

## Какой камень **POROMAX** подойдет для Вашего дома по теплозащите?

Для того чтобы определить какой камень **POROMAX** подойдет по теплозащите для жилого дома, придется несколько углубиться в теорию.

Тепловая защита зданий регламентируется сводом правил СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий", далее по тексту СП 50.13330.2012.

Итак, что такое **тепловая защита здания** – это теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций здания, обеспечивающие заданный уровень расхода тепловой энергии с учетом воздухообмена помещений не выше допустимых пределов, а так же их воздухопроницаемость и защиту от переувлажнения при оптимальных параметрах микроклимата помещений.

Согласитесь достаточно сложная формулировка, из которой следует, что ограждающие конструкции здания, в том числе стены должны обеспечивать:

- эффективность расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию;
- заданные параметры микроклимата, необходимые для жизнедеятельности людей;
- защиту от переувлажнения ограждающих конструкций;
- необходимую надежность и долговечность конструкций.

К наружным стенам жилого дома по теплозащите, СП 50.13330.2012 установлены следующие требования:

1. Приведенное сопротивление теплопередаче должно быть не меньше нормируемых значений;
2. Теплоустойчивость в теплый период года не должна быть меньше нормируемых значений;
3. Сопротивление воздухопроницанию должно быть не менее нормируемого значения;
4. Защита от переувлажнения должна обеспечиваться сопротивлением паропроницанию внутренних слоев не менее нормируемого значения;

Как видно из цитируемых требований по теплозащите, наружные стены должны обеспечивать целый комплекс защитных свойств и стены из камня **POROMAX** соответствуют этим требованиям, и так по порядку:

### 1. Приведенное сопротивление теплопередаче

Основной характеристикой стены, обеспечивающей теплозащиту, является **приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{пр}$** , ( $м^2 \cdot 0C/Вт$ ) – физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через наружные стены.

#### 1.1. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен определяется по формуле 5.1 СП 50.13330.2012.

$$R_0^{норм} = R_0^{тп} * m_p \quad м^2 \cdot 0C/Вт$$

где:

$R_0^{тп}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче стен принимаемое по Таблице 3 СП 50.13330.2012 в зависимости от градусо-суток отопительного периода ГСОП ( $0C \cdot сут/год$ ) и назначения здания;

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимаемый 1;

В соответствии с п.5.2 СП 50.13330.2012 значение коэффициента  $m_p$  для стен допускается принимать равным **0.63**, в случае, если расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{от}^{тп}$  меньше нормируемого удельного расхода тепловой энергии  $q_{от}^{тп}$ .

Для малоэтажного жилого многоквартирного дома  $q_{от}^{тп} = 0.434 \text{ Вт/м}^{3 \cdot 0C}$  (Таблица 13 СП 50.13330.2012) при количестве этажей " 2 " и площади **250 м<sup>2</sup>**.

В предварительных оценочных расчетах при определении  $R_0^{\text{норм}}$  значение коэффициента  $m_p$  для стен принимается равным **0.63**, с последующим проверочным расчетом удельного расхода тепловой энергии на отопление  $q_{\text{от}}$ .

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{ТР}} * 0.63 \quad (\text{м}^2 * \text{°C}/\text{Вт})$$

В соответствии с Таблицей 3 СП 50.13330.2012, значение  $R_0^{\text{ТР}}$  определяется по формуле:

$$R_0^{\text{ТР}} = a * \text{ГСОП} + b \quad (\text{м}^2 * \text{°C}/\text{Вт})$$

где: **a** и **b** – коэффициенты, значения которых принимаются по Таблице 3 СП 50.13330.2012, для жилых домов: **a = 0.00035**, **b = 1.4**

**ГСОП** - градусо-сутки отопительного периода, определяются по формуле 5.2 СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) * Z_{\text{от}} \quad \text{°C} * \text{сут}/\text{год}$$

где:

$t_{\text{в}} = 20 \text{ °C}$  - расчетная температура внутреннего воздуха ( $\text{°C}$ ), принимается по ГОСТ 30494.

$t_{\text{от}}$ ,  $Z_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха ( $\text{°C}$ ) и продолжительность (сут/год) отопительного периода, определяемые по Таблице 3.1 СП.131.13330.2012 "Строительная климатология" для жилых домов принимается период с фактической температурой наружного воздуха не более  $8 \text{ °C}$ .

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП), определяются по формуле 5.2 СП 50.13330.2012

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) * Z_{\text{от}} \quad \text{°C} * \text{сут}/\text{год}$$

где:  $t_{\text{от}}$ ,  $Z_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха ( $\text{°C}$ ) и продолжительность (сут/год) отопительного периода соответственно, определяемые по Таблице 3.1 СП.131.13330.2012 "Строительная климатология" для периода с фактической температурой наружного воздуха не более  $8 \text{ °C}$  для жилых домов.

**Проведем расчет ГСОП,  $R_0^{\text{ТР}}$  и  $R_0^{\text{норм}}$  для г.Краснодара:**

В соответствии с Таблицей 3.1 СП.131.13330.2012 "Строительная климатология"

$$t_{\text{от}} = 2.5 \text{ °C}, \quad Z_{\text{от}} = 145 \text{ суток}$$

$t_{\text{в}} = 20 \text{ °C}$  - расчетная температура внутреннего воздуха жилого дома ( $\text{°C}$ ), принимается для соответствующего типа здания по минимальным значениям оптимальной температуры по ГОСТ 30494.

тогда:

$$\text{ГСОП}_{\text{Краснодар}} = (20 - 2.5) * 145 = 2538 \text{ °C} * \text{сут}/\text{год}$$

$$R_0^{\text{ТР}} = 0.00035 * 2538 + 1.4 = 2.29 \text{ м}^2 * \text{°C}/\text{Вт}$$

$$R_0^{\text{норм}} = 2.29 * 0.63 = 1.44 \text{ м}^2 * \text{°C}/\text{Вт}$$

По аналогии с проведенным расчетом проведем расчет **ГСОП,  $R_0^{\text{ТР}}$  и  $R_0^{\text{норм}}$**  для населенных пунктов Европейской части России, результаты вычислений сведем в Таблицу 1.

