

Защита от переувлажнения однослойных стен из газобетонных блоков

Однородная однослойная конструкция наружной стены здания из газобетонных блоков марок по плотности D400 и D500 обеспечивает современные требования по тепловой защите [1] для большинства регионов Российской Федерации и может быть реализована в двух вариантах конструктивного исполнения:

- без наружной отделки;
- с наружным штукатурным покрытием по газобетонному основанию.

Существуют и иные конструктивные исполнения стен из газобетона, например, кладка стен из газобетона с кирпичным облицовочным слоем, с тонким штукатурным покрытием по слою утеплителя, навесная конструкция вентилируемого фасада, облицовка стен сайдингом и ряд иных, но в каждом из перечисленных выше случаев кладку стен следует отнести к разряду многослойных (двух- или трехслойных) конструкций.

В рамках данной статьи будут рассмотрены только однослойные однородные конструкции наружных стеновых ограждений. Конструктивное исполнение рассматриваемых в настоящей работе однородных стен представлено на рисунках 1, 2. На рисунке 1 представлена схема однородной стены без наружной отделки в различном конструктивном исполнении кладки (толщиной в один блок (рис. 1а), а также толщиной в два разнотипных (рис. 1б) и однотипных (рис. 1в) блока).

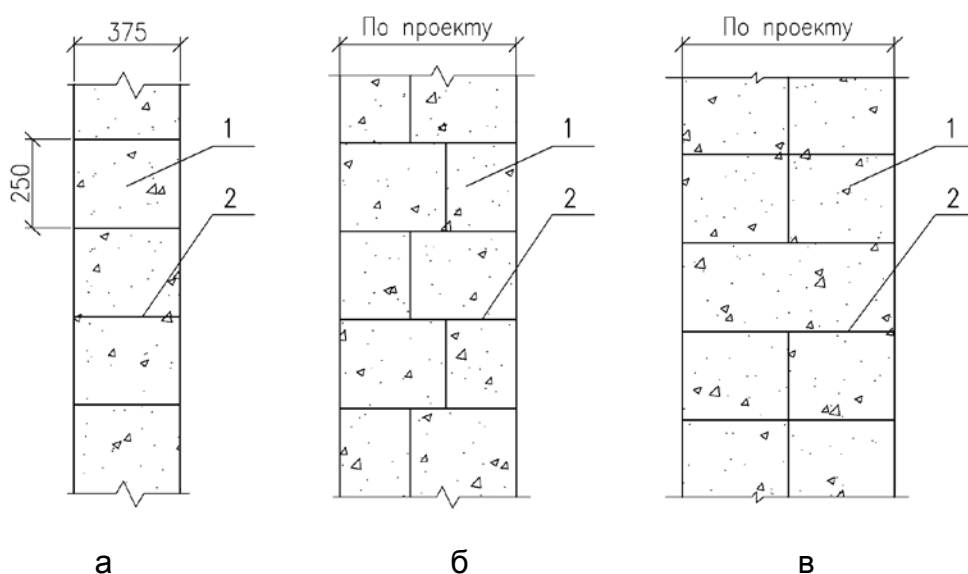


Рис. 1.
Схема однородной
кладки стен из
газобетона без
наружной отделки
(1- газобетонные
блоки, 2 – клей
для кладки)

На рисунке 2 представлена схема однородной кладки стен из газобетона с наружным штукатурным покрытием.

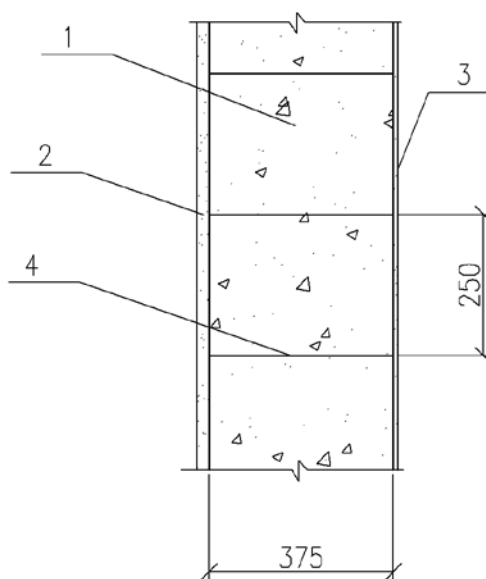


Рис. 2.
Схема однородной
кладки стен из
газобетона с наружным
штукатурным покрытием
(1 – газобетонные блоки,
2 – наружная штукатурка,
3 – внутренняя отделка,
4- клей для кладки)

Согласно п.9.3 СНиП 23-02 [1] не требуется выполнять расчет сопротивления паропрооницанию (раздел 9 СНиП 23-02 [1]) для следующих типов ограждающих конструкций:

1. однородных (однослойных) наружных стен помещений с сухим и нормальным режимами;
2. двухслойных наружных стен помещений с сухим и нормальным режимами, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропрооницанию R_{vp} более $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Из выше обозначенного в частности следует, что однородные конструкции стен не требуют проведения расчетов на паропрооницаемость. Однако, в ряде случаев при эксплуатации наблюдается частичное разрушение штукатурного покрытия, в том числе из-за переувлажнения оштукатуренных снаружи газобетонных стен. Одной из возможных причин возникновения данного дефекта может быть конденсация влаги на границе раздела: газобетонная кладка – штукатурное покрытие, и последующее разрушение покрытия при замерзании влаги вследствие морозного пучения (увеличения объема воды при переходе из жидкого агрегатного состояния в твердое). На практике чаще подобные проблемы возникают при использовании штукатурного покрытия с высоким сопротивлением паропрооницанию, т.е. паронепроницаемого.

По этой причине попробуем разобраться в данной проблеме в рамках действующей нормативной документации [1, 2] и произведем расчет на паропрооницаемость стен из газобетонных блоков. Вначале произведем расчет сопротивления паропрооницанию для неоштукатуренной стены, затем – для стен с наружным штукатурным покрытием.

Расчет выполнен применительно к климатическим условиям г. Санкт-Петербурга для наружных стен жилых зданий. Требуется проверить соответствие сопротивления паропрооницанию R_{vp} рассматриваемой ограждающей конструкции требованиям СНиП 23-02 [1] и рассчитать распределение парциального давления водяного пара по толще стены и возможность образования конденсата в ней.

