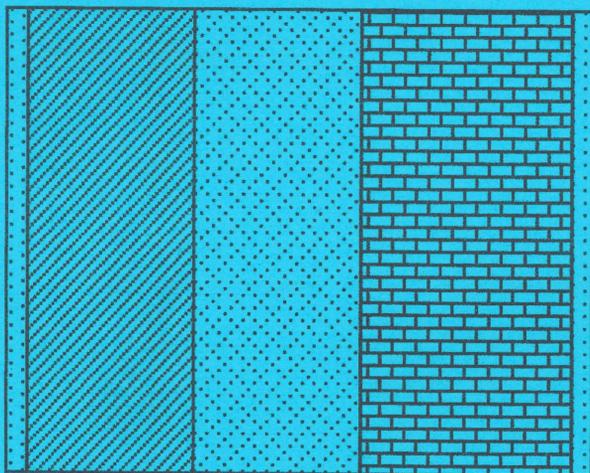


Э.Р. Ефименко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям
по курсу «Строительная физика»



Тольятти
ТГУ
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

Э.Р. Ефименко

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
ВОДЯНОГО ПАРА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям по курсу «Строительная физика»

Тольятти
ТГУ
2010

УДК 624.01/.07(075.8)

ББК 38.113

E911

Рецензенты:

к.ф.-м.н., доцент Тольяттинского военного технического института

Р.М. Бахшинян;

к.т.н., доцент Тольяттинского государственного университета

В.А. Филиппов.

E911 Ефименко, Э.Р. Распределение парциального давления водяного пара в толще ограждения : учеб.-метод. пособие к практическим занятиям по курсу «Строительная физика» / Э.Р. Ефименко. – Тольятти : ТГУ, 2010. – 44 с.

В учебно-методическом пособии даны краткий теоретический материал для расчета распределения температур и парциального давления водяного пара в толще ограждения, а также примеры расчета и порядок определения точки возможного выпадения конденсата.

Пособие предназначено для студентов специальностей 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и 290105 «Городское строительство и хозяйство» всех форм обучения.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета

© ГОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», 2010

Введение

Теория теплообмена – это наука о процессах переноса теплоты. С теплообменом связаны многие явления, наблюдаемые в природе и технике. Ряд важнейших вопросов проектирования и строительства зданий и сооружений решается на основе теории теплообмена или некоторых ее положений.

Знание законов теплообмена позволяет инженеру-строителю увязать толщину и материал ограждающих конструкций с отопительными устройствами, разработать новые строительные материалы и конструкции, более экономичные и способные надежно защищать человека от холода.

При проектировании и выборе конструкций ограждения необходимо знать распределение температуры в его толще и на поверхности. Это дает возможность определить условия конденсации влаги в толще конструкции, правильно назначить место расположения пароизоляционных слоев.

При диффузии пара через однородные ограждающие конструкции гражданских зданий обычно не происходит конденсации влаги в толще конструкции. Конденсация влаги в таких конструкциях возможна только при повышенной влажности воздуха в помещении или при очень плотном наружном слое, ограничивающем диффузию пара из ограждения в атмосферу.

В слоистых ограждающих конструкциях порядок чередования слоев из плотных и пористых материалов имеет важное значение в предупреждении конденсации влаги внутри конструкции. Если часть конструкции, граничащая с отапливаемым помещением, выполнена из пористого материала, а наружная часть – из плотного, то на их границе возможна конденсация влаги, особенно при значительной влажности воздуха в помещении. Наоборот, выполнение внутренней части конструкции из плотного материала, обладающего малой паропропускаемостью, а наружной части – из материала пористого гарантирует ограждающую конструкцию от конденсации влаги. Это наглядно можно проследить в графоаналитическом методе. Развитием графоаналитического метода расчета стационарного влажностного состояния ограждающих конструкций является метод последовательного увлажнения,

который учитывает нестационарность диффузии водяного пара и различную ее направленность в отдельные календарные периоды.

В правильно запроектированной конструкции должно обеспечиваться $P_{vp} > 0$. При отрицательном балансе влаги, чтобы исключить систематическое увлажнение ограждения, необходимо устройство у внутренней поверхности конструкции влагоизоляции, например в виде отделочного слоя из плотных материалов с большим сопротивлением паропрооницанию.

