

Метод расчета WDVS. Неблагоприятные условия.

Несмотря на все преимущества и простоту расчета WDVS бывают случаи, когда влажностной режим стены все же нарушается. Об этом могут предвещать по крайней мере два признака. Во-первых, очень паропроницаемый стеновой материал, особенно АСС (автоклавный пенобетон) в сочетании с пенополистиролом. Во-вторых, холодный или влажный климат, когда из-за низкой температуры или влагонасыщенного воздуха действительное давление водяного пара быстро достигает насыщения при данной температуре на стыке слоев.

Оставим все параметры прежними, но возьмем стены из AAC 400D 300 см. А в качестве утеплителя будет выступать более дешевый по сравнению с минватой пенополистирол Кнауф для фасадов. Возьмем для примера Подмоскowie (Кашира).

▶ Поиск данного города по таблицам СНиП

▶ Ввод данных по материалам

Как было сказано в прошлой статье, если есть условия для возможного появления конденсата при таком типе утепления, но отдать предпочтение следует более толстой цементной штукатурке и менее паропроницаемой отделке. Если проблемы с конденсацией остаются, можно сменить стеновой материал на менее паропроницаемый или использовать минеральную вату или древесноволокнистый утеплитель вместо пенополистирола. Данное решение резко снизит экономическую эффективность WDVS, но решит проблему влагонакопления. Внутренним слоем остается силиконовая краска для внутренних работ.

n1 = "Краска силиконовая для внутренних работ"

$\lambda_{1a} = 4.5$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности

$\mu_1 = 0.01$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

$\sigma_1 = 8 \times 10^{-5}$ м толщина слоя

$$Sd_1 := \frac{0.625}{\mu_1} \cdot \sigma_1$$

$Sd_1 = 5 \times 10^{-3}$ м эквивалентная толщина слоя воздуха

Вторым слоем будет цементно-известковая штукатурка достаточно толстым слоем в 2 см.

n2 = "известково-цементная Baumit MPA"

$\lambda_{2a} = 0.8$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности для условия А

$\mu_2 = 0.04$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

$\sigma_2 := 0.02$ м толщина слоя

$$Sd_2 := \frac{0.625}{\mu_2} \cdot \sigma_2 = 0.313 \text{ м эквивалентная толщина слоя воздуха}$$

Далее необходимо выбрать тип утеплителя. Напомню, что толщина утеплителя должна быть рассчитана, а для толщины больше требуемой должен быть произведен расчет экономической эффективности. Кроме того вклад утепления в эксергию здания обычно не превышает 16-20%.

Еще раз стоит сказать о показателе максимального содержания влаги по массе. Часто некорректно делают оценку возможности образования точки росы исходя только из коэффициента паропроницаемости. Минвата допускает не более 5% влаги за весь период конденсации, а пенополистирол не более 25%. Что это означает? Допустим, вы выяснили, что зона конденсации будет. Но вы также можем вычислить объем влаги за период конденсации кг/м² утеплителя и сопоставить эту величину с максимально возможной для данного утеплителя. Т.е. 5% от массы минваты или 25% от массы пенополистирола покажет сколько кг/м² влаги может выдержать утеплитель за период конденсации.

n3 = "Необходимый ассортимент ESP"

$\lambda_{3b} = 0.035$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности для условия Б

$\mu_3 = 0.026$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

Параметры стенового материала теперь другие:

n4 = "Ytong D400 (AAC) 300mm"

$\lambda_{4a} = 0.16$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности

$\mu_4 = 0.23$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

$\sigma_4 = 0.3$ м толщина слоя

$Sd_4 := \frac{0.625}{\mu_4} \cdot \sigma_4 = 0.815$ м эквивалентная толщина слоя воздуха

При нарушенном влажностном режиме еще большее значение приобретает толщина и паропроницаемость внешней отделки. Зимой за период конденсации влага диффундирует преимущественно наружу. Поэтому стоит выбирать более паропроницаемые шпатлевки и фасадные краски, способные при этом выдержать постоянные косые дожди. Для пенополистирола больше всего подходят акриловые системы шпатлевка-краска

n5 = "Baumit GranoporPutz (ESP only)"

$\lambda_{5b} = 1$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности для условия Б

$\mu_5 = 4 \times 10^{-3}$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

$\sigma_5 = 2 \times 10^{-3}$ м толщина слоя

$Sd_5 := \frac{0.625}{\mu_5} \cdot \sigma_5 = 0.313$ м эквивалентная толщина слоя воздуха

Краска соответственно акриловая.

n6 = "Baumit Granopor Farbe"

$\lambda_{6b} = 5$ Вт/мС⁰ коэффициент теплопроводности для условия Б

$\mu_6 = 3 \times 10^{-3}$ мг/м час Па коэффициент паропроницаемости по СНиП

$\sigma_6 = 1.5 \times 10^{-4}$ м толщина слоя

$Sd_6 := \frac{0.625}{\mu_6} \cdot \sigma_6 = 0.031$ м эквивалентная толщина слоя воздуха

Теперь мы можем приступить к определению толщины утеплителя. Нам потребуется прежде всего рассчитать сопротивление теплопередаче стены без утеплителя и сравнить его с нормируемым для данного города.