Расчетная температура t_{int} [°C] и относительная влажность φ_{int} [%] внутреннего воздуха приняты в соответствии с требованиями ГОСТ 30494 [3] и СНиП 23-02 [1], а именно:

- $t_{int} = 20$ °C;
- $\varphi_{int} = 55\%$.

Расчетные параметры наружного воздуха (температура, - t_{ext} [°C] и относительная влажность, - φ_{ext} [%]) для климатических условий г. Санкт-Петербурга приняты согласно СНиП 23-01 [4]:

- $t_{ext} = -7.8$ °C для наиболее холодного месяца (по табл. 3* [4]);
- $\varphi_{ext} = 86$ % (по табл. 1* [4]).

Влажностный режим помещений – нормальный; зона влажности для Санкт-Петербурга - влажная, тогда условия эксплуатации определяются по параметру «Б» (согласно СНиП 23-02 [1]). Расчетные теплотехнические показатели для блоков из автоклавного газобетона для условий эксплуатации «Б» приняты по табл. А.1 ГОСТ 31359 [5].

Расчет нормируемого сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции производят по СНиП 23-02 [1] с учетом **следующего требования (п.9.1): сопротивление паропрооницанию R_{vp} [м²·ч·Па/мг] ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, - далее по тексту ПВК) должно быть не менее наибольшего из следующих нормируемых сопротивлений паропрооницанию:**

а) нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{vp1}^{req} [м²·ч·Па/мг] (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{(E - e_{ext})}; \quad (1)$$

б) нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{vp2}^{req} [м²·ч·Па/мг] (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot (e_{int} - E_0)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{\alpha v} + \eta}. \quad (2)$$

Т.е. должно быть выполнено следующее условие:

$$R_{vp} \geq \max(R_{vp1}^{req}, R_{vp2}^{req}). \quad (3)$$

1. Конструкция неоштукатуренной наружной стены из газобетонных блоков (вариант 1 расчета) представлена на рисунке 1, 3. Конструкция стены состоит из следующих слоев:

1.1 Внутренняя штукатурка – гипсовая со следующими характеристиками:

- толщина $\delta_{шт} = 5$ мм;
- плотность $\rho_{шт} = 1100$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,41$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,11$ мг/(м·ч·Па).

1.2 Блоки из газобетона автоклавного твердения:

- толщина $\delta_{ГБ} = 375$ мм;
- плотность $\rho_{ГБ} = 400$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,117$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,23$ мг/(м·ч·Па);
- кладка на клею (коэффициент теплотехнической однородности кладки $\gamma = 0,93$ [6]).

Таким образом, учитывается влияние швов газобетонной кладки.

Покажем на примере неоштукатуренной стены порядок расчета.

Сопrotивление теплопередаче представленной на рисунке 1 ограждающей конструкции равно:

$$R_0 = \frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.41} + 0.93 \cdot \frac{0.375}{0.117} + \frac{1}{23} = 3.151 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C / Вт)}.$$

Согласно СНиП 23-02 (п.9.1) [1] плоскость возможной конденсации (ПВК) в однородной (однослойной) ограждающей конструкции располагается на расстоянии, равном 2/3 толщины конструкции от ее внутренней поверхности.

Определим термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до ПВК:

$$R_c = \frac{0.005}{0.41} + 0.93 \cdot \frac{0.25}{0.117} = 2.0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C / Вт)}.$$

Установим для зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов их продолжительность z_i [сут], среднюю температуру t_i [°C] и рассчитаем соответствующую температуру в ПВК – τ_i [°C] по формуле (Э.5) [2]:

- зима (декабрь, январь, февраль):
 $z_1 = 3$ мес;

$$t_1 = \frac{(-5.0) + (-7.8) + (-7.8)}{3} = -6.9 \text{ °C};$$

$$\tau_1 = 20 - \frac{(20 + 6.9) \cdot (0.115 + 2.0)}{3.151} = 1.94 \text{ °C}.$$

- весна-осень (март, апрель, октябрь, ноябрь):
 $z_2 = 4$ мес;

$$t_2 = \frac{(-3.9) + 3.1 + 4.9 + (-0.3)}{4} = 1.0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_2 = 20 - \frac{(20 - 1.0) \cdot (0.115 + 2.0)}{3.151} = 7.25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- лето (май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь):
z₃=5 мес;

$$t_3 = \frac{9.8 + 15.0 + 17.8 + 16.0 + 10.9}{5} = 13.9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_3 = 20 - \frac{(20 - 13.9) \cdot (0.115 + 2.0)}{3.151} = 15.91 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По температурам t_i для соответствующих периодов определим по Приложению С.2 СП 23-101 [2] парциальные давления водяного пара. Получим:

- для зимнего периода $E_1=703$ Па;
- для весенне-осеннего периода $E_2=1020$ Па;
- для летнего периода $E_3=1808$ Па.

По формуле (Э.4) СП 23-101 [2] определим парциальное давление водяного пара E [Па] в ПВК за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов (z_1, z_2, z_3):

$$E = \frac{(703 \cdot 3 + 1020 \cdot 4 + 1808 \cdot 5)}{12} = 1269 \text{ Па}.$$

Сопrotивление паропрооницанию R_{vp}^e [$\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$] части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и ПВК, определяется по формуле:

$$R_{vp}^e = \frac{0.125}{0.23} = 0.544 \text{ (}\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}\text{)}.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха e_{ext} [Па] за годовой период определяют по табл. 5* СНиП 23-01 [4]:

$$e_{\text{ext}} = \frac{(330 + 320 + 390 + 570 + 800 + 1180 + 1460 + 1430 + 1090 + 760 + 550 + 420)}{12} = 775 \text{ Па}.$$

По формуле (1) определяем нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{vp1}^{\text{req}} = \frac{(1286 - 1269) \cdot 0.544}{(1269 - 775)} = 0.02 \text{ (}\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}\text{)}.$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{vp2}^{req} [$\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$] из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха определяем продолжительность этого периода z_0

[сут], среднюю температуру t_0 [°C] и рассчитываем температуру в ПВК τ_0 [°C] за этот период:

$$z_0 = 151 \text{ сут};$$

$$t_0 = \frac{(-7.8) + (-7.8) + (-5.0) + (-3.9) + (-0.3)}{5} = -4.96 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_0 = 20 - \frac{(20 + 4.96) \cdot (0.115 + 2.0)}{3.151} = 3.25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Парциальное давление водяного пара E_0 [Па] в ПВК при данной температуре (3.25 °C) составляет 772 Па.