**Таблица 1** – Климатические параметры, градусо-сутки отопительного периода, требуемое и нормируемое сопротивление теплопередаче, условия эксплуатации по зонам влажности

Населенный пункт*	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	Продолжительность отопительного периода	Градусо-сутки отопительного периода	Требуемое сопротивление теплопередаче стен	Нормируемое сопротивление теплопередаче стен	Условия эксплуатации ограждающих конструкций по зонам влажности
	t от	Zот	ГСОП	R <sub>0</sub> <sup>тp</sup>	R <sub>0</sub> <sup>норм</sup>	
	°C	сут/год	°C * сут/год	м <sup>2</sup> * °C/Вт	м <sup>2</sup> * °C/Вт	
<b>Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО</b>						
Астрахань	-0,8	164	3 411	2,59	1,63	А
Владикавказ	0,7	169	3 262	2,54	1,60	А
Волгоград	-2,3	176	3 925	2,77	1,75	А
Грозный	0,9	159	3 037	2,46	1,55	А
Дербент	3,7	138	2 249	2,19	1,38	А
Кисловодск	0,4	179	3 508	2,63	1,66	Б
Красная Поляна	3,0	181	3 077	2,48	1,56	Б
Краснодар	2,5	145	2 538	2,29	1,44	А
Майкоп	2,3	148	2 620	2,32	1,46	Б
Махачкала	2,7	144	2 491	2,27	1,43	А
Миллерово	-1,7	195	4 232	2,88	1,82	А
Нальчик	0,6	168	3 259	2,54	1,60	А
Невинномыск	0,1	168	3 343	2,57	1,62	Б
Приморско-Ахтарск	1,0	159	3 021	2,46	1,55	А
Пятигорск	0,2	175	3 465	2,61	1,65	Б
Ростов-на-Дону	-0,1	166	3 337	2,57	1,62	А
Сочи	6,6	94	1 260	1,84	1,16	Б
Ставрополь	0,5	168	3 276	2,55	1,60	Б
Симферопль**	2,6	153	2 662	2,33	1,47	Б
Таганрог	0,0	180	3 600	2,66	1,68	А
Тихорецк	1,2	156	2 933	2,43	1,53	А
Черкесск	0,6	169	3 279	2,55	1,60	Б
Феодосия**	3,4	140	2 324	2,21	1,39	Б
Элиста	-1,0	169	3 549	2,64	1,66	А
Ялта**	5,1	119	1 773	2,02	1,27	Б
<b>Центральный Федеральный Округ - ЦФО</b>						
Белгород	-1,9	191	4 183	2,86	1,80	А
Брянск	-2,0	199	4 378	2,93	1,85	Б
Владимир	-3,5	213	5 006	3,15	1,99	Б
Воронеж	-2,5	190	4 275	2,90	1,82	А
Дмитров	-3,1	216	4 990	3,15	1,98	Б
Калуга	-2,9	210	4 809	3,08	1,94	Б
Кашира	-3,4	212	4 961	3,14	1,98	Б
Кострома	-3,9	222	5 306	3,26	2,05	Б
Курск	-2,3	194	4 326	2,91	1,84	Б

Липецк	-3,4	202	<b>4 727</b>	3,05	<b>1,92</b>	<b>А</b>
Москва	-2,2	205	<b>4 551</b>	2,99	<b>1,89</b>	<b>Б</b>
Орел	-2,4	199	<b>4 458</b>	2,96	<b>1,86</b>	<b>Б</b>
Рязань	-3,5	224	<b>5 264</b>	3,24	<b>2,04</b>	<b>Б</b>
Смоленск	-2,0	209	<b>4 598</b>	3,01	<b>1,90</b>	<b>Б</b>
Тула	-3,0	207	<b>4 761</b>	3,07	<b>1,93</b>	<b>Б</b>
Ярославль	-4,0	221	<b>5 304</b>	3,26	<b>2,05</b>	<b>Б</b>
<b>Приволжский Федеральный Округ - ПФО</b>						
Йошкар-Ола	-4,9	215	<b>5 354</b>	3,27	<b>2,06</b>	<b>Б</b>
Нижний Новгород	-4,1	215	<b>5 182</b>	3,21	<b>2,02</b>	<b>Б</b>
Пенза	-4,1	200	<b>4 820</b>	3,09	<b>1,94</b>	<b>А</b>
Самара	-5,2	217	<b>5 468</b>	3,31	<b>2,09</b>	<b>А</b>
Саранск	-4,5	209	<b>5 121</b>	3,19	<b>2,01</b>	<b>А</b>
Саратов	-3,5	202	<b>4 747</b>	3,06	<b>1,93</b>	<b>А</b>
Ульяновск	-5,4	212	<b>5 385</b>	3,28	<b>2,07</b>	<b>А</b>
Чебоксары	-4,9	217	<b>5 403</b>	3,29	<b>2,07</b>	<b>Б</b>

Примечание

\* - климатические параметры приняты для населенных пунктов, приведенных в СП 131.13330.2012

\*\* - климатические параметры приняты по СНиП 23-01-82

## 1.2. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен

Расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен в соответствии с п.5 СП 50.13330.2012 должно быть больше значения нормируемого приведенного сопротивления теплопередаче

$$R_0^{np} \geq R_0^{norm}$$

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче  $R_0^{np}$  наружных стен производится в соответствии с Приложением Е СП 50.13330.2012 по результатам расчета температурных полей по формуле Е.1:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_{0ycl}} + \sum L_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum L_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} \quad (M^2 \cdot ^\circ C / Bt)$$

где:

$R_0^{ycl}$  – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции ( $M^2 \cdot ^\circ C / Bt$ ), определяемое по формуле Е.6;

$a_i$  – площадь плоского элемента конструкции  $i$ -того вида, приходящегося на  $1m^2$  фрагмента ограждающей конструкции ( $M^2 / M^2$ );

$U_i$  – удельные потери теплоты через плоский элемент ограждающей конструкции  $i$ -того вида ( $Bt / M^2 \cdot ^\circ C$ );

$L_j$  – протяженность (м) линейной неоднородности  $j$ -того вида, приходящегося на  $1m^2$  фрагмента ограждающей конструкции ( $M / M^2$ );

$\Psi_j$  – удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $j$ -того вида ( $Bt / M \cdot ^\circ C$ );

$n_k$  – количество (шт) точечных неоднородностей  $k$ -того вида, приходящегося на  $1m^2$  фрагмента ограждающей конструкции ( $M / M^2$ );

$\chi_k$  – удельные потери теплоты через точечную неоднородность  $k$ -того вида ( $Bt / ^\circ C$ ).

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (M^2 / M^2)$$

где:

$A_i$  – площадь  $i$ -той части фрагмента ограждающей конструкции ( $M^2$ )

$$U_i = \frac{1}{R_{0\text{усл}}} \quad (\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°C})$$

Значения удельных потерь теплоты  $\Psi_j$  и  $X_k$  через линейные и точечные теплотехнические неоднородности рассчитываются по температурным полям по формулам и методике представленной в разделах Е.3 и Е.4 СП 50.13330.2012, либо принимаются по справочным значениям в соответствии с СП 230.1325800.2015 "Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей".

Поскольку мы проводим расчет для **условной наружной стены**, в которой общая площадь стен, тип и количественные показатели теплотехнических неоднородностей нам не известны, проведем расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены  $R_0^{\text{нр}}$ , применив коэффициент теплотехнических неоднородностей  $K_{\text{тнн}} = 0,8$ , тогда:

$$R_0^{\text{нр}} = R_0^{\text{усл}} * K_{\text{тнн}} = R_0^{\text{усл}} * 0,8 \quad (\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт})$$

Определим  $R_0^{\text{усл}}$  по формуле Е.6:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт})$$

где:

$\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимается по Таблице 4:

для стен:  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$

$\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, принимается по Таблице 6:

для стен:  $\alpha_B = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$

$R_s$  – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента ограждающей конструкции ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ), определяемое по формуле Е.7:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт})$$

где:

$\delta_s$  – толщина слоя (м)

$\lambda_s$  – теплопроводность слоя материала ( $\text{Вт/м} \cdot \text{°C}$ ), принимается по результатам испытаний сертифицированной лаборатории, или по Таблице Т.1 СП 50.13330.2012 для соответствующих условий эксплуатации **А** или **Б** по географической зоне влажности, определяемой по п.4.4.