► Определение сопротивление теплопередаче

$\lambda_1 = 4.5$ выбор теплопроводности внутренней отделки в сухом состоянии

$\lambda_2 = 0.8$ выбор теплопроводности внутренней штукатурки в сухом состоянии

$\lambda_3 = 0.032$ выбор теплопроводности утеплителя для условия Б

$\lambda_4 = 0.16$ выбор теплопроводности стенового материала для условия А

$\lambda_5 = 1$ выбор теплопроводности внешней штукатурки всегда для условия Б

Температура на поверхности стены будет ниже температуры воздуха в помещении, поэтому рассчитываем сопротивление теплоотдаче .

$\alpha_{ext} := 23$ коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/м²·°С, принимаемый по таблице 8 СП 23-101-2004 или таблице С3-3

$R_{se} := \frac{1}{\alpha_{ext}}$ $R_{se} = 0.043$ м² С⁰ Вт сопротивление теплопередаче внешней поверхности стены

$\alpha_{int} := 6$ коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м² × °С), принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02-2003 или таблице С3-4

$R_{si} := \frac{1}{\alpha_{int}}$ $R_{si} = 0.167$ м² С⁰ Вт сопротивление теплопередаче внутренней поверхности стены

Найдем температуру самой холодной пятидневки для Каширы

$t_{5z} = -31$ С⁰ температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92

► Определение требуемой толщины утеплителя

По той же таблице найдем продолжительность суток отопительного периода и среднюю температуру за этот период:

$Z_{ht} = 212$ продолжительность суток отопительного периода по таблице СНиП 23-01 со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 С⁰

$T_{ht} = -3.4$ средняя температура наружного воздуха за отопительный период по таблице 1 СНиП 23-01 температура меньше 8 С⁰

$D_d := (t_{int} - T_{ht}) \cdot Z_{ht}$ Градусосутки отопительного периода С⁰сут

$D_d = 4.961 \times 10^3$ продолжительность суток отопительного периода

Обязательно рассчитывать требуемое сопротивление теплопередаче окон вместе с утеплителем. Т.к. конденсат на окнах может быть причиной неверного выбора стеклопакета, его профиля, неверного стыка с утеплителем, высокой влажности в помещении. Вместо этого некоторые склонны списывать конденсат на окнах только на недостаточное утепление стен. Технические решения стыка утеплителя и рамы окна можно посмотреть у производителя утеплителя или у некоторых крупных производителей окон и профилей для стеклопакетов. Или произвести расчет изотерм в инженерных программах.

$a := 0.00035$ $a = 3.5 \times 10^{-4}$

$b := 1.4$ $b = 1.4$

$a_w := \begin{cases} 0.000075 & \text{if } D_d < 6000 \\ 0.00005 & \text{if } 6000 \leq D_d < 8000 \\ 0.000025 & \text{if } D_d > 8000 \end{cases}$

$b_w := \begin{cases} 0.15 & \text{if } D_d < 6000 \\ 0.3 & \text{if } 6000 \leq D_d < 8000 \\ 0.5 & \text{if } D_d > 8000 \end{cases}$

$a_w = 7.5 \times 10^{-5}$ $b_w = 0.15$

Найдем нормируемое сопротивление теплопередаче для стен и окон

$P_{req} := a \cdot D_d + b$

$P_{reqw} := a_w \cdot D_d + b_w$

$P_{req} = 3.136$ м²С⁰/Вт требуемое сопротивление теплопередаче всей стены

$P_{reqw} = 0.522$ м²С⁰/Вт требуемое сопротивление теплопередаче окна

$\alpha_{intw} := 8.0$ коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности окон, Вт/(м² × °С), принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02-2003

$P_{siw} := \frac{1}{\alpha_{intw}}$

$P_{siw} = 0.125$ м² С⁰ Вт сопротивление теплопередаче внутренней поверхности окна