В принятой ограждающей конструкции (рис. 1, 3) увлажняемым слоем является кладка стен из газобетонных блоков. В данном случае плотность $\rho_w = \rho_0 = 400 \text{ кг/м}^3$, толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной $2/3$ толщины однородной стены $\delta_w = 0.25 \text{ м}$, предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в газобетоне согласно требованиям табл. 12 СНиП 23-02 [1] составляет $\Delta w_{av} = 6 \%$. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами (ноябрь-март) составляет $e_0^{ext} = 402 \text{ Па}$.

Коэффициент η определяется по формуле (20) СНиП 23-02 [1]:

$$\eta = \frac{0.0024 \cdot (772 - 402) \cdot 151}{0.544} = 246.49.$$

Определим R_{vp2}^{req} по формуле (17) СНиП 23-02 [1]:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0.0024 \cdot 151 \cdot (1286 - 772)}{(400 \cdot 0.25 \cdot 6 + 246.49)} = 0.22 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

Рассчитаем сопротивление паропрооницанию (от внутренней поверхности до ПВК) конструкции стены, представленной на рисунках 1, 3:

$$R_{vp} = \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.25}{0.23} = 1.13 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

При сравнении полученного значения R_{vp} с нормируемыми величинами делаем заключение, что условие (3) выполняется:

$$R_{vp} \succ R_{vp2}^{req} \succ R_{vp1}^{req}.$$

Следовательно, рассмотренная в настоящем примере ограждающая конструкция из газобетонных блоков без наружного штукатурного покрытия (условно обозначенной, как вариант 1) удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 (раздел 9) [1] в отношении сопротивления паропрооницанию.

Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены определяем сопротивление паропрооницанию стены R_{vp} по формуле (79) СП 23-101 [2]:

$$R_{vp} = \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.375}{0.23} = 1.676 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

Определяем парциальное давление водяного пара внутри снаружи стены по формуле (Э.3) и Приложению С СП 23-101 [2]:

- $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{int} = 55 \%$; соответственно $e_{int} = (55/100) \cdot 2338 = 1286 \text{ (Па)}$;

- $t_{ext} = -7.8 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{ext} = 86 \%$; соответственно $e_{ext} = (86/100) \cdot 315 = 271 \text{ (Па)}$.

Определяем по формуле (Э.5) СП 23-101 [2] температуры t_i на границах слоев, нумеруя их от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам – максимальное парциальное давление водяного пара E_i по Приложению С [2]:

$$\tau_1 = 20 - \frac{(20 + 7.8) \cdot (0.115)}{3.151} = 19.0 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной температуре}$$

значение $E_1 = 2197 \text{ Па}$;

$$\tau_2 = 20 - \frac{(20 + 7.8) \cdot (0.115 + 0.012)}{3.151} = 18.9 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной}$$

температуре значение $E_2 = 2182 \text{ Па}$;

$$\tau_3 = 20 - \frac{(20 + 7.8) \cdot (0.115 + 0.012 + 2.981)}{3.151} = -7.4 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной}$$

температуре значение $E_3 = 327 \text{ Па}$.

Рассчитаем действительные парциальные давления водяного пара e_i на границах слоев по формуле (Э.6) СП 23-101 [2]:

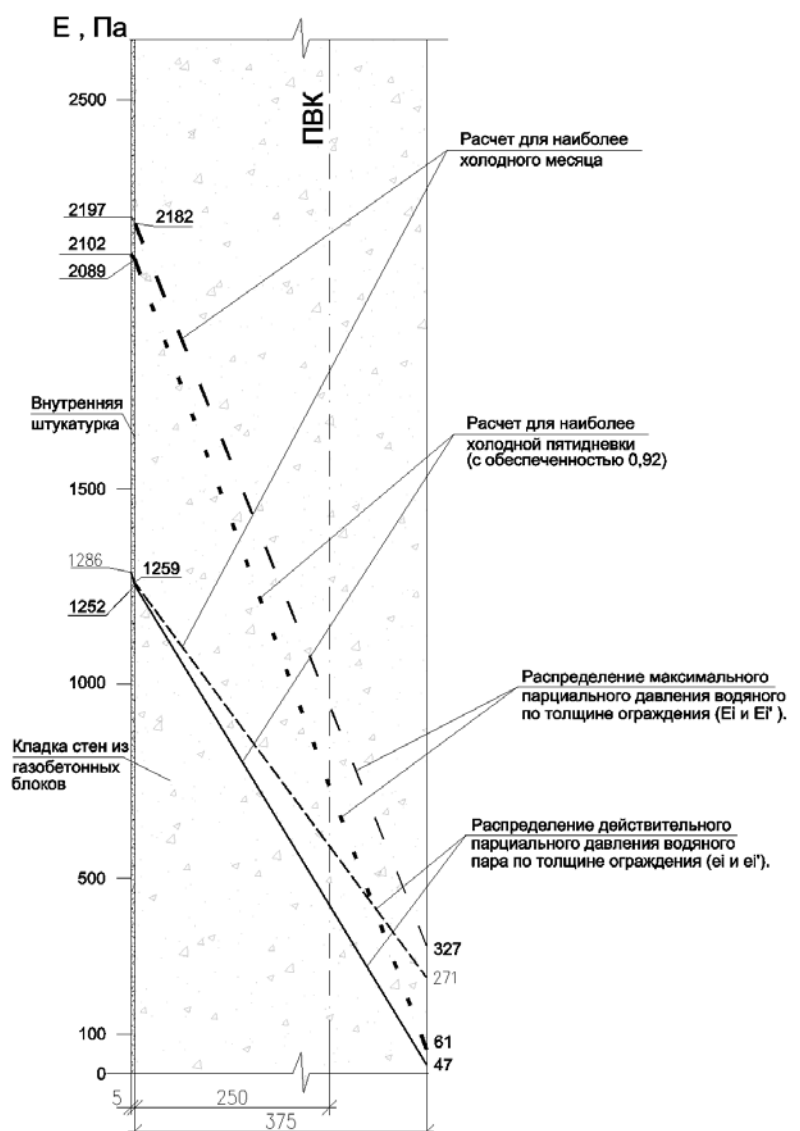
$$e_1 = 1286 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1286 - \frac{(1286 - 271) \cdot 0.0455}{1.676} = 1259 \text{ Па};$$

$$e_3 = 271 \text{ Па}.$$

Рис. 3.
Распределение парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции из газобетонных блоков без наружной отделки (вариант 1 стены)

Однако, если в качестве расчетного периода принять более жесткие



условия, например, рассмотреть распределение парциальных давлений водяного пара в толще стены за период наиболее холодной пятидневки ($t_{\text{ext}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$), условия эксплуатации стеновой конструкции могут измениться.

