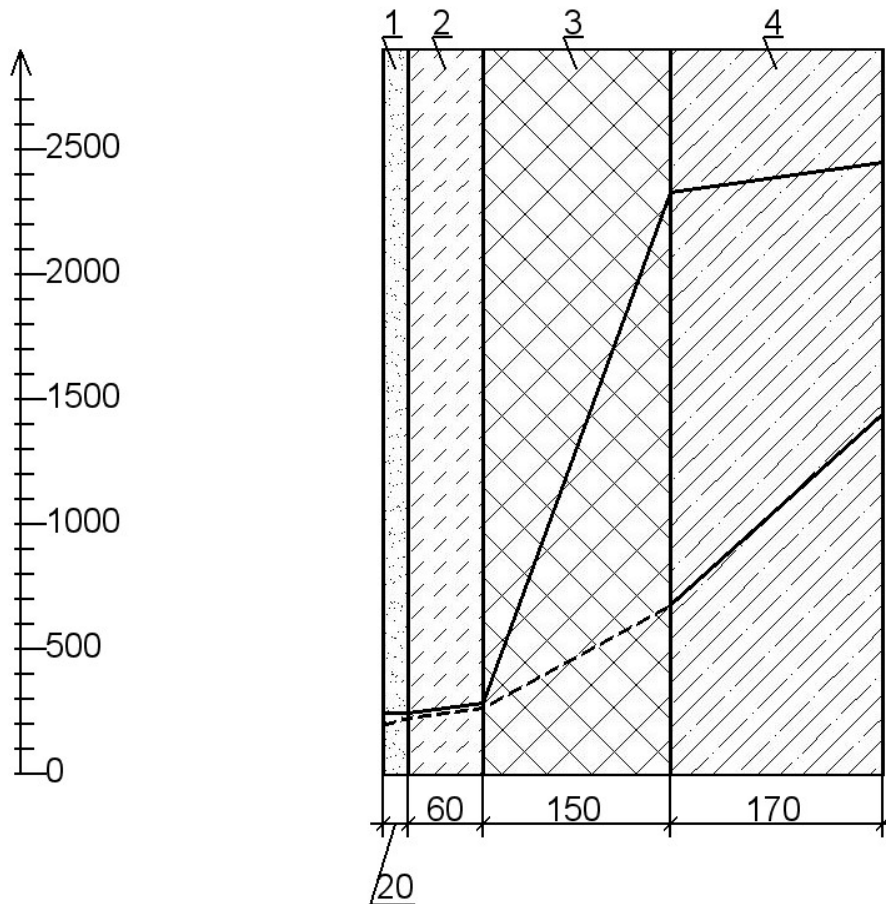
$$e_1 = 1440 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1440 - (1440 - (192)) \cdot (5.67) / 9.2 = 670.9 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1440 - (1440 - (192)) \cdot (8.67) / 9.2 = 263.9 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1440 - (1440 - (192)) \cdot (8.99) / 9.2 = 220.5 \text{ Па};$$

$$e_5 = 192 \text{ Па}$$



--- 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.