Определим сопротивление теплопередаче стены без утеплителя

$$P_{\text{wall}} := \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \left(\frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} + \frac{\sigma_5}{\lambda_5} + \frac{\sigma_6}{\lambda_6} \right) + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = 2.112$$

$P_{\text{wall}} = 2.112 \text{ m}^2\text{C}^0/\text{Вт}$ сопротивление теплопередаче всей стены

Выясним какой стеклопакет необходимо поставить

► Определение параметров окна

$P_{\text{win}} = 0.56$ приведенное сопротивление теплопередаче этого стеклопакета $\text{m}^2\text{C}^0/\text{Вт}$

$\delta_w = \text{"4-16-argon-4k"}$ рекомендуемый тип стеклопакета

Наконец, посчитаем какая толщина утеплителя нам необходима

$$\delta_{\text{req}} := \lambda_3 \cdot (P_{\text{req}} - P_{\text{wall}} - R_{\text{si}} - R_{\text{se}})$$

$\delta_{\text{req}} = 0.026$ м требуемая минимальная толщина утеплителя

Найдем реальную толщину утеплителя из предлагаемого ассортимента, чтобы не работать с несуществующими значениями.

► Поиск по ассортименту

$\delta = 0.04$ м толщина утеплителя исходя из реального ассортимента

Теперь мы сможем определить Sd value утеплителя

$$\sigma_3 := \delta$$

$$Sd_3 := \frac{0.625}{\mu_3} \cdot \delta = 0.962 \text{ м эквивалентная толщина слоя воздуха}$$

Периодом конденсации будут дни со средней температурой -10C^0 , периодов высыхания будут дни со средней температурой $+12\text{C}^0$ Для по таблице 1 СНиП Климатология находим количество суток с температурой меньше -10C^0 и по таблице 3 количество суток с температурой больше $+12\text{C}^0$

► Определение периодов конденсации и высыхания

$t_{\text{ext}} := -10$ C^0 температура, когда образуется конденсат в стене

$t_{\text{exts}} := 12$ C^0 температура, когда стена начинает высыхать

$T_t = 5.496 \times 10^3$ часов период конденсации (водоакпления)

$T_v = 2.88 \times 10^3$ часов период высыхания (испарения влаги)

$\varphi_{\text{int}} = 55$ % влажность в помещении

$h_i := \alpha_{\text{int}} = 6$ $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ коэффициент теплоперехода внутри (без учета мебели у стены)

$h_e := \alpha_{\text{ext}} = 23$ $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ коэффициент теплоперехода снаружи

Найдем максимальное парциальное давление водяного пара внутри помещения и снаружи при средней температуре отопительного периода -10 . Для этого можно использовать таблицу из СП 23-101-2004. Затем найдем действительное давление водяного пара при данной влажности.

► Максимальное давление в.п. и давление водяного пара при данной влажности снаружи и внутри помещения

$p_{\text{se}} = 260$ Па максимальная упругость насыщенного пара при данной температуре при данной температуре по приложению С СП 23-101-2004 с наружи

$p_{\text{si}} := 2338$ Па, максимальная упругость насыщенного пара при 20C^0 внутри комнаты

$$p_e := \frac{\varphi_{\text{ext}}}{100} \cdot p_{\text{se}}$$

$$p_i := \frac{\varphi_{int}}{100} \cdot p_{si}$$

$$p_i = 1.286 \times 10^3 \quad \text{Па, упругость водяного пара в комнате}$$

$$p_e = 221 \quad \text{Па, упругость водяного пара наружи Средняя за период конденсации}$$

Далее найдем температуры по слоям. Это необходимо потому, что конденсат обычно выпадает не в толще материала, а на стыке слоев. И для того, чтобы найти парциальное давление в этих стыках, нужно сперва определить их температуру.

$$R_t := \frac{1}{\alpha_{int}} + \left(\frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} + \frac{\sigma_5}{\lambda_5} + \frac{\sigma_6}{\lambda_6} \right) + \frac{1}{\alpha_{ext}} = 3.362$$

$$R_t = 3.362 \quad \text{m}^2\text{C}^0/\text{Вт} \text{ сопротивление теплопередаче всей стены}$$

$$\Delta\theta := t_{int} - t_{ext} = 30$$

$$T_0 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \frac{1}{\alpha_{int}}}{R_t}$$

$$T_0 = 18.513 \quad \text{C}^0 \text{ градусов температура на внутренней поверхности стены}$$

$$T_1 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} \right)}{R_t}$$

$$T_1 = 18.513 \quad \text{C}^0 \text{ градусов на стыке отделочного слоя и внутренней штукатурки}$$