Для проверки данного предположения примем следующие начальные условия:

- $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{\text{int}} = 55 \text{ } \%$; соответственно $e_{\text{int}} = (55/100) \cdot 2338 = 1286 \text{ (Па)}$;

- $t_{\text{ext}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{\text{ext}} = 83 \text{ } \%$; соответственно $e_{\text{ext}} = (83/100) \cdot 57 = 47 \text{ (Па)}$.

и рассчитаем для них температуры τ_i' на границах слоев, нумеруя их от внутренней поверхности к наружной; по этим температурам – максимальное парциальное давление водяного пара E_i' , а также определим для этих условий действительные парциальные давления водяного пара e_i' на границах слоев.

Получим:

$$\tau_1' = 20 - \frac{(20 + 26) \cdot (0.115)}{3.151} = 18.3 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной температуре}$$

значение $E_1' = 2102 \text{ Па}$;

$$\tau_2' = 20 - \frac{(20 + 26) \cdot (0.115 + 0.012)}{3.151} = 18.2 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной}$$

температуре значение $E_2' = 2089 \text{ Па}$;

$$\tau_3' = 20 - \frac{(20 + 26) \cdot (0.115 + 0.012 + 2.981)}{3.151} = -25.4 \text{ }^\circ\text{C} - \text{соответствующее данной}$$

температуре значение $E_3' = 61 \text{ Па}$.

Рассчитаем действительные парциальные давления водяного пара e_i' на границах слоев по формуле (Э.6) СП 23-101 [2]:

$$e_1' = 1286 \text{ Па} ;$$

$$e_2' = 1286 - \frac{(1286 - 47) \cdot 0.0455}{1.676} = 1252 \text{ Па} ;$$

$$e_3' = 47 \text{ Па} .$$

Результаты расчета для наиболее холодной пятидневки в выбранном климатическом регионе (Санкт-Петербург) с обеспеченностью 0,92 графически представлены на рисунке 3.

Таким образом, из представленных на рисунке 3 графических данных видно, что кривые максимального и действительного давлений водяного пара не пересекаются между собой ни в период наиболее холодного месяца, ни в период наиболее

холодной пятидневки, что свидетельствует о низкой вероятности образования конденсата в рассматриваемом типе ограждения.

Это не означает, что влага в виде конденсата не может образоваться в толще представленного на рисунке 1, 3 ограждения. В приведенном выше расчете не учтена высокая равновесная влажность газобетонных блоков в первый год эксплуатации, которая может составлять от 15 до 30 %, что более чем на 6 % превышает расчетное значение равновесной весовой влажности принятой равной 5 % для газобетона автоклавного твердения в ГОСТ 31359 [5]. Все теплотехнические показатели для изделий из автоклавного газобетона в рассмотренном выше расчете приняты для равновесной весовой влажности 5%. В стандартах на методы определения паропроницаемости изделий из ячеистого бетона [7, 8] не указано при какой влажности определяется данный параметр. Из условия проведения испытания [8] можно лишь предположить, что равновесная влажность газобетона устанавливается в диапазоне от 7 до 12 % (относительная влажность воздуха под образцом составляет 97 %, над образцом в термостате поддерживается в диапазоне: 54 ± 2 %). Можно сделать предположение, что коэффициент паропроницаемости μ зависит от влажности материала. В монографии [9] при рассмотрении раздела «Защита от влажности» вводится несколько отличный параметр, характеризующий паропроницаемость материалов, а именно коэффициент сопротивления паропроницанию (обозначается он тем же символом, - μ), который показывает, насколько больше сопротивление паропроницанию какого-либо материала, чем слоя воздуха одинаковой толщины. Например, коэффициент сопротивления паропроницанию μ , равный для какого-либо материала 10 (десяти) означает, что этот материал имеет в 10 раз большее сопротивление паропроницанию, чем воздух слоем такой же толщины. И этот параметр принимается различным для сухого и влажного состояний материала. В частности, для сухого газобетона μ принимается равным 5, для влажного – 10, тем самым подтверждается влияние влажности на параметр паропроницаемости. По этой причине приведенный выше расчет можно рассматривать только как приближенный. Именно поэтому в выводах к аналитическому расчету и графическому анализу сделано заключение о низкой вероятности образования конденсата в ограждении, но не о невозможности его образования, как это сделано, например, в Приложении Э СП 23-101 [2].

Произведем аналогичный расчет для стеновой конструкции, оштукатуренной с двух сторон, как это показано на рисунке 2. При этом рассмотрим последовательно различные типы наружных штукатурных покрытий (цементно-песчаного плотного, поризованного, полимерного). Расчет для оштукатуренной с двух сторон стены ограничим сравнением фактического R_{vp} и нормируемых величин (R_{vp1}^{req} , R_{vp2}^{req}) сопротивлений паропроницанию.

2. Конструкция однородной стены из газобетонных блоков с наружным цементно-песчаным штукатурным покрытием плотностью 1800 кг/м³.

Рассмотрим ограждающую конструкцию из газобетона с наружным цементно-песчаным штукатурным покрытием плотностью 1800 кг/м³ (условно назовем эту конструкцию, - вариант 2), т.е. конструктивно состоящую из следующих слоев (рисунок 4):

2.1. Внутренняя штукатурка – гипсовая со следующими характеристиками:

- толщина $\delta_{шт} = 5$ мм;
- плотность $\rho_{шт} = 1100$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,41$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,11$ мг/(м·ч·Па).

2.2. Блоки из газобетона автоклавного твердения:

- толщина $\delta_{ГБ} = 375$ мм;
- плотность $\rho_{ГБ} = 400$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,117$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,23$ мг/(м·ч·Па);
- кладка на клею (коэффициент теплотехнической однородности кладки $\gamma = 0,93$ [6]).

2.3. Наружная штукатурка – цементно-песчаная со следующими характеристиками:

- толщина $\delta_{шт} = 10$ мм;
- плотность $\rho_{шт} = 1800$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,93$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,09$ мг/(м·ч·Па).

Примем для упрощения расчетов, что теплопроводные включения в составе штукатурных покрытий отсутствуют. По этой причине коэффициент теплотехнической однородности γ для штукатурных покрытий (внутреннего и наружного) принят равным 1.