В соответствии с п.4.4 определим условия эксплуатации ограждающих конструкций **А** или **Б** по зоне влажности для жилых домов для городов Европейской части РФ и результаты сведем в Таблицу 1.

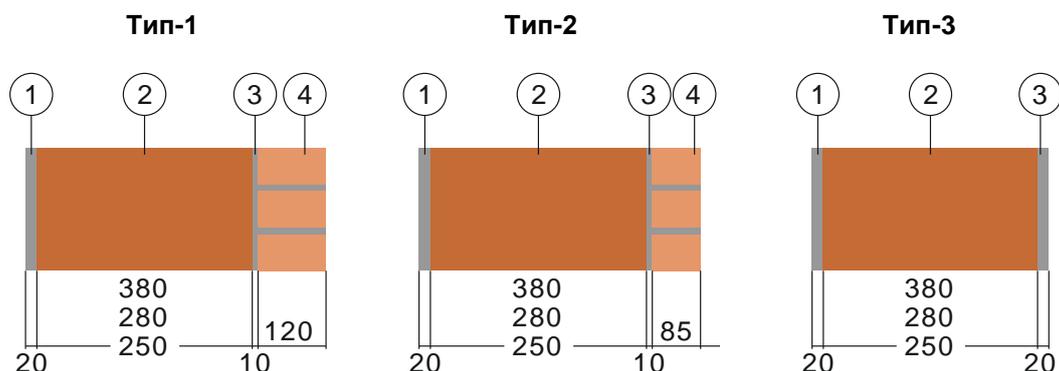
Значения коэффициентов теплопроводности для камня **POROMAX** и керамического лицевого кирпича приняты по результатам испытаний на теплопроводность каменных кладок и представлены в Таблице 2.

**Таблица 2** – Значения коэффициентов теплопроводности

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$		Источник информации
	условия А	условия Б	
	$\lambda_A$	$\lambda_B$	
Раствор цементно-песчаный	<b>0,76</b>	<b>0,93</b>	Таблица Т.1, п.201 СП 50.13330.2012

Раствор известково-песчаный	<b>0,70</b>	<b>0,81</b>	Таблица Т.1, п.203 СП 50.13330.2012
Кирпич керамический лицевой пустотелый <b>0,7NF</b>	<b>0,331</b>	<b>0,445</b>	<a href="#">Протокол № 626 от 28.05.2009г.</a>
Кирпич керамический лицевой пустотелый <b>1NF</b>	<b>0,323</b>	<b>0,333</b>	<a href="#">Протокол № 81 от 29.11.2007г.</a>
Камень керамический <b>POROMAX-380</b>	<b>0,189</b>	<b>0,199</b>	<a href="#">Протокол № 1877 от 25.11.2013г.</a>
Камень керамический <b>POROMAX-280</b>	<b>0,179</b>	<b>0,190</b>	<a href="#">Протокол № 185 от 12.02.2014г.</a>
Камень керамический <b>POROMAX-250</b>	<b>0,194</b>	<b>0,204</b>	<a href="#">Протокол № 1876 от 25.11.2013г.</a>

Рассмотрим наиболее **распространенные типы стен** из камня **POROMAX** и проведем теплотехнический расчет:



**Стена Тип-1 (Тип-1-380, Тип-1-280, Тип-1-250)** конструкция из помещения наружу:

1. **Штукатурный слой** – 20 мм, раствор известково-песчаный;
2. **Камень керамический** – POROMAX-380 (380 мм) или POROMAX-280 (280 мм) или POROMAX-250 (250 мм);
3. **Вертикальный растворный шов\*** – 10 мм, раствор цементно-песчаный;
4. **Кирпич керамический лицевой** – 1NF (120 мм).

Примечание \* - вертикальный растворный шов между слоями каменной кладки необходим для обеспечения **термического и конструктивного соединения слоев**.

**Стена Тип-2 (Тип-2-380, Тип-2-280, Тип-2-250)** конструкция из помещения наружу:

1. **Штукатурный слой** – 20 мм, раствор известково-песчаный;
2. **Камень керамический** – POROMAX-380 (380 мм) или POROMAX-280 (280 мм) или POROMAX-250 (250 мм);
3. **Вертикальный растворный шов** – 10 мм, раствор цементно-песчаный;
4. **Кирпич керамический лицевой** – 0,7NF (85 мм).

**Стена Тип-3 (Тип-3-380, Тип-3-280, Тип-3-250)** конструкция из помещения наружу:

1. **Штукатурный слой** – 20 мм, раствор известково-песчаный;
2. **Камень керамический** – POROMAX-380 (380 мм) или POROMAX-280 (280 мм) или POROMAX-250 (250 мм);
3. **Штукатурный слой** – 20 мм, раствор цементно-песчаный;

Определим термическое сопротивление слоев  $R_s$  и условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{усл}$  для стены **Тип-1-380**, условия эксплуатации - **А**, используя коэффициенты теплопроводности слоев (Таблица 2):

**1 слой** - штукатурный -  $\lambda_{A1} = 0.70 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s1} = \frac{0.02}{0.7} = 0.029 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**2 слой** – каменный, POROMAX-380 -  $\lambda_{A2} = 0.189 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s2} = \frac{0.38}{0.189} = 2.01 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**3 слой** - растворный шов -  $\lambda_{A3} = 0.76 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s3} = \frac{0.01}{0.76} = 0.013 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**4 слой** – каменный, кирпич лицевой 1NF -  $\lambda_{A4} = 0.323 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s4} = \frac{0.12}{0.323} = 0.372 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

тогда:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8.7} + 0.029 + 2.01 + 0.013 + 0.372 + \frac{1}{23} = 2.58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Определим термическое сопротивление слоев  $R_s$  и условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{усл}}$  для стены **Тип-1-380**, условия эксплуатации - **Б**, используя коэффициенты теплопроводности слоев (Таблица 2):

**1 слой** - штукатурный -  $\lambda_{B1} = 0.81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s1} = \frac{0.02}{0.81} = 0.025 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**2 слой** – каменный, POROMAX-380 -  $\lambda_{B2} = 0.199 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s2} = \frac{0.38}{0.199} = 1.91 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**3 слой** - растворный шов -  $\lambda_{B3} = 0.93 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s3} = \frac{0.01}{0.93} = 0.011 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

**4 слой** – каменный, кирпич лицевой 1NF -  $\lambda_{B4} = 0.333 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

$$R_{s4} = \frac{0.12}{0.333} = 0.36 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

тогда:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8.7} + 0.025 + 1.91 + 0.011 + 0.36 + \frac{1}{23} = 2.46 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

По аналогии рассчитаем условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{усл}}$  рассматриваемых типов стен при условиях эксплуатации **А** и **Б**, результаты вычислений сведем в Таблицу 3.