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НАРУЖНЫМ ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ

Наружные ограждающие конструкции зданий в теплотехническом и влагоизоляционном отношении должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обладать достаточными теплотехническими свойствами, чтобы лучше сохранять тепло в помещениях в холодное время года;
- 2) температура внутренних поверхностей при эксплуатации не должна значительно отличаться от температуры внутреннего воздуха, чтобы избежать конденсата на стенах и на потолках верхних этажей;
- 3) воздухопроницаемость стен здания не должна превосходить допустимого предела; в противном случае помещения будут охлаждаться, а у людей, находящихся вблизи наружных стен, будет ощущение обдувания;
- 4) влажность ограждений должна быть минимальной, так как увлажнение ухудшает их теплозащитные свойства.

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР И ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Температура внутренней поверхности ограждения является одним из основных санитарно-гигиенических параметров помещения и характеризует теплозащитные свойства ограждения. Вероятность выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения определяется его температурой при заданной температуре и относительной влажности воздуха помещения. Кроме того, температура внутренней поверхности ограждения характеризует степень комфортности микроклимата помещения, так как с ее понижением усиливается процесс потери тепла телом человека за счет теплоизлучения, что при определенных условиях может вызывать ощущение озноба. В связи с этим на основании санитарных норм ограничивается расчетный температурный перепад Δt_0 , °С, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции. Он не должен превышать нормируемого перепада Δt_n , °С ([4] табл. 5). Определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \alpha_{\text{int}}},$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху ([4] табл. 6); t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая согласно нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений ([2]); t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период, °С, принимается равной средней температуре наиболее холодного месяца ([3] табл. 3*); α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м °С) ([4] по табл. 7); R_0 – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, м²×°С/Вт, определяется по формуле

$$R_0 = R_{\text{int}} + R_k + R_{\text{ext}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}},$$

здесь R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции; δ_i – толщина слоя, м; λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м °С) ([5] прил. Д); α_{ext} – коэффициент теплоотда-

чи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°С) ([5] табл. 8).

В условиях стационарного теплового потока температуру внутренней поверхности ограждения определяют по формуле

$$\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot R_{\text{int}}.$$

Из приведенной формулы видно, что для повышения температуры внутренней поверхности ограждения нужно повысить общее сопротивление теплопередаче или уменьшить сопротивление тепловосприятию. Повышение общего сопротивления теплопередаче неэкономично, так как влечет за собой увеличение массы ограждающих конструкций и расхода материалов.

Уменьшение сопротивления тепловосприятию несущественно понизит общее сопротивление теплопередаче, но окажет значительное влияние на повышение температуры внутренней поверхности стены.

Температура внутренней поверхности **остекления окон** зданий должна быть не ниже плюс 3 °С, то есть:

$$\tau_{\text{int}}^{\text{OK}} \geq 3^{\circ}\text{C},$$

где $\tau_{\text{int}}^{\text{OK}}$ – температура внутренней поверхности остекления окон зданий, °С.

Температура внутренней поверхности окон определяется по формуле

$$\tau_{\text{int}}^{\text{OK}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_o \cdot \alpha_{\text{int}}}.$$

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции **в зоне теплопроводных включений, в углах и оконных откосах** должна быть выше температуры точки росы внутреннего воздуха на 3 °С, то есть:

$$\tau_{\text{int}}^{\text{HC}} \geq t_p + 3^{\circ}\text{C},$$

где $\tau_{\text{int}}^{\text{HC}}$ – температура внутренней поверхности включений и наружного угла, °С; t_p – температура точки росы внутреннего воздуха, °С.

Температура точки росы внутреннего воздуха определяется по формуле

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_{\text{int}})^2, ^{\circ}\text{C},$$

где e_{int} – упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и влажности этого воздуха.

Упругость водяного пара внутреннего воздуха определяется по формуле

$$e_{\text{int}} = (\varphi_{\text{int}}/100)E_{\text{int}},$$

где E_{int} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} , принимается по прил. 1 ([5] прил. С); φ_{int} – относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая 55% согласно требованиям СНиП [4].