Нормируемые величины сопротивлений паропроницанию для стеновой конструкции с наружным штукатурным покрытием плотностью 1800 кг/м³ составят:

$$- R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1271) \cdot 0.655}{(1271 - 775)} = 0.02 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг});$$

$$- R_{vp2}^{req} = \frac{0.0024 \cdot 151 \cdot (1286 - 776)}{(400 \cdot 0.25 \cdot 6 + 206.93)} = 0.23 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}).$$

Сопротивление паропроницанию (от внутренней поверхности до ПВК) варианта 2 конструкции стены, представленной на рисунке 2, 4, останется неизменным и составит:

$$R_{vp} = \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.25}{0.23} = 1.13 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

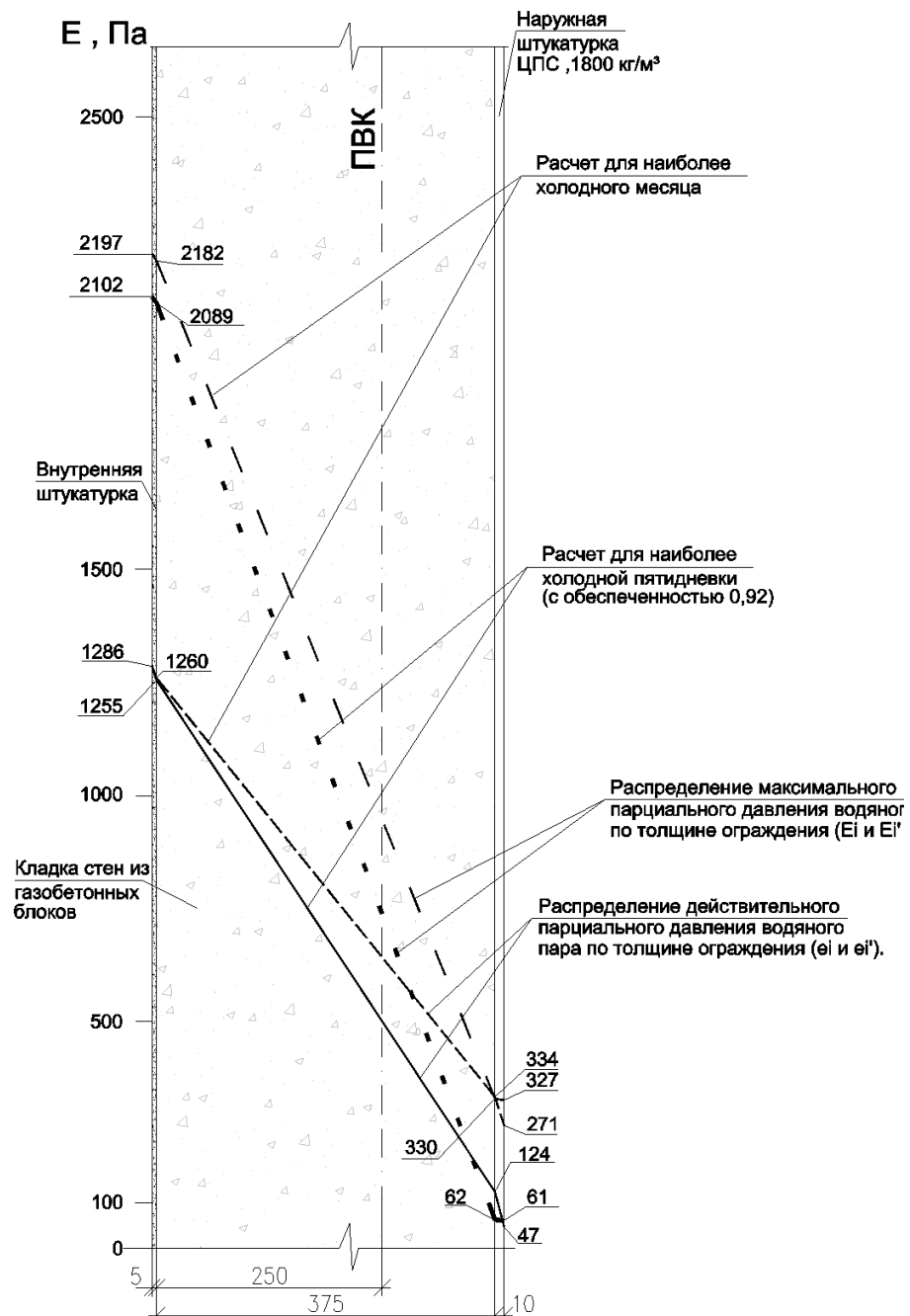
Таким образом, условие (3) выполняется и для данной конструкции, т. е:

$$R_{vp} = 1.13 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{vp2}^{\text{req}} > R_{vp1}^{\text{req}}.$$

Следовательно, ограждающая конструкция из газобетонных блоков с наружным штукатурным цементно-песчаным покрытием плотностью 1800 кг/м³ (условно обозначенной, как вариант 2) также удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 (раздел 9) [1] в отношении сопротивления паропроницанию.

Проверим данную конструкцию на наличие зоны конденсации внутри стены. Результаты расчетов графически представлены на рисунке 4.

Рис. 4.
Распределение парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции из газобетонных блоков с наружным цементно-песчаным покрытием плотностью 1800 кг/м³ (вариант 2 стены из газобетонных блоков)



Как и в предыдущем примере, расчет выполнен как для наиболее холодного месяца (кривые распределения максимального и действительного парциальных давлений водяного пара для данного периода), так и для наиболее холодной пятидневки.

Из графика, представленного на рисунке 4, следует заключение о возможности конденсации влаги на наружной поверхности газобетонной кладки и в наружном штукатурном покрытии на участках, где действительное парциальное давление водяного пара больше максимального значения данного параметра. Точка пересечения кривых распределения максимального и действительного парциальных давлений водяного пара при расчете по наиболее холодному месяцу отстоит на 1.6 мм от наружной поверхности газобетонной кладки, при расчете по наиболее холодной пятидневке – на 26 мм. Указанные расстояния от точки пересечения кривых распределения максимального и действительного парциальных давлений водяного пара до наружной поверхности газобетонной кладки можно считать зонами возможной конденсации влаги для данной конструкции стены при нормальных условиях ее эксплуатации.

3. Конструкция однородной стены из газобетонных блоков с наружным покрытием из полимерной композиции плотностью 1870 кг/м³.

