

РАСЧЕТ

паропроницаемости наружной стены
жилого дома с кирпичным фасадом из полистиролбетонных
блоков плотностью D250 толщиной 293 мм

1. ЦЕЛЬ РАСЧЕТА

Определение значений сопротивлений паропроницанию наружных стеновых ограждающих конструкций жилых этажей проектируемого здания, подсчет нормативных критериев паропроницаемости для этих конструкций и сравнение фактических и нормативных величин.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Ненесущие стены жилого этажа включают следующие параллельные слои:

- внутренняя цементно-песчаная штукатурка толщиной 20 мм;
- кладка из полистиролбетонных блоков плотностью D250 и толщиной 293 мм;
- воздушный неветилируемый слой толщиной 5 мм;
- кирпичная кладка из щелевого (пустотного) кирпича толщиной 120 мм.

Расчетные коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости материалов, составляющих слои наружных стен, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации "Б", λ, Вт/м ⁰ С	Коэффициент паропроницаемости, μ, мг/(м·ч·Па)	Обоснование
Цементно-песчаная штукатурка	1800	0,93	0,09	СНиП II-3-79* (Приложение 3)
Кирпичная кладка из пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе	1400	0,58	0,16	То же
Полистиролбетон	250	0,09	0,11	ГОСТ Р51263-99 Приложение Д

Исходные температурно-влажностные данные, взятые для условий г.Москвы из СНиП 2.01.01-82, представлены в табл.2

Таблица 2

№№ пп	Наименование месяцев	Средняя температура, °С	Средняя упругость водяного пара наружного воздуха, е _н , Па	Количество дней в месяце
1.	Январь	-10,2	280	31
2.	Февраль	-9,6	290	28
3.	Март	-4,7	370	31
4.	Апрель	4,0	600	30
5.	Май	11,6	890	31
6.	Июнь	15,8	1240	30
7.	Июль	18,1	1470	31
8.	Август	16,2	1420	31
9.	Сентябрь	10,6	1040	30
10.	Октябрь	4,2	690	31
11.	Ноябрь	-2,2	480	30
12.	Декабрь	-7,6	360	31

Согласно ТСН НТП-99.МО расчетная температура внутреннего воздуха в жилом доме принята $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\varphi_{в}=55\%$.

Расчет проведен согласно действующих нормативных документов, в частности: указаний Главы 6 СНиП II-3-79* (издание 1998 г.), Справочного пособия к СНиП "Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий" (ННИСФ, Стройиздат, 1990 г.), а также СП 23-101-2000.

В соответствии с этими указаниями подсчитывалось сопротивление паропрооницанию наружной стены в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, которые сравнивались с требуемыми сопротивлениями паропрооницанию $R_{н1}^{тп}$ (из условия недопустимости накопления влаги в стене за годовой период эксплуатации) и $R_{н2}^{тп}$ (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха).

В качестве плоскости возможной конденсации пара в стене принята внутренняя поверхность фасадной кирпичной кладки.

3. РАСЧЕТ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ НАРУЖНЫХ СТЕН ЖИЛЫХ ЭТАЖЕЙ

3.1. Определение сопротивлений теплопередаче и паропрооницанию стены

Сопротивление теплопередаче наружной стены подсчитываем по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_{с.н} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n}$$

где $\alpha_в$ и $\alpha_н$ - коэффициенты теплопередачи соответственно внутренней и наружной поверхностей стены ($\alpha_в=8,7$ Вт/(м²°С) и $\alpha_н=23$ Вт/(м²°С));

δ_1, δ_2 и δ_3 - толщины слоя штукатурки, полистиролбетонных блоков и фасадной кирпичной кладки ($\delta_1=0,02$ м и $\delta_2=0,293$ м и $\delta_3=0,12$ м);

λ_1, λ_2 и λ_3 - расчетные коэффициенты теплопроводности штукатурного слоя, полистиролбетона и кирпичной кладки (согласно табл.1 $\lambda_1=0,93$ Вт/м°С и $\lambda_2=0,09$ Вт/м°С и $\lambda_3=0,58$ Вт/м°С).