$$T_2 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} \right)}{R_t}$$

$$T_2 = 18.29 \quad \text{C}^0 \text{ градусов на стыке штукатурки и стены}$$

$$T_3 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} \right)}{R_t}$$

$$T_3 = 1.559 \quad \text{C}^0 \text{ градусов на стыке стены и утеплителя}$$

$$T_4 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} \right)}{R_t}$$

$$T_4 = -9.594 \quad \text{C}^0 \text{ градусов на стыке утеплителя и шпатлевки для WDVS}$$

$$T_5 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} + \frac{\sigma_5}{\lambda_5} \right)}{R_t}$$

$$T_5 = -9.612 \quad \text{C}^0 \text{ градусов на стыке внешней шпатлевки и фасадной краски WDVS}$$

$$T_6 := t_{int} - \frac{\Delta\theta \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3} + \frac{\sigma_4}{\lambda_4} + \frac{\sigma_5}{\lambda_5} + \frac{\sigma_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right)}{R_t}$$

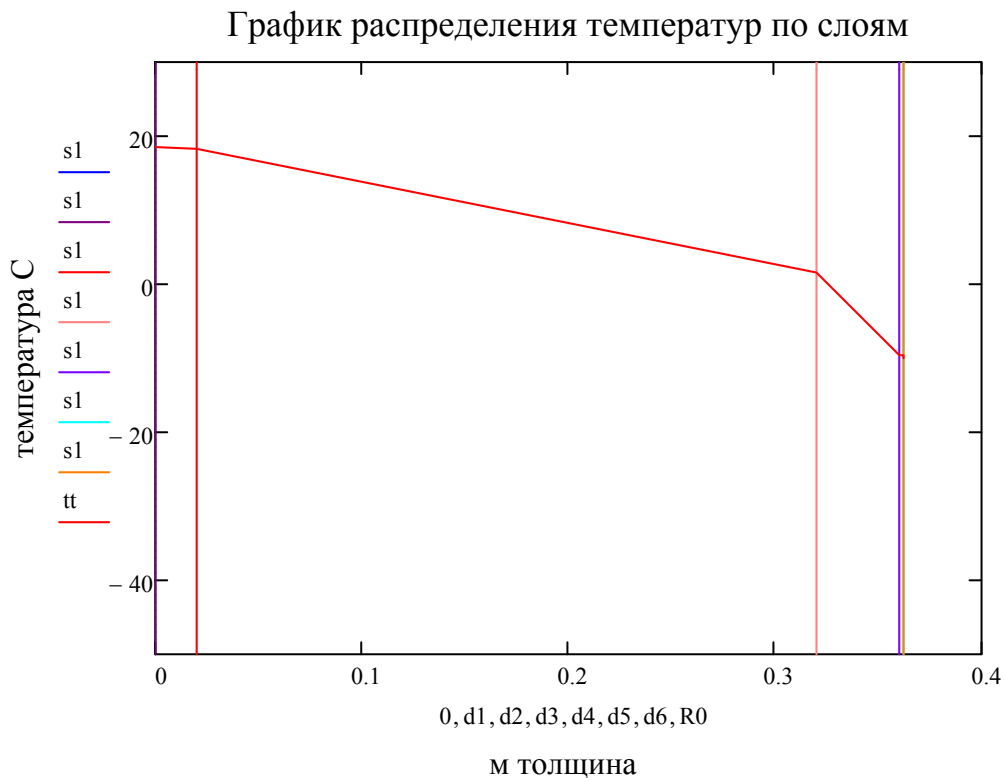
$$T_6 = -10$$

$$\Sigma S_d := S_{d1} + S_{d2} + S_{d3} + S_{d4} + S_{d5} + S_{d6} = 2.438 \quad \text{м суммарная эквивалентная толщина воздуха}$$

$$t_{ext} = -10$$

Построим график распределения температуры по слоям.

▶ Параметры графика



- внутренняя поверхность стены
- стык краски и внутренней штукатурки
- стык внутренней штукатурки и стены
- стык стены и утеплителя
- стык утеплителя и шпатлевки
- стык шпатлевки и фасадной краски
- внешняя поверхность стены
- кривая температур

Теперь мы можем по полученным температурам найти максимальное парциальное давление в.п. из таблицы СП 23-01-2004

