

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 $q_{от}^{норм}$.

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 м²**.

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 (°C), принимается по ГОСТ 30494.

$t_{\text{от}}$, $Z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха (°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 °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 (°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 °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 (°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 ₀ ^{тp}	R ₀ ^{норм}	
	°C	сут/год	°C * сут/год	м ² * °C/Вт	м ² * °C/Вт	
Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО						
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
Центральный Федеральный Округ - ЦФО						
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	4 727	3,05	1,92	А
Москва	-2,2	205	4 551	2,99	1,89	Б
Орел	-2,4	199	4 458	2,96	1,86	Б
Рязань	-3,5	224	5 264	3,24	2,04	Б
Смоленск	-2,0	209	4 598	3,01	1,90	Б
Тула	-3,0	207	4 761	3,07	1,93	Б
Ярославль	-4,0	221	5 304	3,26	2,05	Б
Приволжский Федеральный Округ - ПФО						
Йошкар-Ола	-4,9	215	5 354	3,27	2,06	Б
Нижний Новгород	-4,1	215	5 182	3,21	2,02	Б
Пенза	-4,1	200	4 820	3,09	1,94	А
Самара	-5,2	217	5 468	3,31	2,09	А
Саранск	-4,5	209	5 121	3,19	2,01	А
Саратов	-3,5	202	4 747	3,06	1,93	А
Ульяновск	-5,4	212	5 385	3,28	2,07	А
Чебоксары	-4,9	217	5 403	3,29	2,07	Б

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:

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

где:

$R_0^{усл}$ – 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 (m) линейной неоднородности j -того вида, приходящегося на $1m^2$ фрагмента ограждающей конструкции (M / M^2);

Ψ_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);

χ_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 Ψ_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:

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

где:

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимается по Таблице 4:

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

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, принимается по Таблице 6:

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

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:

δ_s – толщина слоя (м)

λ_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.

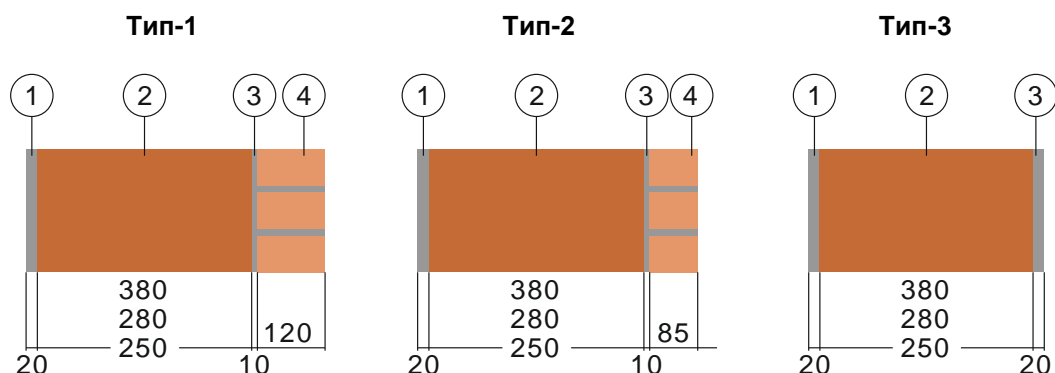
Значения коэффициентов теплопроводности для камня **POROMAX** и керамического лицевого кирпича приняты по результатам испытаний на теплопроводность каменных кладок и представлены в Таблице 2.

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	
	$\lambda_{\text{А}}$	$\lambda_{\text{Б}}$	
Раствор цементно-песчаный	0,76	0,93	Таблица Т.1, п.201 СП 50.13330.2012

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

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 - **A**, 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 POROMAX								
			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	
Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО											
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	+	+	+	+	+	+	+	+	
Центральный Федеральный Округ - ЦФО											
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	+							
Приволжский Федеральный Округ - ПФО										
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:

δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_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	8,48
189. Кирпичная кладка из керамического пустотелого кирпича плотностью 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$ (брутто) на цементно-песчанном растворе	6,62

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**:

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

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

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

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

тогда:

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

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:

Δp – 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, 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°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 Δp 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	Δp	R_u^{TP}
	$^\circ\text{C}$	м/с	Н/м ³	Па	м ² * ч * Па/кг
Южный и Северо-Кавказский Федеральные Округа - ЮФО и СКФО					
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			
Центральный Федеральный Округ - ЦФО					
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
Приволжский Федеральный Округ - ПФО					
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 0,7NF с расшивкой швов	85	15,6
Кирпич керамический лицевой пустотелый 1NF с расшивкой швов	120	22
Камень керамический POROMAX-380	380	12,35
Камень керамический POROMAX-280	280	9,1
Камень керамический POROMAX-250	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 POROMAX		
	POROMAX-380	POROMAX-280	POROMAX-250
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:

δi – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м;

μ_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}^{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}^{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:

φ_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:

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

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

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

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

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

$R_{п.н}$ – 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.

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, **кг/м³**;

δ_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: $\Delta\omega = 2,0 \text{ % по массе}$

η - 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 стены	Слой 1				Слой 2				Слой 3				Слой 4			
	Известково-песчанная штукатурка				POROMAX				Вертикальный цементно-песчаный шов (штукатурка)				Кирпич лицевой			
	δ	ρ	λ _д	μ	δ	ρ	λ _д	μ	δ	ρ	λ _д	μ	δ	ρ	λ _д	μ
	м	кг/м ³	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м ³	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м ³	Вт/м °С	мг/ мч Па	м	кг/м ³	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:

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

μ_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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $R_{п,н}$.

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

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

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

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

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

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

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

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

Тогда:

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

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
φ_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 паропроницания 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 η .

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

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 паропроницания R_{n1}^{TP} и R_{n2}^{TP} с расчетным значением сопротивления паропроницания 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**.