**Таблица 3** – Расчетные значения условного сопротивления теплопередаче

Тип стены	Условное сопротивление теплопередаче наружной стены без учета точечных и линейных теплопроводных неоднородностей, $R_0^{усл}, м^2 * °C/Вт$					
	при основном слое POROMAX при условиях эксплуатации А и Б					
	POROMAX-380		POROMAX-280		POROMAX-250	
	А	Б	А	Б	А	Б
Тип-1	2.58	2.46	2.14	2.03	1.86	1.78
Тип-2	2.47	2.30	2.02	1.86	1.75	1.61
Тип-3	2.22	2.12	1.78	1.68	1.50	1.43

Рассчитаем приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{пр}$  рассматриваемых типов стен при условиях эксплуатации А и Б, с учетом условных теплотехнических неоднородностей:

$$R_0^{пр} = R_0^{усл} * 0.8, \quad м^2 * °C/Вт$$

результаты вычислений сведем в Таблицу 4.

**Таблица 4** – Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче

Тип стены	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен с учетом точечных и линейных теплопроводных неоднородностей ( $K_{тпн} = 0.8$ ) $R_0^{пр}, м^2 * °C/Вт$					
	при основном слое POROMAX при условиях эксплуатации А и Б					
	POROMAX-380		POROMAX-280		POROMAX-250	
	А	Б	А	Б	А	Б
Тип-1	2.06	1.97	1.71	1.62	1.49	1.42
Тип-2	1.98	1.84	1.62	1.49	1.40	1.29
Тип-3	1.78	1.70	1.42	1.34	1.20	1.14

Сравним расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче рассматриваемых типов стен со значением нормируемого сопротивления теплопередаче для населенных пунктов Европейской части РФ с учетом условий эксплуатации по зонам влажности и, определим, какие типы стен из камня **POROMAX** подойдут для условного жилого дома по теплозащите.

Результаты сравнения представим в виде Таблицы 5, где типы стен, удовлетворяющие требованиям п.5 СП 50.13330.2012, то есть  $R_0^{пр} \geq R_0^{норм}$ , обозначены знаком "+" и выделены оранжевым цветом.

Полный тепловой расчет, в том числе: расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен, удельного расхода энергии на отопление, теплоустойчивости, воздухопроницаемости и защиты от переувлажнения типового двухэтажного многоквартирного жилого дома с наружными стенами из камня **POROMAX** смотрите в [Тепловой расчет жилого дома](#).

**Таблица 5** – Типы стен из камня **POROMAX**, удовлетворяющие требованиям п.5 СП 50.13330.2012 для населенных пунктов Европейской части РФ без дополнительного утепления

Населенный пункт	Нормируемое сопротивление теплопередаче стен	Условия эксплуатации ограждающих конструкций по зонам влажности	Типы стен с основным несущим слоем из камня <b>POROMAX</b>								
			POROMAX-380			POROMAX-280			POROMAX-250		
			Тип-1	Тип-2	Тип-3	Тип-1	Тип-2	Тип-3	Тип-1	Тип-2	Тип-3
			облицовкой кирпичом 1NF	облицовкой кирпичом 0.7NF	Однослойная	облицовкой кирпичом 1NF	облицовкой кирпичом 0.7NF	Однослойная	облицовкой кирпичом 1NF	облицовкой кирпичом 0.7NF	Однослойная
			Приведенное сопротивление теплопередаче стены при условиях эксплуатации А и Б $R_0^{пр}, м^2 \cdot ^\circ C/Вт$								
$R_0^{норм}$	А	2,06	1,98	1,78	1,71	1,62	1,42	1,49	1,40	1,20	
$м^2 \cdot ^\circ C/Вт$	Б	1,97	1,84	1,70	1,62	1,49	1,34	1,42	1,29	1,14	
<b>Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО</b>											
Астрахань	1,63	А	+	+	+	+					
Владикавказ	1,60	А	+	+	+	+	+				
Волгоград	1,75	А	+	+	+						
Грозный	1,55	А	+	+	+	+	+				
Дербент	1,38	А	+	+	+	+	+	+	+	+	
Кисловодск	1,66	Б	+	+	+						
Красная Поляна	1,56	Б	+	+	+	+	+				
Краснодар	1,44	А	+	+	+	+	+		+		
Майкоп	1,46	Б	+	+	+	+	+				
Махачкала	1,43	А	+	+	+	+	+		+		
Миллерово	1,82	А	+	+							
Нальчик	1,60	А	+	+	+	+	+				
Невинномыск	1,62	Б	+	+	+	+					
Приморско-Ахтарск	1,55	А	+	+	+	+	+				
Пятигорск	1,65	Б	+	+	+						
Ростов-на-Дону	1,62	А	+	+	+	+	+				
Сочи	1,16	Б	+	+	+	+	+	+	+	+	
Ставрополь	1,60	Б	+	+	+	+					
Симферопль	1,47	Б	+	+	+	+	+				
Таганрог	1,68	А	+	+	+	+					
Тихорецк	1,53	А	+	+	+	+	+				
Черкесск	1,60	Б	+	+	+	+					
Феодосия	1,39	Б	+	+	+	+	+		+		
Элиста	1,66	А	+	+	+	+					
Ялта	1,27	Б	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Центральный Федеральный Округ - ЦФО</b>											
Белгород	1,80	А	+	+							
Брянск	1,85	Б	+								
Воронеж	1,82	А	+	+							
Калуга	1,94	Б	+								
Курск	1,84	Б	+	+							

Липецк	1,92	А	+	+						
Москва	1,89	Б	+							
Орел	1,86	Б	+							
Смоленск	1,90	Б	+							
Тула	1,93	Б	+							
<b>Приволжский Федеральный Округ - ПФО</b>										
Пенза	1,94	А	+	+						
Саранск	2,01	А	+							
Саратов	1,93	А	+	+						

## 2. Теплоустойчивость наружных стен

В соответствии с требованием п.6.1 СП 50.13330.2012 в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше расчетная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций, в том числе наружных стен  $A_T$  (°С) жилых зданий, не должна быть более нормируемой амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции  $A_T^{TP}$  (°С), определяемой по формуле 6.1

$$A_T^{TP} = 2,5 - 0,1 (t_n - 21), \text{ } ^\circ\text{C}$$

где:  $t_n$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль °С, принимаемая по таблице 5.1 СП 131.13330.2012 "Строительная климатология".

В соответствии с примечанием 3 п. 6 СП 50.13330.2012 при суммарной тепловой инерции ограждающей конструкции  $D > 4$ , расчет на теплоустойчивость не требуется.

Проведем расчет суммарной тепловой инерции  $D$  для рассматриваемых типов стен по формуле 6.5:

$$D = \sum D_i = \sum R_i * s_i$$

где:

$D_i$  – тепловая инерция отдельного  $i$ -го слоя;

$R_i$  – термическое сопротивление  $i$ -го слоя,  $\text{м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$s_i$  – расчетный коэффициент теплоусвоения материала  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/\text{м}^2 * ^\circ\text{C}$ ;

Термическое сопротивление слоя конструкции определяется по формуле 6.6:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad \text{м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

где:

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м;

$\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя материала,  $\text{Вт}/\text{м} * ^\circ\text{C}$ ;

Значение расчетных коэффициентов теплоусвоения материалов  $i$ -го слоя  $s_i$ , принимается по таблице Т.1 СП 50.13330.2012 и представлены Таблице 6.