Определить возможность конденсации влаги в толще ограждающей конструкции в условиях стационарного состояния диффузии водяного пара можно графоаналитическим методом. Графоаналитический метод расчета влажностного режима позволяет определить влажностное состояние ограждающих конструкций зданий в установившейся стадии процесса, но не раскрывает течение этого процесса во времени. В умеренном климате в ограждающих конструкциях отапливаемых зданий влагонакопление возможно только в зимний период, в летний – происходит процесс сушки конструкции. В конструкциях, выполненных из плотных малопроницаемых материалов, установленная расчетом конденсация водяного пара может и не наступить, поскольку для стабилизации процесса увлажнения продолжительность холодного периода года окажется недостаточной.

Учитывая высокую инерционность процесса диффузии водяного пара в ограждающих конструкциях по сравнению с теплопередачей за расчетные температуры и парциальные давления пара воды наружного и внутреннего воздуха, принимают среднемесячные значения (или за более длительный период).

Вначале на границах слоев из различных материалов, составляющих конструкцию, определяются температуры τ . При этом для вычисления температуры на границах слоев используются формула или графоаналитический метод.

Температура в толще ограждения в любом его сечении определяется:

$$\tau_x = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_x),$$

где R_x – термическое сопротивление конструктивных слоев ограждения, расположенных между внутренней поверхностью ограждения и ее произвольной плоскостью x .

Сопротивление паропрооницанию R_{ip} , $\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{мг}$, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_{ip} = \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

где δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м; μ_i – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{мг} / (\text{м} \times \text{ч} \times \text{Па})$, принимаемый по прил. 2 (прил. Д [5]).

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{мг}$, многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$\begin{aligned} R_{vp} &= R_{intp} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n} + R_{extp} = \\ &= R_{intp} + \sum R_{ip} + R_{extp} \left(\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} \right) / \text{мг}. \end{aligned}$$

Сопротивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропрооницанию составляющих ее слоев.

Сопротивление паропрооницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по прил. 3.

Сопротивление паропрооницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю независимо от расположения и толщины этих прослоек.

В соответствии со значениями вычисленных температур строится кривая упругости насыщенного водяного пара или максимального парциального давления водяного пара E (красный график). Для этого устанавливаем значения парциального давления для каждого слоя конструкции согласно графику распределения температур с помощью прил. 1 (прил. С [5]).

Вычисляются значения парциального давления водяного пара e на границе слоев ограждающей конструкции по формуле

$$e_x = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \cdot (R_{intp} + R_{xp}),$$

где e_{ext} – упругость водяного пара наружного воздуха определяется по формуле

$$e_{ext} = \frac{\varphi_{ext} \cdot E_{ext}}{100},$$

здесь E_{ext} — парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{ext} принимается по прил. 1 ([5] прил. С); R_{xp} — сопротивление паропроницанию конструктивных слоев ограждения, расположенных между внутренней поверхностью ограждения и ее произвольной плоскостью x .

Строится линия распределения водяных паров в толще ограждения. Распределение парциального давления водяного пара в многослойной ограждающей конструкции может быть найдено графически, если рассматриваемую конструкцию изобразить в масштабе сопротивлений паропроницанию, как это делается при определении распределения температур в аналогичной многослойной конструкции при изображении ее в масштабе термического сопротивления.

Зная E и e в каждом сечении рассматриваемой конструкции, можно построить кривую распределения относительной влажности воздуха φ в ограждении. А по кривым сорбции материалов, составляющих конструкцию, построить кривую распределения влажности по сечению рассматриваемой ограждающей конструкции.

Если внутри конструкции не происходит пересечения линий e (синий график) с E (красный график), то это указывает на отсутствие конденсации влаги внутри ограждающей конструкции, поскольку в любом ее сечении парциальное давление водяного пара ниже насыщенного.

При пересечении линий e с E в ограждающей конструкции возможна конденсация влаги. Зона возможной конденсации располагается между точками касания E_{int} и E_{ext} прямых, проведенных из точек e и e_{int} , расположенных на поверхностях конструкции, к линии E .

В помещениях с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию теплоизолирующих уплотнителей сопряжений элементов ограждающих конструкций (мест примыкания заполнений проемов к стенам и т. п.) со стороны помещений; сопротивление паропроницанию в местах таких сопряжений проверяется из условия ограничения накопления влаги в сопряжениях за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха на основании расчета температурного и влажностного полей.