▶ Определение максимального парциального давления по слоям

- | | |
|-----------------------------|---|
| $psw_0 = 2.129 \times 10^3$ | Па максимальное давление водяного пара на внутренней поверхности стены |
| $psw_1 = 2.129 \times 10^3$ | Па максимальное давление водяного пара в стыке отделки и внутренней штукатурки |
| $psw_2 = 2.102 \times 10^3$ | Па максимальное давление водяного пара в стыке стены и внутренней штукатурки |
| $psw_3 = 687$ | Па максимальное давление водяного пара в стыке стены и утеплителя |
| $psw_4 = 268$ | Па максимальное давление водяного пара в стыке утеплителя и внешней шпатлевки |
| $psw_5 = 268$ | Па максимальное давление водяного пара на стыке внешней шпатлевки и фасадной краски |
| $psw_6 = 260$ | Па максимальное давление водяного пара на внешней поверхности стены |

Нужно разметить слои, но не по реальной толщине, а по значениям S_d . Нанесем распределение максимального парциального давления и соединим точки значения действительного парциального давления внутри помещения и снаружи (на поверхностях).

Т.к. значение действительно парциального давления пара не может превышать максимального, оценивается касательная прямой p_i -ре к кривой p_{sw} . Т.е. кривая действительно парциального давления не может лежать выше максимального. В данном случае действительно парциальное давление в.п. может превышать максимальное сразу в нескольких стыках, тогда говорят не о точке росы (касательной кривой), а уже об области конденсации.

Плоскостью конденсации называется стык материалов, в котором выпадает конденсат. Еще раз обратите внимание, что синяя кривая не пересекается ни в одной точке. Кривая совпадения кривых показывает область конденсации.

уравнение прямой P парциального давления, найденное по двум точкам.

$$f(p) := \frac{(p_e - p_i)}{(\sum S_d - 0)} \cdot (p - 0) + p_i$$

$$f(S_d1) = 1.284 \times 10^3 \quad \text{Па действительно давление на стыке внутренней штукатурки и краски}$$

$$f(S_d1 + S_d2) = 1.147 \times 10^3 \quad \text{Па действительно давление на стыке стены и внутренней штукатурки}$$

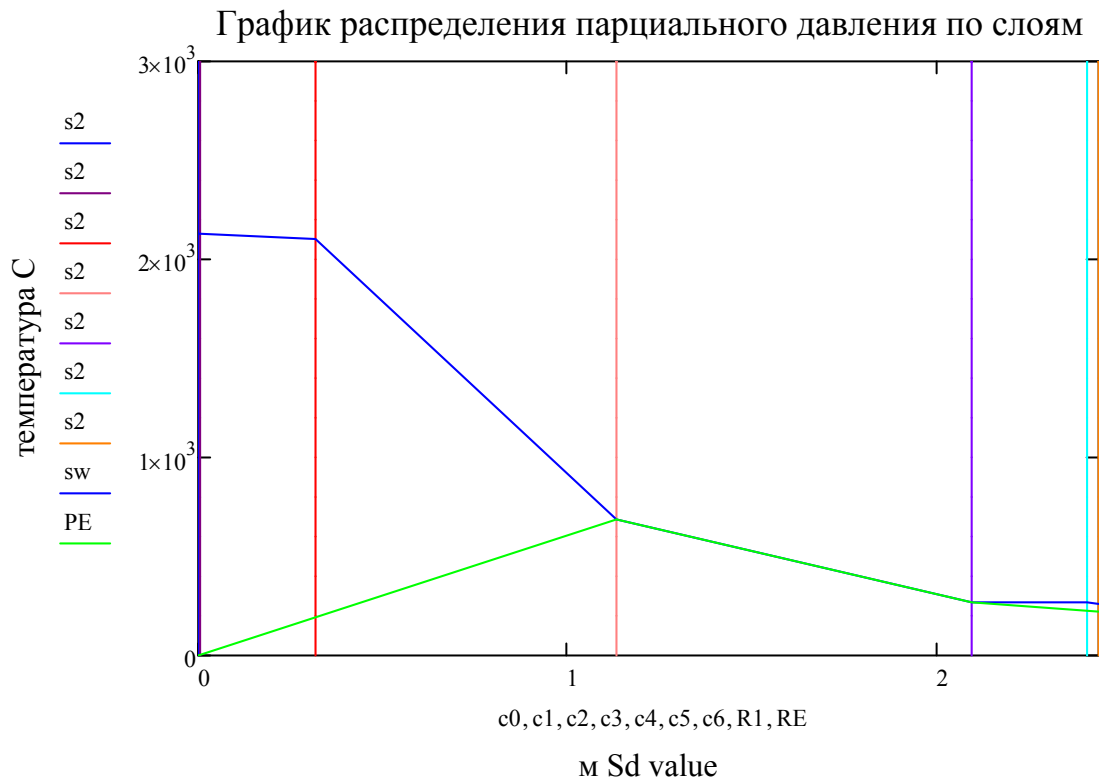
$$f(S_d1 + S_d2 + S_d4) = 791.139 \quad \text{Па действительно давление на стыке утеплителя и стены}$$