**Таблица 6** – Коэффициенты теплоусвоения материалов

Наименование материала	Коэффициент теплоусвоения $s$ , $\text{Вт}/\text{м}^2 * ^\circ\text{C}$
187. Кирпичная кладка из керамического пустотелого кирпича плотностью 1400 $\text{кг}/\text{м}^3$ (брутто) на цементно-песчанном растворе	<b>8,48</b>
189. Кирпичная кладка из керамического пустотелого кирпича плотностью 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$ (брутто) на цементно-песчанном растворе	<b>6,62</b>

201. Раствор цементно-песчаный	11,09
203. Раствор известково-песчаный	9,76

Определим суммарную тепловую инерцию **D** для стены **Тип-1-380**, используя значения термического сопротивления слоев определенные в разделе 1.2 настоящей статьи для условий эксплуатации **A**:

$$\mathbf{1 \text{ слой}} - \text{штукатурный} - R_{s1} = \frac{0.02}{0.7} = \mathbf{0.029 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}}$$

$$\mathbf{2 \text{ слой}} - \text{каменный, POROMAX-380} - R_{s2} = \frac{0.38}{0.189} = \mathbf{2.01 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}}$$

$$\mathbf{3 \text{ слой}} - \text{растворный шов} - R_{s3} = \frac{0.01}{0.76} = \mathbf{0.013 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}}$$

$$\mathbf{4 \text{ слой}} - \text{каменный, кирпич лицевой 1NF} - R_{s4} = \frac{0.12}{0.323} = \mathbf{0.372 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}}$$

тогда:

$$\mathbf{D_{1-380} = 0.029 \cdot 9,76 + 2.01 \cdot 6,62 + 0.013 \cdot 11,09 + 0.372 \cdot 8,48 = 16,89}$$

По аналогии рассчитаем суммарную тепловую инерцию **D** для рассматриваемых типов стен для условий эксплуатации по зонам влажности **A** и **B**, результаты вычислений сведем в Таблицу 7.

**Таблица 7** – Тепловая инерция наружных стен

Тип стены	Тепловая инерция наружных стен, D					
	при основном слое POROMAX при условиях эксплуатации A и B					
	POROMAX-380		POROMAX-280		POROMAX-250	
	A	B	A	B	A	B
Тип-1	16,89	16,06	13,93	13,17	12,16	11,53
Тип-2	15,92	14,62	12,96	11,74	11,19	10,09
Тип-3	13,89	13,12	10,93	10,24	9,16	8,59

По результатам проведенных расчетов тепловая инерция всех рассмотренных типов наружных стен для условий эксплуатации **A** и **B** составляет **D > 4**, соответственно проведение расчетов на теплоустойчивость наружных стен из камня **POROMAX** не требуется.

### 3. Воздухопроницаемость наружных стен

Сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  ограждающих конструкций в соответствии с требованием п. 7.1 СП 50.13330.2012 должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{TP}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ , определяемого по формуле 7.1:

$$R_u^{TP} = \Delta p / G_n, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$$

где:

$\Delta p$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренних поверхностях ограждающей конструкции, Па.

$G_n$  – нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций,  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ , принимаемая по таблице 9 СП 50.13330.2012.

В соответствии с таблицей 9 нормируемая поперечная воздухопроницаемость наружных стен жилых зданий равна  $G_n = 0.5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности стен определяется по формуле 7.2:

$$\Delta p = 0,55H (y_n - y_v) + 0,03y_n * v^2, \quad \text{Па}$$

где: **H** – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м.

Для типового двухэтажного жилого дома примем **H = 15 м**

$y_n, y_v$  - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н/м}^3$ , определяемые по формуле 7.3:

$$y = 3463 / (273 + t), \quad \text{Н/м}^3$$

$t_v$  – температура воздуха внутреннего (для определения  $y_v$ ) принимается =  $20^\circ\text{C}$ , для жилых зданий;  
 $t_n$  – температура воздуха наружного (для определения  $y_n$ ) принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92 % по таблице 3.1 СП 131.13330.2012;  
 $v$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимается по таблице 3.1 СП 131.13330.2012, м/с;

Удельный вес внутреннего воздуха для жилых зданий

$$Y_v = 3463 / (273 + t_v) = 3463 / (273 + 20) = 11,82 \text{ Н/м}^3$$

Удельный вес наружного воздуха для жилых зданий:

$$Y_n = 3463 / (273 + t_n)$$

Определим значения удельного веса наружного воздуха  $Y_n$ , разность давлений на наружной и внутренней поверхности стен  $\Delta p$  и нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{TP}$  для жилого дома высотой **15 м** в г.Краснодаре при климатических параметрах  $t_n = -14^\circ\text{C}$ ,  $v = 3,7 \text{ м/с}$ :

$$Y_n = 3463 / (273 - 14) = 13,37 \text{ Н/м}^3$$

$$\Delta p = 0,55 * 15 (13,37 - 11,82) + 0,03 * 13,37 * 3,7^2 = 18,28 \text{ Па}$$

$$R_u^{TP} = 18,28 / 0,5 = 36,57 \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/кг}$$

По аналогии рассчитаем значения удельного веса наружного воздуха, разности давлений и нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{TP}$  для населенных пунктов Европейской части РФ представленных в таблице 2 для жилого дома высотой **H = 15 м**, результаты сведем в таблицу 8.

**Таблица 8** – Климатические параметры, удельный вес наружного воздуха, разность давлений и нормируемое сопротивление воздухопроницанию

Населенный пункт	Средняя температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 92 %	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более	Удельный вес наружного воздуха	Разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхности стены	Нормируемое сопротивление воздухопроницанию,
	$t_n$	$v$	$Y_n$	$\Delta p$	$R_u^{TP}$
	$^\circ\text{C}$	м/с	Н/м <sup>3</sup>	Па	м <sup>2</sup> * ч * Па/кг
<b>Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО</b>					
Астрахань	-21	3,8	13,74	21,81	43,62
Владикавказ	-13	2,0	13,32	13,97	27,93

Волгоград	-22	5,1	13,80	27,07	54,15
Грозный	-17	3,8	13,53	19,95	39,89
Дербент	-9	5,2	13,12	21,34	42,69
Кисловодск	-16	6,2	13,47	29,19	58,38
Красная Поляна	-9	2,5	13,12	13,16	26,33
Краснодар	-14	3,7	13,37	18,28	36,57
Майкоп	-19	5,7	13,63	28,25	56,51
Махачкала	-13	5,1	13,32	22,76	45,52
Миллерово	-21	6,1	13,74	31,20	62,39
Нальчик	-18	2,5	13,58	17,07	34,14
Невинномыск	-18	7,0	13,58	34,49	68,97
Приморско-Ахтарск	-20	3,8	13,69	21,34	42,68
Пятигорск	-20	6,3	13,69	31,71	63,41
Ростов-на-Дону	-19	4,8	13,63	24,39	48,78
Сочи	-2	2,5	12,78	10,30	20,61
Ставрополь	-18	7,4	13,58	36,83	73,67
Симферопль*	нет данных	нет данных			
Таганрог	-18	4,0	13,58	21,04	42,08
Тихорецк	-17	3,9	13,53	20,26	40,52
Черкесск	-18	3,2	13,58	18,70	37,39
Феодосия*	нет данных	нет данных			
Элиста	-23	8,5	13,85	46,79	93,58
Ялта*	нет данных	нет данных			
<b>Центральный Федеральный Округ - ЦФО</b>					
Белгород	-23	5,9	13,85	31,23	62,46
Брянск	-24	3,4	13,91	22,05	44,09
Воронеж	-24	4,0	13,91	23,90	47,80
Калуга	-27	4,9	14,08	28,76	57,52
Курск	-24	3,9	13,91	23,57	47,14
Липецк	-27	5,9	14,08	33,32	66,65
Москва	-25	2,0	13,96	19,36	38,72
Орел	-25	4,7	13,96	26,94	53,88
Смоленск	-25	3,9	13,96	24,06	48,11
Тула	-27	4,9	14,08	28,76	57,52
<b>Приволжский Федеральный Округ - ПФО</b>					
Пенза	-27	4,4	14,08	26,80	53,60
Самара	-30	5,4	14,25	32,52	65,05
Саранск	-30	6,9	14,25	40,41	80,82
Саратов	-25	4,4	13,96	25,80	51,59