Таким образом

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,293}{0,09} + 0,15 + \frac{0,12}{0,58} + \frac{1}{23} = 3,793 \text{ м}^2\text{°С/Вт.}$$

Сумма термических сопротивлений теплоперехода от внутреннего воздуха к стене и в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации составит

$$R_в + \Sigma R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,293}{0,09} = 3,543 \text{ м}^2\text{°С/Вт.}$$

Сопротивление паропроонианию наружной стены подсчитываем по формуле

$$R_н = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3},$$

где μ_1, μ_2 и μ_3 - коэффициенты паропроониаемости, соответственно штукатурных слоя, полистиролбетона и фасадной кирпичной кладки (согласно табл.1 $\mu_1=0,09$ мг/(м·ч·Па), $\mu_2=0,11$ мг/(м·ч·Па) и $\mu_3=0,16$ мг/(м·ч·Па)).

$$R_н = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,293}{0,11} + \frac{0,12}{0,16} = 3,636 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг.}$$

Сопротивление паропроонианию части стены в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации составит

$$R_{нв} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,293}{0,11} = 2,886 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг.}$$

Сопротивление паропроонианию части стены, расположенной между наружной поверхностью стены и плоскостью возможной конденсации составит

$$R_{нн} = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,12}{0,16} = 0,75 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг.}$$

3.2. Определение критерия паропроониания $R_{нл}^{TP}$

Требуемое сопротивление паропроонианию по условию недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации определяется по формуле (34) СНиП II-3-79*

$$R_{n1}^{TP} = \frac{(e_s - E)R_{n1}}{E - e_n}$$

где e_s - упругость водяного пара внутреннего воздуха;
 E - упругость насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации;
 e_n - средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период.

Упругость водяного пара внутреннего воздуха подсчитывается по формуле

$$e_s = \varphi_s E_s,$$

где E_s - упругость насыщенного пара. При заданной температуре внутреннего воздуха $t_s = 20^\circ\text{C}$ согласно Справочного пособия к СНиП (Приложение 8, табл.2) $E_s = 2338$ Па

$$e_s = 0,55 \cdot 2338 = 1286 \text{ Па.}$$

Упругость насыщенного водяного пара за годовой период эксплуатации определяется по формуле (36) СНиП II-3-79*

$$E = \frac{1}{12} (E_1 Z_1 + E_2 Z_2 + E_3 Z_3),$$

где E_1, E_2 и E_3 - упругости насыщенного водяного пара, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

Z_1, Z_2 и Z_3 - продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая согласно СНиП 2.01.01-82 с учетом следующих условий:

- к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха $t_n < -5^\circ\text{C}$;
- к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами $-5^\circ\text{C} \leq t_n \leq 5^\circ\text{C}$;
- к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами $t_n > 5^\circ\text{C}$.

Продолжительность сезонов определяем по табл.2:

- зимний период (декабрь, январь, февраль) - $Z_1 = 3$ мес.,

$$t_{n1} = \frac{-7,6 - 10,2 - 9,6}{3} = -9,1^\circ\text{C};$$

- весенне-осенний период (март, апрель, октябрь, ноябрь) $Z_2 = 4$ мес.,

$$t_{n2} = \frac{-4,7 + 4,0 + 4,2 - 2,2}{4} = 0,3^\circ\text{C};$$

- летний период (май-сентябрь) - $Z_3 = 5$ мес.,

$$t_{n3} = \frac{11,6 + 15,6 + 18,1 + 16,2 + 10,6}{5} = 14,5^\circ\text{C}.$$

Значения температур в плоскости возможной конденсации определяем по формуле (29) Справочного пособия к СНиП

$$\tau_i = t_e - \frac{t_e - t_{ni}}{R_o} (R_o + \sum R)$$

Для зимнего периода

$$\tau_1 = 20 - \frac{20 - (-9,1)}{3,793} 3,543 = -7,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для весенне-осеннего периода

$$\tau_2 = 20 - \frac{20 - 0,3}{3,793} 3,543 = 1,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для летнего периода

$$\tau_3 = 20 - \frac{20 - 14,5}{3,793} 3,543 = 14,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По Приложению М СП23-101-2000 находим

$$E_1 = 332 \text{ Па}, E_2 = 687 \text{ Па}, E_3 = 1695 \text{ Па}.$$

По формуле (36) СНиП II-3-79* находим

$$E = \frac{1}{12} (332 \cdot 3 + 687 \cdot 4 + 1695 \cdot 5) = 1018 \text{ Па}.$$