$$f(S_d1 + S_d2 + S_d3 + S_d4) = 371.147 \quad \text{Па действительно давление на стыке утеплителя и внешней шпатлевки}$$

$$f(S_d1 + S_d2 + S_d3 + S_d4 + S_d5) = 234.65 \quad \text{Па действительно давление на стыке внешней шпатлевки и фасадной краски}$$

$$f(S_d1 + S_d2 + S_d3 + S_d4 + S_d5 + S_d6) = 221 \quad \text{Па действительно давление в.п. на внешней поверхности}$$

Разметка стены относительно S_d value



- внутренняя поверхность стены
- стык краски и внутренней штукатурки
- стык внутренней штукатурки и стены
- стык утеплителя и стены
- стык утеплителя и шпатлевки
- стык шпатлевки и фасадной краски
- внешняя поверхность стены
- кривая максимального парциального давления
- кривая действительно парциального давления в.п.

Вот собственно этого мы и боялись уведеть: весь пенополистирол находится в области конденсации. Но это не значит, что внутри утеплителя будет течь ручьями вода. Это означает только что за период конденсации в зимнии месяцы будет накапливаться какое-то количество влаги. А вот сколько именно составит это накопление в кг и, главное, успеет ли этот объем высохнуть летом и не превышает ли он максимально допустимые 25% нам и предстоит выяснить

Расчет значений пароизоляции для WDVS

Расчет значения Sd пароизоляции

$$m := \begin{cases} \left| \frac{psw3 - pe}{Sd5 + Sd6} \right| & \text{if } psw3 \leq f(Sd1 + Sd2 + Sd4) \\ \text{"в стене нет выпадения конденсата"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$m = 1.356 \times 10^3 \quad \text{рост влаги}$$

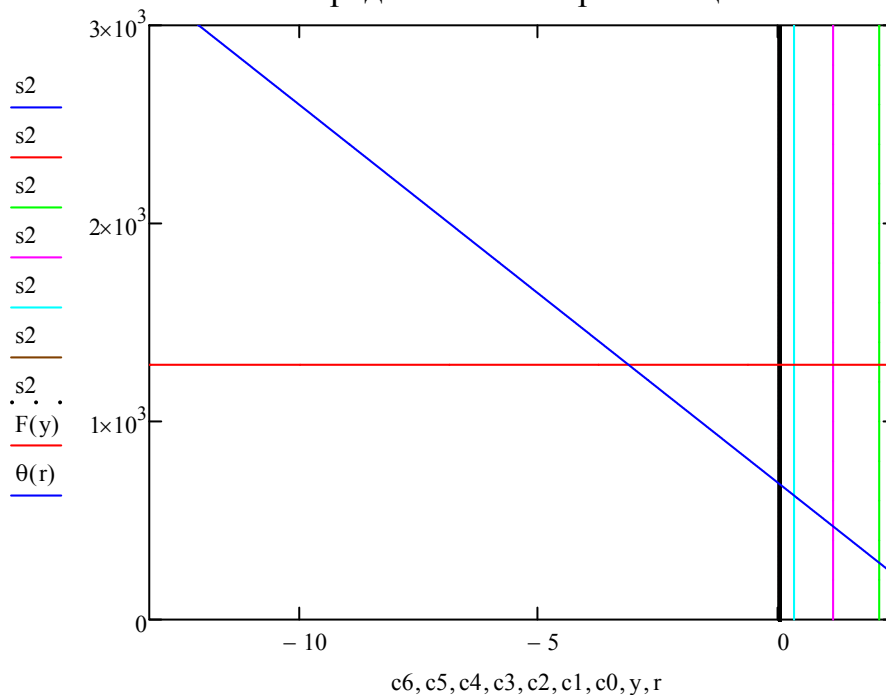
$F(y) := pi$ точка пересечения $F(y)$ и $f(p)$ показывает необходимое значение Sd value требуемой пароизоляции

$$\theta(r) := \frac{(pe - psw3)}{(\sum Sd - 0)} \cdot (r - 0) + psw3$$

$$res := \frac{pi - psw3}{(pe - psw3)} \cdot (\sum Sd)$$

$res = 3.133$ м минимальное требуемое значение Sd value внутренней пароизоляции

Определение Sd пароизоляции



точка пересечения прямых показывает расстояние требуемого Sd по сравнению с показателями материалов стены. Как и следовало ожидать, для того чтобы избавиться от проблем с влажностью, нужно не такое уж и большое значение пароизоляции внутреннего отделочного слоя. Для этого могут пригодиться латексные паронепроницаемые грунтовки для внутренних работ, которые наносятся перед окраской. Sd пароизолирующей грунтовки гораздо меньше 100 м для пленочной пароизоляции, которая нам в данном случае будет лишней.