Для стен промышленных зданий, подверженных воздействию высокоактивных в гигроскопическом отношении аэрозолей ($\varphi_p \leq 60\%$) расчет по обычным формулам СНиП 23-02 выполнять не следует. За-

щиту от увлажнения таких стен с внутренней стороны следует производить без расчета как от непосредственного воздействия раствора соответствующего аэрозоля.

Для обеспечения нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{vp1}^{req} ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропрооницанию R_{vp} конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации.

Независимо от результатов расчета по формулам СНиП 23-02 нормируемые сопротивления паропрооницанию R_{p1}^{req} и R_{p2}^{req} (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) во всех случаях должны приниматься не более $5 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{мг}$.

3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Выполнить расчет температур в толще ограждения (наружной многослойной стены) и построить график ее распределения для жилого здания в Костроме. Проверить соответствие конструкции санитарно-гигиеническим требованиям. Проверить конструкцию на возможность выпадения конденсата на поверхности и внутри конструкции. Сделать выводы.

ПРИМЕР 1

1.1. Исходные данные

◆	Район строительства	<i>Кострома</i>
◆	Зона влажности	<i>нормальная</i> (СНиП 23-02-2003 прил. В)
◆	Влажностный режим жилых помещений	<i>нормальный</i> (СНиП 23-02-2003 табл. 1)
◆	Условия эксплуатации ограждающих конструкций	<i>Б</i> (СНиП 23-02-2003 табл. 2)
◆	Относительная влажность внутреннего воздуха для жилых помещений	$\varphi_{int} = 55\%$ (СП 23-101-2004 табл. 1)
◆	Относительная влажность наружного воздуха	$\varphi_{ext} = 85\%$ (СНиП 23-01-99* табл. 1) <i>средняя относительная влажность наиболее холодного месяца</i>
◆	Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{int} = 20^\circ \text{C}$ (ГОСТ 30494);
◆	Расчетная температура наружного воздуха	$t_{ext} = -11,8^\circ \text{C}$ (СНиП 23-01-99* табл. 3*) <i>средняя месячная температура наиболее холодного месяца (январь)</i>
◆	Нормируемый температурный перепад	$\Delta t_n = 4^\circ \text{C}$ (СНиП 23-02-2003 табл. 5)
◆	Коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху	$n = 1$ (СНиП 23-02-2003 табл. 6)
◆	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций	$\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{C})$ (СНиП 23-02-2003 табл. 7)
◆	Коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающих конструкций	$\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{C})$ (СП 23-101-2004 табл. 8)

1.2. Эскиз ограждающей конструкции (наружной стены)

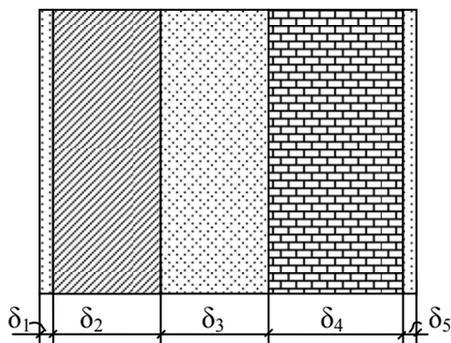


Рис. 1. Многослойная стена жилого здания

1.3. Расчетные теплотехнические показатели материалов

Приняты по параметру **Б** (СП 23-101-2004 прил. Д). Наружная многослойная стена жилого дома состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции.

№ п/п	Наименование слоя конструкции (материал)	Плотность материала ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м ² ·С)	Коэффициент паропроницания μ , мг/(м·ч·Па)	Толщина слоя δ , мм
1	Гипсовая штукатурка	1000	0,35	0,11	$\delta_1 = 5$
2	Железобетон	2500	2,04	0,03	$\delta_2 = 100$
3	Утеплитель Styrofoam 1B	28	0,031	0,006	$\delta_3 = 100$
4	Кирпичная облицовка из сплошного глиняного обыкновенного кирпича	1800	0,81	0,11	$\delta_4 = 120$
5	Штукатурка из поризованного гипсоперлитового раствора	500	0,19	0,43	$\delta_5 = 8$