Примечание - \* для населенных пунктов климатические параметры в СП 131.13330.2012 не представлены.

Сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  ограждающих конструкций в соответствии с требованием п. 7.4 СП 50.13330.2012 рассчитывается по формуле 7.4

$$R_u = \sum R_i, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$$

Где:  $R_i$  – сопротивление воздухопроницанию  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$

Значение сопротивления воздухопроницанию  $R$  для каждого слоя ограждающей конструкции принимается по таблице С.1 СП 50.13330.2012 и представлены Таблице 9.

**Таблица 9** – Сопротивление воздухопроницанию слоев конструкции

Наименование материала	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию $R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$
Раствор цементно-песчаный	10 - 20	248 - 496
Раствор известково-песчаный	20	189
Кирпич керамический лицевой пустотелый <b>0,7NF</b> с расшивкой швов	85	15,6
Кирпич керамический лицевой пустотелый <b>1NF</b> с расшивкой швов	120	22
Камень керамический <b>POROMAX-380</b>	380	12,35
Камень керамический <b>POROMAX-280</b>	280	9,1
Камень керамический <b>POROMAX-250</b>	250	8,12

Определим расчетное сопротивление наружной стены **Тип-1-380**:

$$R_u = 189 + 12,35 + 248 + 22 = 471 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$$

По аналогии рассчитаем значения сопротивления воздухопроницанию  $R_u$  для рассматриваемых типов стен, результаты сведем в таблицу 10.

**Таблица 10** – Расчетные значения сопротивления воздухопроницанию

Тип стены	Сопротивление воздухопроницанию, $R_u$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$		
	при основном слое <b>POROMAX</b>		
	<b>POROMAX-380</b>	<b>POROMAX-280</b>	<b>POROMAX-250</b>
Тип-1	471	468	467
Тип-2	465	462	461
Тип-3	697	694	693

По результатам проведенных расчетов, сопротивление воздухопроницанию наружных стен для населенных пунктов Европейской части РФ для жилого дома высотой 15 м больше нормируемого сопротивления воздухопроницания  $R_u > R_u^{TP}$ , **требование по сопротивлению воздухопроницания выполняется.**

#### 4. Защита от переувлажнения наружных стен

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса п.8.1 СП 50.13330.2012.

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ , наружной стены в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения, определяется по п.8.5 СП 50.13330.2012:

$$R_n = \sum R_{ni} \text{ до сечения } X, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

где:  $R_{ni}$  до сечения  $X$  – сопротивление паропрооницанию  $i$ -го слоя ограждающей конструкции до сечения максимального увлажнения.

$$R_{ni} = \delta i / \mu_i, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

где:

$\delta i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции, м;

$\mu_i$  – коэффициент паропрооницаемости материала  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ ;

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$  до плоскости максимального увлажнения должно быть не менее, наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропрооницанию:

$$R_n > \text{наибольшего из } R_{n1}^{\text{TP}} \text{ или } R_{n2}^{\text{TP}}$$

а) Требуемого сопротивления паропрооницанию  $R_{n1}^{\text{TP}}$  (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле 8.1 СП 50.13330.2012.

$$R_{n1}^{\text{TP}} = [(e_b - E) R_{п.н}] / (E - e_n), \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

б) Требуемого сопротивления паропрооницанию  $R_{n2}^{\text{TP}}$  (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле 8.2 СП 50.13330.2012.

$$R_{n2}^{\text{TP}} = [0,0024Z_0(e_b - E_0)] / (\rho_w \delta_{w\Delta} \omega + \eta), \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

где:

$e_b$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, определяемое по формуле 8.3:

$$e_b = (\varphi_b / 100) E_b, \quad \text{Па}$$

где:

$\varphi_b$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая в соответствии с п.5.7 СП 50.13330.2012 для жилых зданий  $\varphi_b = 55 \%$

$E_b$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре воздуха помещения, определяемое по формуле 8.8 СП 50.13330.2012:

$$E_b = 1.84 \cdot 10^{11} \cdot \exp^{[-5330 / (273 + t)]}, \quad \text{Па}$$

для жилых зданий  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  тогда:

$$E_b = 2315 \text{ Па}, e_b = 1273 \text{ Па}$$

$E$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па, определяемое по формуле 8.4 СП:

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

где:

$E_1, E_2, E_3$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, соответственно зимнего, весеннее-летнего и летнего периодов, Па, определяемые по температуре в плоскости максимального увлажнения по формуле 8.8, при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода.

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность зимнего, весеннее-летнего и летнего периодов года, мес, определяемые по таблице 5.1 СП 131. 13330.2012 с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

б) к весеннее-летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше + 5 °С;

Продолжительность периодов **z** и среднюю температуру периодов **t** определяем по таблице 5.1 СП 131.13330.2012:

для г.Краснодара:

$$z_1 = 0 \text{ мес. с } t < - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$z_2 = 3 \text{ мес. с } - 5 \text{ } ^\circ\text{C} < t < + 5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (I, II, XII)}$$

$$z_3 = 9 \text{ мес. с } t > + 5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (IV - XI)}$$

$$t_2 = (- 0,2 + 1 + 2) / 3 = 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = (5,4 + 12,2 + 17,3 + 21 + 23,8 + 23,2 + 18,1 + 11,9 + 6,3) / 9 = 15,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$R_{п.н}$  – сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, определяемое как разница между общим сопротивлением паропрооницаемости ограждающей конструкции  $R_{о.п}$  и сопротивления паропрооницаемости части ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения  $R_{п.}$ .

$e_n$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, определяемое по таблице 7.1 СП 131.13330.2012:

г.Краснодар:  $e_n = 1060 \text{ Па}$

$Z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, **сутки**, принимаемая равной периоду с отрицательными средними температурами наружного воздуха  $t_{н.отр}$  по таблице Т.3.1 СП 131.13330.2012:

г.Краснодар:  $Z_0 = 41 \text{ сут.}$   $t_{н.отр} = - 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$E_0$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления  $Z_0$ . Определим после определения плоскости максимального увлажнения ограждающей конструкции.