Вариант 3 конструктивного исполнения стены примем с наружным полимерно-декоративным покрытием толщиной 3,5 мм, состоящей из следующих последовательно расположенных слоев (рисунок 5):

3.1. Внутренняя штукатурка – гипсовая со следующими характеристиками:

- толщина $\delta_{шт} = 5$ мм;
- плотность $\rho_{шт} = 1100$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,41$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,11$ мг/(м·ч·Па).

3.2. Блоки из газобетона автоклавного твердения:

- толщина $\delta_{ГБ} = 375$ мм;
- плотность $\rho_{ГБ} = 400$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,117$ Вт/м·К;
- коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,23$ мг/(м·ч·Па);
- кладка на клею (коэффициент теплотехнической однородности кладки $\gamma = 0,93$ [6]).

3.3. Наружная штукатурка – полимерная композиция для наружной отделки фасадов со следующими характеристиками:

- толщина $\delta_{шт} = 3,5$ мм;
- плотность $\rho_{шт} = 1870$ кг/м³;
- теплопроводность $\lambda_B = 0,76$ Вт/м·К;
- сопротивление паропроницанию (согласно представленному производителем протоколу испытаний) $R_v = 0,337$ м²·ч·Па/мг.

Нормируемые величины сопротивлений паропроницанию для стеновой конструкции с наружным покрытием полимерной композицией плотностью 1870 кг/м³ составят:

$$- R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1271) \cdot 0.655}{(1271 - 775)} = 0.03 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг});$$

$$- R_{vp2}^{req} = \frac{0.0024 \cdot 151 \cdot (1286 - 776)}{(400 \cdot 0.25 \cdot 6 + 206.93)} = 0.25 \text{ (} m^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} \text{)}.$$

Сопротивление паропрооницанию (от внутренней поверхности до ПВК) варианта 3 конструкции стены, представленной на рисунке 2, 5, останется неизменным и составит:

$$R_{vp} = \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.25}{0.23} = 1.13 \text{ (} m^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} \text{)}.$$

Таким образом, условие (3) выполняется для однородной конструкции стены из газобетона даже в случае применения в качестве наружной отделки фасада полимерной композиции, т. е.:

$$R_{vp} = 1.13 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} \succ R_{vp2}^{req} \succ R_{vp1}^{req}.$$

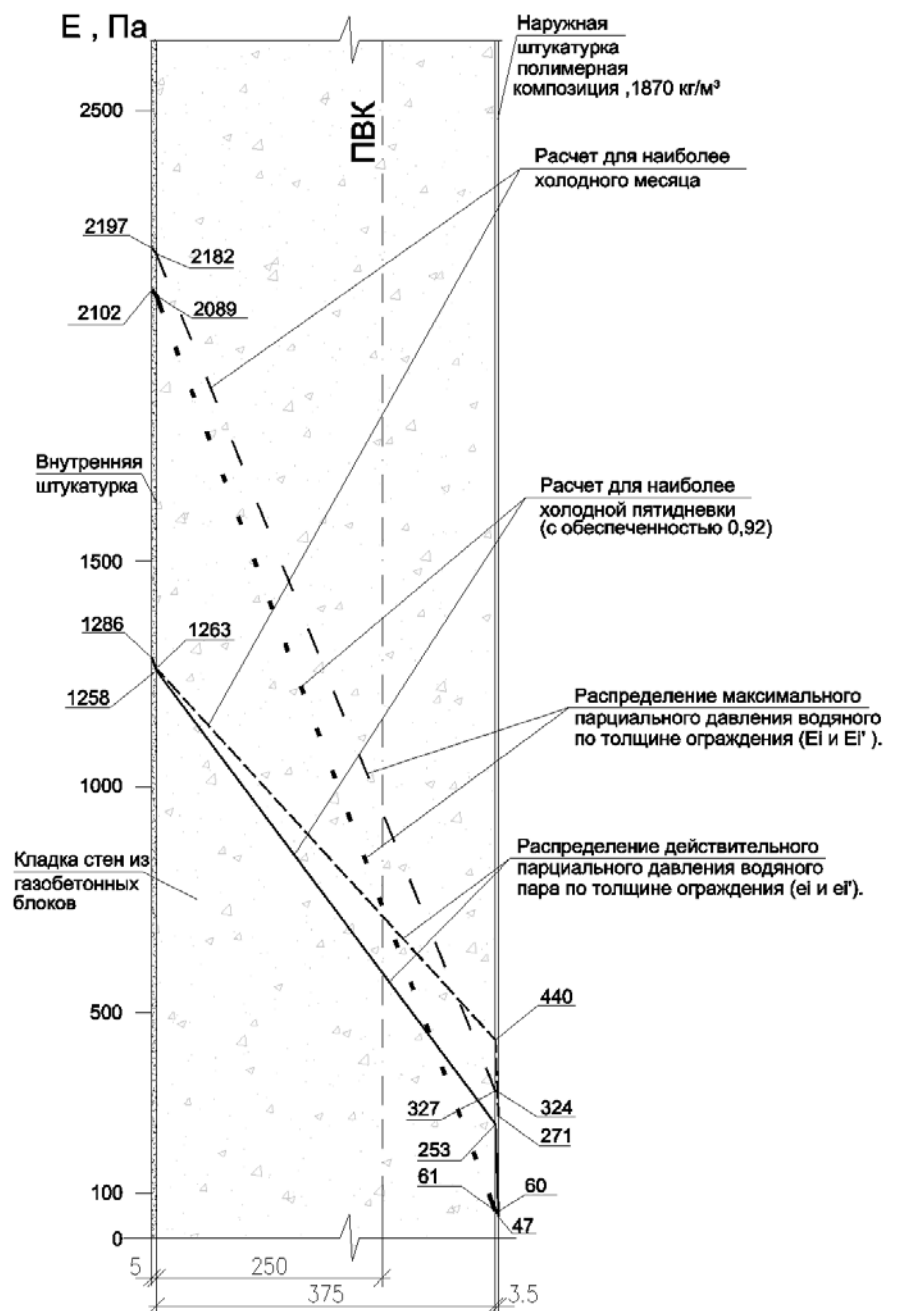
Следовательно, ограждающая конструкция из газобетонных блоков с наружным покрытием, состоящим из полимерной композиции плотностью 1870 кг/м³ (условно обозначенной, как вариант 3) удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 (раздел 9) [1] в отношении сопротивления паропрооницанию.