Не забывайте, что низкая паропроницаемость стен может потребовать организации вентклапанов или принудительной вентиляции.

$$Zi := 1.5 \cdot 10^6 (Sd1 + Sd2 + Sd3)$$

$$Z_e := 1.5 \cdot 10^6 \cdot (S_{d4} + S_{d5} + S_{d6})$$

$$Z_i = 1.919 \times 10^6 \quad \text{м}^2 \text{ час Па / кг Сопrotивление диффузии водяного пара от внутренней стены до стыка утеплителя и стены}$$

$$Z_e = 1.738 \times 10^6 \quad \text{м}^2 \text{ час Па / кг Сопrotивление диффузии водяного пара от стыка утеплителя со стеной до внешней поверхности стены}$$

$$g_i := \frac{p_i - p_{sw3}}{Z_i}$$

$$g_e := \frac{p_{sw3} - p_e}{Z_e}$$

$$M_{iw} := T_t \cdot g_i$$

$$M_{ew} := T_t \cdot g_e$$

$$M_{wt} := T_t \cdot (g_i - g_e)$$

за период влагонакопления дней $T_{t0} = 229$

$$g_i = 3.122 \times 10^{-4} \quad \text{кг/м}^2 \text{ час плотность потока диффузии из помещения к плоскости конденсации}$$

$$g_e = 2.681 \times 10^{-4} \quad \text{кг/м}^2 \text{ час плотность потока диффузии от плоскости конденсации наружу}$$

$$M_{iw} = 1.716 \quad \text{кг/м}^2 \text{ входящее в конструкцию количество влаги}$$

$$M_{ew} = 1.473 \quad \text{кг/м}^2 \text{ выходящее из конструкции количество влаги}$$

$$M_{wt} = 0.242 \quad \text{кг/м}^2 \text{ увеличивающаяся масса воды за период влагонакопления}$$

$$\frac{g_i}{g_e} = 1.165 \quad \text{раз больше влаги входит в стену, чем успевает испаряться наружу}$$

Мы определили, что количество влаги, попадающей в утеплитель из комнаты, практически в 2 раза больше влаги, которая покидает утеплитель. Рассчитаем период высыхания

$$\varphi_{is} := 70 \quad \% \text{ средняя влажность внутри помещения летом}$$

$$p_{es} := p_v = 1.258 \times 10^3 \quad \text{Па среднее давление за период высыхания}$$

$$\theta_{li} := 1403 \quad \text{Па максимальное давление в.п. при температуре 12 градусов}$$

$$p_{is} := \frac{\varphi_{is}}{100} \cdot \theta_{li} = 982.1 \quad \text{Па действительное давление в.п. внутри помещения в период высыхания}$$

$$g_{is} := \frac{\theta_{li} - p_{is}}{Z_i}$$

$$g_{es} := \frac{\theta_{li} - p_{es}}{Z_e}$$

$$g_{is} = 2.194 \times 10^{-4} \quad \text{кг / м}^2 \text{ час плотность диффузионного потока в сторону помещения}$$

$$g_{es} = 8.37 \times 10^{-5} \quad \text{кг / м}^2 \text{ час плотность диффузионного потока в сторону улицы}$$

за период высыхания дней $T_{v0.30} = 120$

$$M_{wvw} := T_v \cdot (g_{is} + g_{es})$$

$$M_{wvw} = 0.873 \quad \text{кг/м}^2 \text{ испарение воды за период высыхания (сложение т.к. испарение идет в обе стороны)}$$

$$M_{out} := T_v \cdot g_{es}$$

$$M_{out} = 0.241 \quad \text{кг/м}^2 \text{ испарение воды за период высыхания наружу.}$$

$$M_{ins} := Tv \cdot g_{is} = 0.632$$

кг/м² диффундирующая вовнутрь масса воды

$$\Delta_{max} := \frac{\omega_3}{100} \cdot \rho_3 \cdot \delta = 0.3 \text{ кг максимальное количество влаги на м}^2 \text{ для данного утеплителя}$$