С использованием данных табл.1 подсчитываем

$$e_n = \frac{1}{12} (280 + 290 + 370 + 600 + 890 + 1240 +$$

$$+ 1470 + 1420 + 1040 + 690 + 480 + 360) = 761 \text{ Па}.$$

Имея числовые значения всех параметров, входящих в формулу

(34) СНиП II-3-79*, подсчитываем 1-й критерий паропроницаемости

$$R_{п1}^{TP} = \frac{1286 - 1018}{1018 - 761} 0,75 = 0,782 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

3.3. Определение критерия паропроницаемости $R_{п2}^{TP}$

Требуемое сопротивление паропроницаемости по условию ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха определяется по формуле (35) СНиП II-3-79*

$$R_{п2}^{TP} = \frac{0,0024 \cdot Z_o (e_n - E_o)}{\gamma_w \delta_w \Delta W_{cp} + \eta}$$

где Z_o - продолжительность периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха;

E_o - упругость насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации, определяемая при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами;

γ_w - плотность материала увлажняемого слоя;

δ_w - толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая для многослойной конструкции равной толщине теплоизоляционного слоя;

ΔW_{cp} - предельно допустимое приращение расчетного массового влагонакопления, принимаемое по табл.14* СНиП II-3-79*;

η - параметр, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024(E_o - e_{no})Z_o}{R_{nn}}$$

где R_{nn} - средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами.

Периодом с отрицательными среднемесячными температурами согласно табл.2 является 5 месяцев (с ноября по март), продолжительность которых составляет

$$Z_o = 30 + 31 + 31 + 28 + 31 = 151 \text{ сут.}$$

Средняя температура наружного воздуха периода месяцев со среднемесячными отрицательными температурами согласно табл.2 составит

$$t_{no} = \frac{-2,2 - 7,6 - 10,2 - 9,6 - 4,7}{5} = -6,9 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Значение средней температуры в плоскости возможной конденсации влаги за период месяцев с отрицательными температурами определяем по формуле (29) "Справочного пособия к СНиП"

$$t_o = t_s - \frac{t_s - t_{no}}{R_o} (R_s + \sum R) = 20 - \frac{20 - (-6,9)}{3,793} \cdot 3,543 = -5,1 \text{ }^\circ\text{C.}$$

По Приложению М СП23-101-2000 находим значения упругости насыщенного пара при

$$t_o = -5,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad E_o = 398 \text{ Па.}$$

В рассматриваемой конструкции увлажняемым слоем является полистиролбетон, для которого

$$\gamma_w = 250 \text{ кг/м}^3 \text{ и } \delta_w = 0,293 \text{ м.}$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в полистиролбетоне за период влагонакопления определяем по данным табл. 14* СНиП II-3-79* как средневзвешенное значение ячеистого бетона - 6% и пенополистирола - 20%, содержание которых в 1 м³ полистиролбетона плотностью 250 кг/м³ условно можно принять соответственно 240 кг и 10 кг

$$\Delta W_{cp} = \frac{240 \cdot 6 + 10 \cdot 25}{250} = 6,76 \text{ \%}.$$

С использованием данных табл.2 подсчитываем среднюю упругость водяного пара наружного воздуха за период с отрицательными среднемесячными температурами

$$e_{no} = \frac{1}{5} (480 + 360 + 280 + 290 + 370) = 356 \text{ Па.}$$

Находим значение параметра

$$\eta = \frac{0,0024(398 - 356) \cdot 151}{0,75} = 20,78.$$

Имея численные значения всех параметров, входящих в формулу (35) СНиП II-3-79*, вычисляем 2-й критерий паропроницаемости

$$R_{п2}^{TP} = \frac{0,0024(1286 - 356) \cdot 151}{250 \cdot 0,293 \cdot 6,76 + 20,78} = 0,654 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг.}$$

3.4. Сравнение значения паропроницаемости с нормативными критериями

Сравнивая полученные в п.п. 3.1-3.3 значения сопротивлений паропрооницанию наружной стены жилых этажей, видим, что

$$R_{\text{нв}} = 2,886 > R_{\text{п2}}^{\text{TP}} = 0,782 > R_{\text{п2}}^{\text{TP}} = 0,654 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг},$$

т.е. данная ограждающая конструкция в отношении сопротивления паропрооницанию удовлетворяет требованиям СНиП II-3-79*, ввиду чего не требуется устройства специального пароизоляционного слоя.

Зам. генерального директора
ВНИИЖелезобетона

Гл. конструктор



ВНИИ-

Железобетон"

[Handwritten signature]
12.04.07

В.И. Мелихов

Л.Л. Лемыш