Проверим данную конструкцию на наличие зоны конденсации внутри стены. Результаты расчетов графически представлены на рисунке 5.

Конденсация влаги возможна на участках, где действительное парциальное давление e_i водяного пара больше максимального парциального давления E_i водяного пара. Таким образом, из графика, представленного на рисунке 5, следует заключение о возможности конденсации влаги в толще газобетонной кладки, - а именно в наружной ее зоне. Зона конденсации водяного пара при расчете по наиболее холодному месяцу отстоит на 41 мм от наружной поверхности газобетонной кладки, при расчете по наиболее холодной пятидневке – на 70 мм.

Наличие зоны конденсации влаги подобных размеров препятствует удалению влаги из конструкции стены из-за влияния механизма обратной диффузии влаги [10].

Рис. 5.
Распределение парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции из газобетонных блоков с наружным покрытием, состоящим из полимерной композиции плотностью 1870 кг/м³ (вариант 3 стены из газобетонных блоков)



4. Конструкция однородной стены из газобетонных блоков с наружным поризованным покрытием плотностью 1200 кг/м³. В заключение рассмотрим ограждающую конструкцию из газобетона с наружным цементно-песчаным штукатурным покрытием плотностью 1200 кг/м³ (вариант 4 стеновой конструкции), т.е. конструктивно состоящую из следующих слоев (рисунок 6):

1. Внутренняя штукатурка – гипсовая со следующими характеристиками:
 - толщина $\delta_{шт} = 5$ мм;
 - плотность $\rho_{шт} = 1100$ кг/м³;
 - теплопроводность $\lambda_B = 0,41$ Вт/м·К;
 - коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,11$ мг/(м·ч·Па).
2. Блоки из газобетона автоклавного твердения:

- толщина $\delta_{ГБ} = 375$ мм;
 - плотность $\rho_{ГБ} = 400$ кг/м³;
 - теплопроводность $\lambda_{Б} = 0,117$ Вт/м·К;
 - коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,23$ мг/(м·ч·Па);
 - кладка на клею (коэффициент теплотехнической однородности кладки $\gamma = 0,93$ [6]).
3. Наружная штукатурка – цементно-песчаная поризованная со следующими характеристиками:
- толщина $\delta_{шт} = 10$ мм;
 - плотность $\rho_{шт} = 1200$ кг/м³;
 - теплопроводность $\lambda_{Б} = 0,58$ Вт/м·К;
 - коэффициент паропроницаемости $\mu_{шт} = 0,14$ мг/(м·ч·Па).

Схема однородной кладки стен из газобетона с наружным штукатурным покрытием представлена на рисунке 2, б.

Нормируемые величины сопротивлений паропроницанию для стеновой конструкции с наружным штукатурным покрытием плотностью 1200 кг/м³ составят:

$$- R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1273) \cdot 0.615}{(1273 - 775)} = 0.016 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

$$- R_{vp2}^{req} = \frac{0.0024 \cdot 151 \cdot (1286 - 777)}{(400 \cdot 0.25 \cdot 6 + 220.98)} = 0.23 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

Сопротивление паропроницанию (от внутренней поверхности до ПВК) варианта 4 конструкции стены, представленной на рисунке 2, останется неизменным и составит:

$$R_{vp} = \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.25}{0.23} = 1.13 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг)}.$$

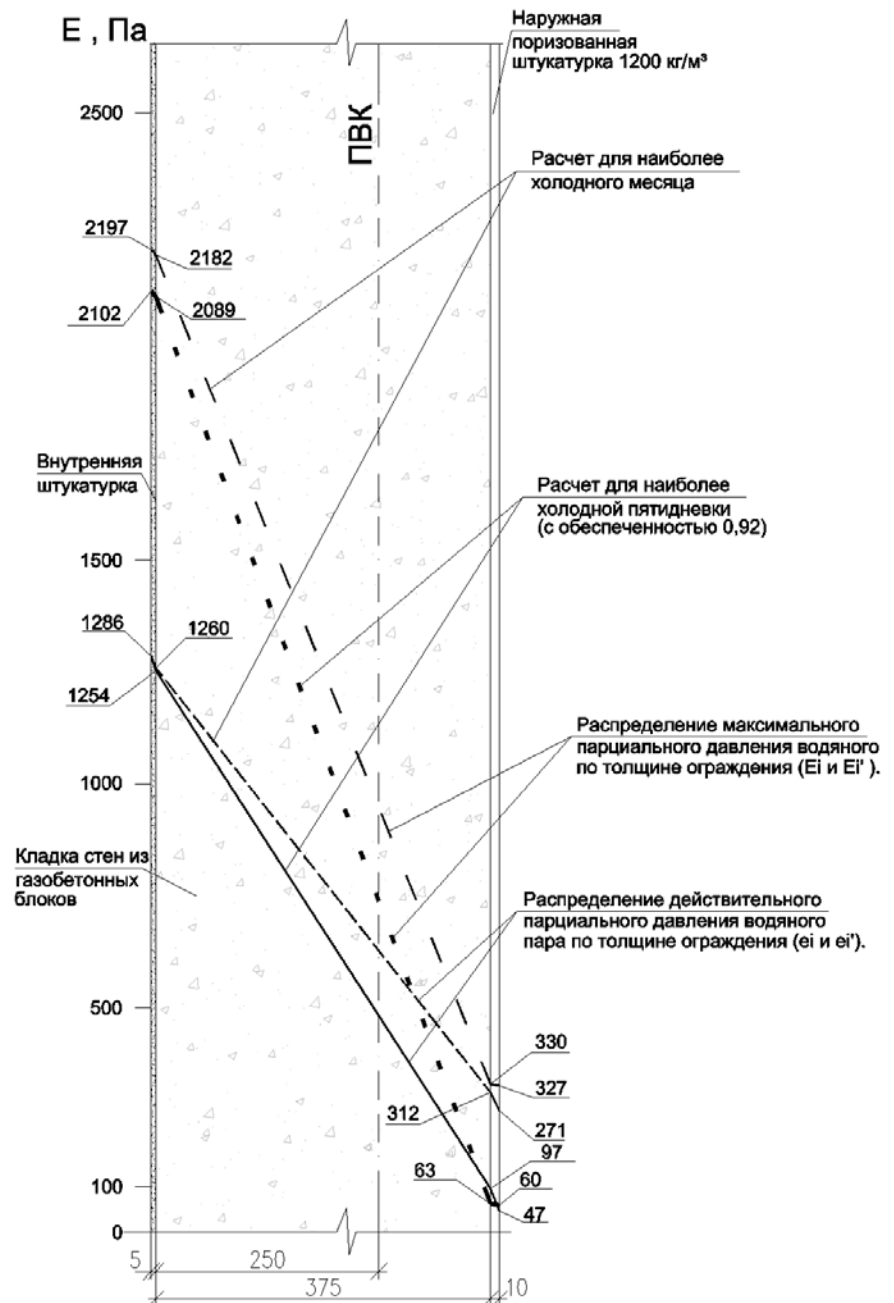
Таким образом, условие (3) для данной конструкции стены из газобетона (вариант 4) также выполняется, то есть:

$$R_{vp} = 1.13 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} \succ R_{vp2}^{req} \succ R_{vp1}^{req}.$$