1.4. Порядок расчета

1. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = \\ = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,35} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,008}{0,19} + \frac{1}{23} = 3,638 \text{ (м}^2\text{°C) / Вт.}$$

2. Температуры на поверхности каждого слоя определяются по формулам

- температура на внутренней поверхности ограждения:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot R_{\text{int}} = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \frac{1}{8,7} = 19,0^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности второго слоя:

$$\tau_2 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1) = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,35}\right) = 18,87^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности третьего слоя:

$$\tau_3 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2) = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,35} + \frac{0,1}{2,04}\right) = 18,44^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности четвертого слоя:

$$\tau_4 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3) = \\ = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,35} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031}\right) = -9,76^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности пятого слоя:

$$\tau_5 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = \\ = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,35} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,12}{0,81}\right) = -11,05^\circ \text{C};$$

- температура на наружной поверхности ограждения:

$$\tau_6 = \tau_{\text{ext}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) = 20 - \frac{20 + 11,8}{3,638} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \right. \\ \left. + \frac{0,005}{0,35} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,008}{0,19}\right) = -11,42^\circ \text{C}.$$

3. Для наглядности расчета построим график распределения температур на поверхности и в толще ограждения (стены) в масштабе изменения температур его слоев (рис. 2).

4. Определим температурный перепад:

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \alpha_{\text{int}}} = \frac{1 \cdot (20 + 31)}{3,638 \cdot 8,7} = 1,61^\circ \text{C}, \Delta t_0 < \Delta t_n,$$

следовательно, конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

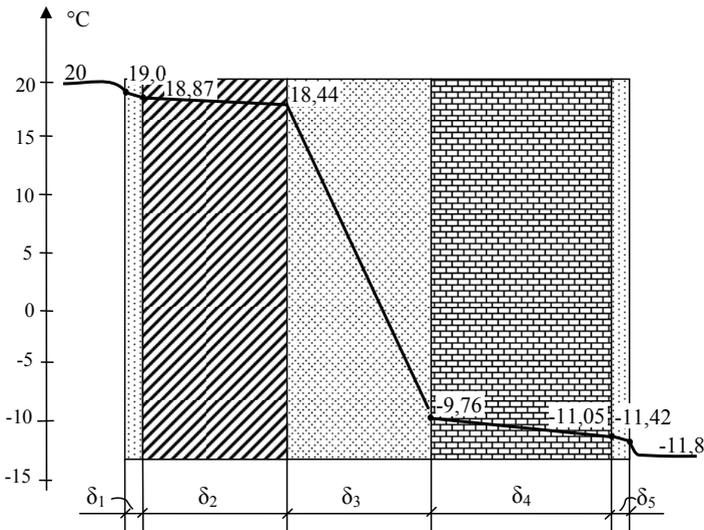


Рис. 2. График распределения температур в толще ограждения

5. Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены определяем сопротивление паропрооницанию стены по формуле

$$R_{vp} = R_{\text{int}p} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5} + R_{\text{exp}} = 0,00266 + \frac{0,005}{0,11} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,006} + \frac{0,12}{0,11} + \frac{0,008}{0,43} + 0,00133 = 21,159 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}.$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены в условиях насыщения и строим график распределения максимального парциального давления водяного пара (Е – красный график рис. 3). Для этого устанавливаем значения парциального дав-

ления для каждого слоя конструкции согласно графику распределения температур с помощью прил. С.

t_{int}	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	t_{ext}
20	19,0	18,87	18,44	-9,76	-11,05	-11,42	-11,8
E_{int}	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_{ext}
2338	2197	2179	2121	265	237	229	221

7. Определяем действительное парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены и строим график распределения действительного парциального давления водяного пара (e – синий график рис. 3).