$\rho_w$  – плотность материала увлажняемого слоя, **кг/м<sup>3</sup>**;

$\delta_w$  – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, **м**, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине слоя многослойной ограждающей конструкции, в котором располагается плоскость максимального увлажнения;

$\Delta\omega$  – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, **% по массе**, за период влагонакопления  $Z_0$ , принимается по таблице 10 СП 50.13330.2012:

Кладка из глиняного кирпича и керамических камней:  $\Delta\omega = 1,5 \text{ \% по массе}$

Цементно-песчаный раствор:  $\Delta\omega = 2,0 \text{ \% по массе}$

$\eta$  - коэффициент, определяемый по формуле 8.5 СП:

$$\eta = [0,0024 (E_0 - e_{н.отр}) Z_0] / R_{п.н}$$

где:

$e_{н.отр}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па, определяемое по таблице 7.1 СП 131.13330.2012:

г.Краснодар:  $e_{н.отр} = 490/1 = 490 \text{ Па}$

Проведем определение плоскости максимального увлажнения для наружных стен: **Тип-1-280, Тип-2-380 и Тип-3-380**

**Таблица 11** - Технические характеристики материалов слоев выбранных типов стен

Тип стен	Слой 1				Слой 2				Слой 3				Слой 4			
	Известково-песчанная штукатурка				POROMAX				Вертикальный цементно-песчаный шов (штукатурка)				Кирпич лицевой			
	δ	ρ	λ <sub>д</sub>	μ	δ	ρ	λ <sub>д</sub>	μ	δ	ρ	λ <sub>д</sub>	μ	δ	ρ	λ <sub>д</sub>	μ
	м	кг/м <sup>3</sup>	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м <sup>3</sup>	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м <sup>3</sup>	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м <sup>3</sup>	Вт/м °С	мг/ мч Па
Тип-1-280	0,02	1600	0.7	0.12	0,28	800	0.179	0.18	0,01	1800	0.76	0.09	0,12	1600	0.323	0.14
Тип-2-380	0,02	1600	0.7	0.12	0,38	800	0.189	0.18	0,01	1800	0.76	0.09	0,08 5	1600	0.331	0.14
Тип-3-380	0,02	1600	0.7	0.12	0,38	800	0.189	0.18	0,02	1800	0.76	0.09	нет			

Слои пронумерованы от внутренней поверхности из помещения наружу.

Для каждого слоя наружной стены вычисляем значение комплекса  $f_i(t_{м,у})$ , характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения по формуле 8.7 СП 50.13330.2012:

$$f_i(t_{м,у}) = 5330[(R_{о.п}(t_{в} - t_{н.отр})) / (R_0^{усл} (e_{в} - e_{н.отр}))] * \mu_i / \lambda_i$$

где:

$R_{о.п}$  – общее сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции,  $м^2 * ч * Па/мг$ ;

$$R_{о.п} = \sum R_{ni}, \quad м^2 * ч * Па/мг$$

где:  $R_{ni}$  – сопротивление паропрооницанию  $i$ -го слоя ограждающей конструкции.

$$R_{ni} = \delta_i / \mu_i, \quad м^2 * ч * Па/мг$$

где:

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $м$ ;

$\mu_i$  – коэффициент паропрооницаемости материала  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $мг/ м * ч * Па$ ;

$R_0^{усл}$  – условное сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции,  $м^2 * °С/Вт$ ;

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_{н}} \quad м^2 * °С/Вт$$

Расчет  $R_0^{усл}$  для выбранных типов наружных стен произведен в разделе 1.2 настоящей статьи.

$t_{в}$  – температура внутреннего воздуха,  $°С$ , определена ранее =  $20°С$ ;

$t_{н.отр}$  – средняя температура наружного воздуха, для периода с отрицательными среднемесячными температурами,  $°С$ , определена ранее для г.Краснодара.

$e_{в}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха,  $Па$ , определенное ранее  $e_{в} = 1273 Па$ ;

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

Произведем расчет  $R_{о.п}$  для каждого типа наружных стен:

$$R_{о.п}^{1-280} = 0.02/0.12 + 0.28/0.18 + 0.01/0.09 + 0.12/0.14 = 2,691 м^2 * ч * Па/мг;$$

$$R_{о.п}^{2-380} = 0.02/0.12 + 0.38/0.18 + 0.01/0.09 + 0.085/0.14 = 2,996 м^2 * ч * Па/мг;$$

$$R_{о.п}^{3-380} = 0.02/0.12 + 0.38/0.18 + 0.02/0.09 = 2,5 м^2 * ч * Па/мг;$$

Проведем расчет комплекса  $f_i(t_{m,y})$  для каждого слоя выбранных типов стен для условий г. Краснодара, результаты вычислений сведем в Таблицу 12.

**Таблица 12** – Расчетные значения комплекса  $f_i(t_{m,y})$  для климатических условий г. Краснодара

Тип стены	Слой 1	Слой 2	Слой 3	Слой 4
	$f_1(t_{m,y})$	$f_2(t_{m,y})$	$f_3(t_{m,y})$	$f_4(t_{m,y})$
Тип-1-280	29,8	174,7	20,6	73,0
Тип-2-380	29,4	163,5	20,3	54,0
Тип-3-380	26,5	147,5	18,3	нет

По таблице 11 СП 50.13330.2012 определяем значение температуры в плоскости максимального увлажнения  $t_{m,y}$  в зависимости от полученных значений комплекса  $f_i(t_{m,y})$  для каждого слоя наружной стены.

Значения комплекса  $f_1(t_{m,y})$  и  $f_3(t_{m,y})$  для всех типов стен отсутствуют в таблице 11, т.е. в этих слоях не может быть плоскости максимального увлажнения.

Проведем оценку значения комплекса и расчет на примере стены **Тип-1-280** для г. Краснодара

Значение комплекса  $f_2(t_{m,y}) = 174,7$

лежит в границах комплекса  $f(t_{m,y}) = 167,6$  при  $t_{m,y} = -5 \text{ } ^\circ\text{C}$  и комплекса  $f(t_{m,y}) = 179,2$  при  $t_{m,y} = -6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Рассчитаем **единицу** комплекса:  $1 / (179,2 - 167,6) = 0,086 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Тогда температура в плоскости максимального увлажнения 2-го слоя равна:

$$t_{m,y-2} = -5 + (174,7 - 167,6) * 0,086 = -5,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Значение комплекса  $f_4(t_{m,y}) = 73,0$

лежит в границах комплекса  $f(t_{m,y}) = 69,22$  при  $t_{m,y} = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$  и комплекса  $f(t_{m,y}) = 73,51$  при  $t_{m,y} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Рассчитаем **единицу** комплекса:  $1 / (73,51 - 69,22) = 0,233 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Тогда температура в плоскости максимального увлажнения 4-го слоя равна:

$$t_{m,y-4} = 8 + (73,0 - 69,22) * 0,233 = 8,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Далее необходимо определить температуры  $t_x$  на границах каждого из слоев по формуле 8.10 СП при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами:

$$t_x = t_b - [(t_b - t_n) / R_0^{учл}] * R_x, \quad ^\circ\text{C}$$

где:

$R_x$  – сопротивление теплопередаче части многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстояние  $x$ , определяемое по формуле 8.11 СП 50.13330.2012:

$$R_x = 1/\alpha_b + \sum \text{до сечения } X \delta_i / \lambda_i, \quad \text{м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Рассчитаем сопротивление теплопередаче на границах слоев, обозначив индексом равным расстоянию от внутренней поверхности до границы слоя,  $m$ :

$$R_{0,02} = 1/8,7 + 0,02/0,7 = 0,14 \text{ м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_{0,3} = 1/8.7 + 0,02/0,7 + 0,28/0,179 = 1,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

$$R_{0,31} = 1/8.7 + 0,02/0,7 + 0,28/0,179 + 0,01/0,76 = 1,713 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

$$R_{0,43} = 1/8.7 + 0,02/0,7 + 0,28/0,179 + 0,01/0,76 + 0,12/0,333 = 2,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

Тогда температуры на границах слоев при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами  $t_n = -0,2 \text{ °С}$ :

$$t_{0,02} = 20 - [(20 - (-0,2)) / 2,13] * 0,14 = 18,7 \text{ °С};$$

$$t_{0,3} = 20 - [(20 - (-0,2)) / 2,13] * 1,7 = 3,9 \text{ °С};$$

$$t_{0,31} = 20 - [(20 - (-0,2)) / 2,13] * 1,713 = 3,8 \text{ °С};$$

$$t_{0,43} = 20 - [(20 - (-0,2)) / 2,13] * 2,07 = 0,36 \text{ °С};$$

Сравнивая температуры  $t_{м,у-2} = -5 \text{ °С}$  и  $t_{м,у-4} = 8 \text{ °С}$  с температурами на границах слоев по условиям п. 8.5.4 и 8.5.5 СП определяем плоскость максимального увлажнения и координату  $x = 0,31 \text{ м}$ , т.е. плоскость максимального увлажнения расположена на границе 3 и 4 слоев.

Рассчитаем сопротивление паропроницаемости  $R_n$  на границе плоскости максимального увлажнения

$$R_n = \sum R_{ni} \text{ до сечения } X = \sum \delta_i / \mu_i \text{ до сечения } X, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

$$R_n^{1-280-x} = 0,02/0,12 + 0,28/0,18 + 0,01/0,09 = 1,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг};$$

Определим требуемое сопротивление паропроницаемости  $R_{n1}^{TP}$  (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации):

$$R_{n1}^{TP} = [(e_b - E) R_{п,н}] / (E - e_n), \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Все величины необходимые для расчета определены ранее за исключением значения парциального давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения  $E$  за годовой период эксплуатации и сопротивления паропроницаемости части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения  $R_{п,н}$ .

$$\text{Рассчитаем } E = (E_1 * z_1 + E_2 * z_2 + E_3 * z_3) / 12$$

$E_1$  не будем определять, поскольку  $z_1 = 0$ ;

$$E_2 = 1,84 * 10^{11} * \exp^{[-5330 / (273 + t_{x-2})]}$$

$$\text{Определим } t_{x-2} = t_b - [(t_b - t_2) / R_0^{учп}] * R_{0,31} = 20 - [(20 - (-0,9)) / 2,13] * 1,713 = 4,76 \text{ °С};$$

$$E_2 = 1,84 * 10^{11} * 2,718^{[-5330 / (273 + 4,76)]} = 854 \text{ Па};$$

$$E_3 = 1,84 * 10^{11} * \exp^{[-5330 / (273 + t_{x-3})]}$$

$$\text{Определим } t_{x-3} = t_b - [(t_b - t_3) / R_0^{учп}] * R_{0,31} = 20 - [(20 - 15,5) / 2,13] * 1,713 = 16,4 \text{ °С};$$

$$E_3 = 1,84 * 10^{11} * 2,718^{[-5330 / (273 + 16,4)]} = 1850 \text{ Па};$$

Тогда:

$$E = (854 * 3 + 1850 * 9) / 12 = 1601 \text{ Па};$$

Расчетные и нормируемые значения температуры внутреннего и наружного воздуха, парциального давления насыщенного водяного пара сведем в Таблицу 13.

**Таблица 13** – Расчетные и нормируемые значения температур и парциальное давление насыщенного водяного пара для климатических условий г.Краснодара

Параметр	Единица измерения	Значение
$t_b$	$^{\circ}\text{C}$	20
$\varphi_b$	%	55
$E_b$	Па	2315
$e_b$	Па	1273
$Z_0$	сутки	41
$t_{н.отр}$	$^{\circ}\text{C}$	- 0,2
$e_n$	Па	1060
$Z_1$	месяц	0
$Z_2$	месяц	3
$Z_3$	месяц	9
$t_2$	$^{\circ}\text{C}$	0,9
$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	15,5
$e_{н.отр}$	Па	490

Определим  $R_{п.н}^{1-280} = R_{о.п}^{1-280} - R_n^{1-280-x} = 2,691 - 1,83 = 0,861 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$

Тогда

$$R_{n1}^{TP} = [(1273 - 1601) 0,861] / (1601 - 1060) = - 0,52, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Определим требуемое сопротивление паропроницаемости  $R_{n2}^{TP}$  (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха):

$$R_{n2}^{TP} = [0,0024 \cdot Z_0(e_b - E_0)] / (\rho_w \delta_{w\Delta} \omega + \eta), \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Все величины необходимые для расчета определены ранее за исключением значения парциального давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения  $E_0$ , и коэффициента  $\eta$ .

$$\text{Рассчитаем } E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot \exp^{[-5330 / (273 + t)]}$$

При температуре в плоскости максимального увлажнения на границе 3 и 4 слоев  $t_{0,31} = 3,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$$E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot \exp^{[-5330 / (273 + 3,8)]} = 800 \text{ Па};$$

$$\text{Определим } \eta = [0,0024 (E_0 - e_{н.отр}) Z_0] / R_{п.н} = [0,0024 (800 - 490) 41] / 0,861 = 35,4;$$

Тогда:

$$R_{n2}^{TP} = [0,0024 \cdot 41 (1273 - 800)] / (800 \cdot 0,28 \cdot 1,5 + 35,4) = 0,125 \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Сравним полученные значения требуемых сопротивлений паропроницаемости  $R_{n1}^{TP}$  и  $R_{n2}^{TP}$  с расчетным значением сопротивления паропроницаемости наружной стены от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения  $R_n$ :

$$R_n^{1-280} = 1,83 > R_{n2}^{TP} = 0,125 > R_{n1}^{TP} = - 0,52 \quad (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг})$$

Следовательно наружная стена **Тип-1-280** в г.Краснодаре удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 в части **защиты от переувлажнения**.

По аналогии проведем соответствующие расчеты для выбранных типов стен для населенных пунктов Европейской части РФ.

Для всех типов наружных стен выполняется условие  $R_n > R_{n2}^{TP} > R_{n1}^{TP}$ , следовательно, наружные стены всех рассмотренных типов из камня **POROMAX** для климатических условий населенных пунктов Европейской части РФ **удовлетворяют требованиям** СП 50.13330.2012 в части **защиты от переувлажнения**.