Следовательно, ограждающая конструкция из газобетонных блоков с наружным поризованным покрытием плотностью 1200 кг/м³ (условно обозначенной, как вариант 4) удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 (раздел 9) [1] в отношении сопротивления паропроницанию.

Проверим данную конструкцию на наличие зоны конденсации влаги внутри стены. Результаты расчетов графически представлены на рисунке 6.

Рис. 6.
Распределение парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции из газобетонных блоков с наружным поризованным покрытием плотностью 1200 кг/м³ (вариант 4 стены из газобетонных блоков)



Из данных, представленных на рисунке 6 в частности следует, что при расчете по наиболее холодному месяцу кривые распределения действительного и максимального парциальных давлений водяного пара не пересекаются, следовательно, вероятность образования конденсата в наружной зоне кладки для данного периода незначительна. В тоже время, при расчете по наиболее холодной пятидневке кривые распределения пересекаются. Точка пересечения кривых находится на расстоянии 14,5 мм от наружной поверхности кладки стен из газобетонных блоков. Вычисления показывают, что для данной конструкции стены необходимым условием отсутствия пересечения кривых распределения максимального и действительного давлений водяного пара в толще стены при расчете по наиболее холодной пятидневке является требование, согласно которому коэффициент паропроницаемости наружного штукатурного покрытия μ должен составлять **0.45 мг/м·ч·Па**, что практически очень сложно обеспечить. Коэффициент паропроницаемости $\mu=0.45$ мг/м·ч·Па по данным табл. Д.1 [2] характерен для

минераловатных плит и матов, плит торфяных теплоизоляционных, для поризованных гипсоперлитовых растворов марок по плотности D400 и D500.

Выводы

1. все рассмотренные в данной статье варианты стеновых конструкций вне зависимости от типа штукатурного покрытия удовлетворяют требованиям СНиП 23-02 (раздел 9) [1] в отношении сопротивления паропрооницанию, - для всех типов конструкций стен сопротивление паропрооницанию R_{vp} ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до ПВК) больше нормируемых сопротивлений паропрооницанию R_{vp1}^{req} (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации) и R_{vp2}^{req} (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха);
2. для стеновой конструкции из газобетонных блоков без наружного штукатурного покрытия кривые распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара не пересекаются между собой ни в период наиболее холодного месяца, ни в период наиболее холодной пятидневки, что свидетельствует о низкой вероятности образования конденсата в рассматриваемом типе ограждения;
3. для стеновой конструкции из газобетонных блоков, оштукатуренной снаружи цементно-песчаным поризованным покрытием плотностью 1200 кг/м^3 кривые распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара не пересекаются между собой при расчете по наиболее холодному месяцу, но пересекаются на расстоянии $14,5 \text{ мм}$ от наружной поверхности газобетонной кладки при расчете по наиболее холодной пятидневке, что свидетельствует о возможности конденсации влаги в толще стены для данного периода;
4. для стеновой конструкции из газобетонных блоков, оштукатуренной снаружи цементно-песчаным покрытием плотностью 1800 кг/м^3 кривые распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара пересекаются между собой как при расчете по наиболее холодному месяцу, так и при расчете по наиболее холодной пятидневке. Точка пересечения кривых распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара при расчете по наиболее холодному месяцу находится на расстоянии $1,6 \text{ мм}$ от наружной поверхности газобетонной кладки и на расстоянии 26 мм при расчете по наиболее холодной пятидневке;
5. для стеновой конструкции из газобетонных блоков, оштукатуренной снаружи полимерным декоративным покрытием плотностью 1870 кг/м^3 толщиной $3,5 \text{ мм}$ кривые распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара пересекаются между собой как при расчете по наиболее холодному месяцу, так и при расчете по наиболее холодной пятидневке. Зона возможной конденсации влаги (точка пересечения кривых распределения максимального E_i и действительного e_i давлений водяного пара) при расчете по наиболее холодному месяцу находится на расстоянии 41 мм от наружной поверхности газобетонной кладки и на расстоянии 70 мм при расчете по наиболее холодной пятидневке. Наличие значительной по толщине зоны конденсации влаги препятствует эффективному удалению влаги из толщи

стеновой конструкции из-за влияния на механизм массопереноса процессов обратной диффузии и обратного капиллярного переноса, подробно описанных в монографии [10];

6. наиболее продуктивным способом уменьшения зоны возможной конденсации влаги в толще однородной ограждающей конструкции из газобетонных блоков является применение штукатурных составов с более низким значением коэффициента паропроницаемости μ [мг/м·ч·Па];
7. целесообразным (рекомендуемым) решением представляется оштукатуривание стен из газобетонных блоков на следующий сезон после строительства, когда стены достигнут или практически достигнут нормируемых значений [5] равновесной весовой влажности; особенно актуальным данное требование представляется в отношении полимерно-декоративных покрытий, обладающих низким значением коэффициента паропроницаемости μ [мг/м·ч·Па].

Литература

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
3. ГОСТ 30494-1996. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
4. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.
5. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
6. Горшков А.С., Гладких А.А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона// Инженерно-строительный журнал, №3. 2010. - С39...42.
7. ГОСТ 12852.0-77. Бетон ячеистый. Общие требования к методам испытаний.
8. ГОСТ 12852.5-77. Бетон ячеистый. Метод определения коэффициента паропроницаемости.
9. В.Блази. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004.-480 с.
10. Поробетон: руководство / М.Гоманн; пер. с нем. под ред. А.С.Коломацкого.-Белгород: Изд-во ЛитКараВан, 2010.-272 с.