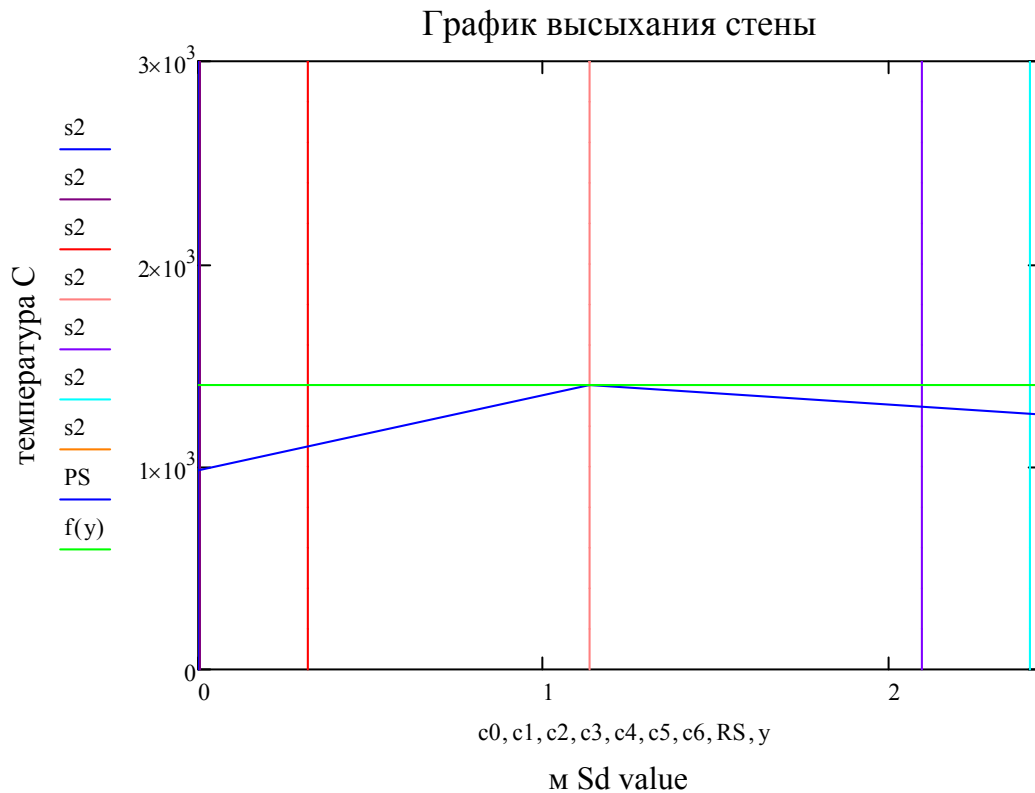
$$\lambda_{3b} = 0.035$$

$$\frac{\lambda_{3b}}{0.1} \cdot \frac{M_{wvw}}{\rho_3 \cdot \delta} = 0.255 \text{ Вт/мС теплопроводность утеплителя в худший период конденсации}$$

Получается, что за период конденсации в пенополистироле накопится 240 г влаги на квадратный метр. Вот здесь стоит сравнить этот показатель с максимальным содержанием влаги по массе для пенополистирола, который составляет 300 г влаги.

Но за период высыхания испарится почти 900 г влаги на квадратный метр. Таким образом, к следующему сезону утепление стены войдет в рабочий режим. При этом теплопроводность значительно повысится вплоть до 0.255 Вт/мС

$$PS := \begin{pmatrix} pis \\ \theta_{li} \\ pes \end{pmatrix} \quad RS := \begin{pmatrix} 0 \\ c_3 \\ c_6 \end{pmatrix} \quad f(y) := \theta_{li}$$



- внутренняя поверхность стены
- стык краски и внутренней штукатурки
- стык внутренней штукатурки и утеплителя
- стык утеплителя и стены
- стык стены и штукатурки
- стык штукатурки и фасадной краски
- внешняя поверхность стены
- кривая диффузирования влаги из стены
- кривая максимально давления в.п. летом

В данной статье мы проанализировали суть проблем WDVS, возникающих при неблагоприятных условиях, коими являются сочетание стенового материала высокой паропроницаемости с утеплителем низкой паропроницаемости в холодном или влажном климате. В менее суровом климате пенополиурол может набирать влагу за период конденсации, но она, как правило высыхает, приводя лишь к значительному повышению k -та теплопроводности за период с очень низкими температурами. В более суровом климате, влага в утеплителе и в стыке его со стеной может не успеть высохнуть к следующему сезону. Что уже приведет через несколько лет к потере несущей способности стенового материала и недопустимо ни при каких условиях.

Таким образом стеновые материалы с очень высокой паропроницаемостью такие как автоклавный пенобетон требуют более тщательного анализа перед применением утепления.

A.Zhukov Ph.D in architecture

ий