Для этого устанавливаем значения парциального давления снаружи конструкции по формулам:

$$e_{\text{int}} = \varphi_{\text{int}} \cdot E_{\text{int}} / 100 = 55 \cdot 2338 / 100 = 1286 \text{ Па};$$

$$e_{\text{ext}} = \varphi_{\text{ext}} \cdot E_{\text{ext}} / 100 = 85 \cdot 221 / 100 = 188 \text{ Па}.$$

Рассчитаем действительное парциальное давление e_i на границах слоев по формуле $e_x = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{\text{xp}})$, нумеруя от внутренней поверхности к наружной:

- давление на внутренней поверхности ограждения:

$$e_1 = e_{\text{int}} = 1286 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности второго слоя:

$$e_2 = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{1p}) = 1286 - \frac{1286 - 188}{21,159} \cdot (0,00266 + \frac{0,005}{0,11}) = 1283 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности третьего слоя:

$$e_3 = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{1p} + R_{2p}) = 1286 - \frac{1286 - 188}{21,159} \cdot (0,00266 + \frac{0,005}{0,11} + \frac{0,1}{0,03}) = 1111 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности четвертого слоя:

$$e_4 = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p}) = 1286 - \frac{1286 - 188}{21,159} \cdot (0,00266 + \frac{0,005}{0,11} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,006}) = 246 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности пятого слоя:

$$e_5 = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{int } p} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p} + R_{4p}) = 1286 - \frac{1286 - 188}{21,159} \cdot (0,00266 + 0,005 + \frac{0,1}{0,11} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,006} + \frac{0,12}{0,11}) = 190 \text{ Па};$$

- давление на внешней поверхности ограждения:

$$e_6 = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{int } p} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p} + R_{4p} + R_{5p}) = 1286 - \frac{1286 - 188}{21,159} \cdot (0,00266 + 0,005 + \frac{0,1}{0,11} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,006} + \frac{0,12}{0,11} + \frac{0,008}{0,43}) = 189 \text{ Па}.$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции.

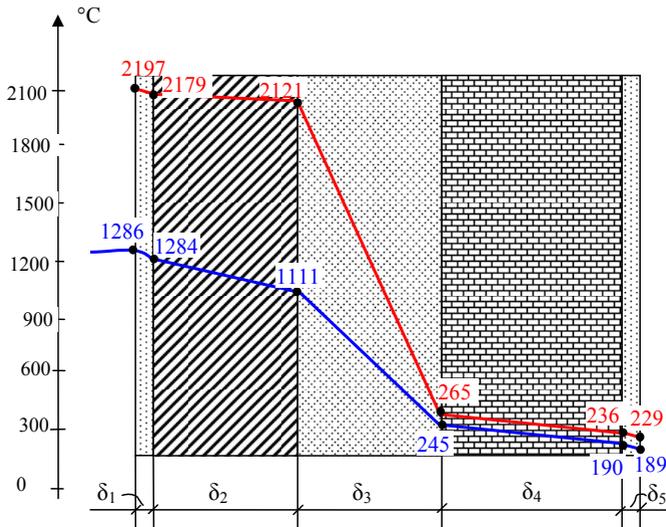


Рис. 3. Графики распределения действительного и максимального парциального давления водяного пара в толще ограждения

Для наглядности расчета построим график распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и график изменения действительного парциального давления e_i водяного пара по толще стены в масштабе сопротивлений паропрооницанию его слоев (рис. 3).

Очевидно, что эти кривые не пересекаются, что также доказывает возможность образования конденсата в ограждении.

ПРИМЕР 2

2.1. Исходные данные

Аналогично примеру 1, но со слоем утеплителя внутри.

2.2. Эскиз ограждающей конструкции (наружной стены)

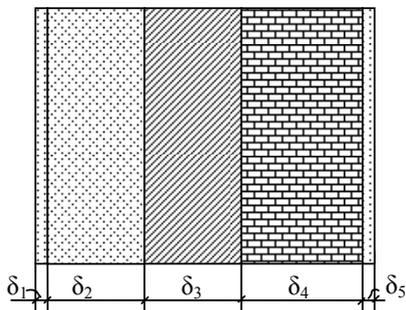


Рис. 4. Многослойная стена жилого здания

2.3. Расчетные теплотехнические показатели материалов

Приняты по параметру *Б* (СП 23-101-2004 прил. Д). Наружная многослойная стена жилого дома состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции.

№ п/п	Наименование слоя конструкции (материал)	Плотность материала ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Толщина слоя δ , мм
1	Гипсовая штукатурка	1000	0,35	0,11	$\delta_1 = 5$
2	Утеплитель Styrofoam1В	28	0,031	0,006	$\delta_2 = 100$
3	Железобетон	2500	2,04	0,03	$\delta_3 = 100$
4	Кирпичная облицовка из сплошного глиняного обыкновенного кирпича	1800	0,81	0,11	$\delta_4 = 120$
5	Штукатурка из поризованного гипсоперлитового раствора	500	0,19	0,43	$\delta_5 = 8$

2.4. Порядок расчета

1. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} =$$
$$= \frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} + \frac{0.1}{0.031} + \frac{0.1}{2.04} + \frac{0.12}{0.81} + \frac{0.008}{0.19} + \frac{1}{23} = 3.638 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

2. Температуры на поверхности каждого слоя определяются по формулам:

- температура на внутренней поверхности ограждения:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot R_{\text{int}} = 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.0^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности второго слоя:

$$\tau_2 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1) = 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} \right) = 18.87^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности третьего слоя:

$$\tau_3 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2) =$$
$$= 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} + \frac{0.1}{0.031} \right) = -9.33^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности четвертого слоя:

$$\tau_4 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3) =$$
$$= 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} + \frac{0.1}{0.031} + \frac{0.1}{2.04} \right) = -9.76^\circ \text{C};$$

- температура на внутренней поверхности пятого слоя:

$$\tau_5 = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) =$$
$$= 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} + \frac{0.1}{0.031} + \frac{0.1}{2.04} + \frac{0.12}{0.81} \right) = -11.05^\circ \text{C};$$

- температура на наружной поверхности ограждения

$$\tau_6 = \tau_{ext} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0} \cdot (R_{int} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) =$$

$$= 20 - \frac{20 + 11.8}{3.638} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.005}{0.35} + \frac{0.1}{0.031} + \frac{0.1}{2.04} + \frac{0.12}{0.81} + \frac{0.008}{0.19} \right) = -11.42^\circ\text{C}.$$

3. Для наглядности расчета построим график распределения температур на поверхности и в толще ограждения (стены) в масштабе изменения температур его слоев (рис. 5).

4. Определим температурный перепад:

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0 \alpha_{int}} = \frac{1 \cdot (20 + 31)}{3.638 \cdot 8.7} = 1,61^\circ\text{C}, \quad \Delta t_0 < \Delta t_n.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

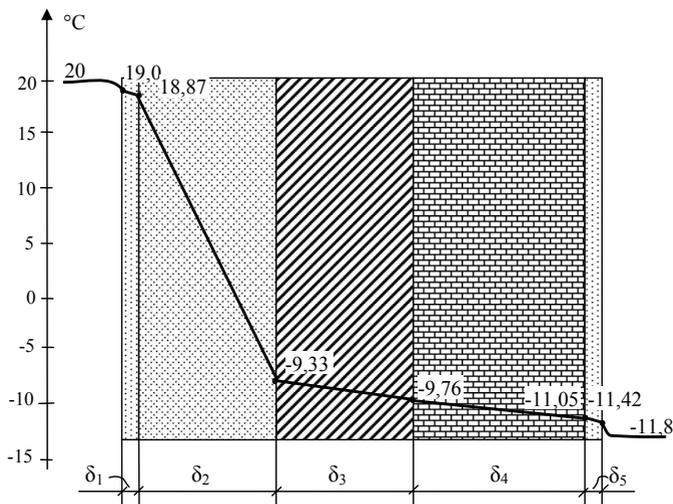


Рис. 5. График распределения температур в толще ограждения

5. Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены определяем сопротивление паропроницанию стены R_{vp} по формуле

$$R_{vp} = R_{int p} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5} + R_{ext p} = 0.00266 + \frac{0.005}{0.11} +$$

$$+ \frac{0.1}{0.006} + \frac{0.1}{0.03} + \frac{0.12}{0.11} + \frac{0.008}{0.43} + 0.00133 = 21.159 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}.$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены в условиях насыщения и строим график распределения максимального парциального давления водяного пара (E – красный график рис. 6). Для этого устанавливаем значения парциального давления для каждого слоя конструкции согласно графику распределения температур, с помощью прил. С.

t_{int}	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	t_{ext}
20	19.0	18.87	-9.33	-9.76	-11.05	-11.42	-11.8
E_{int}	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_{ext}
2338	2197	2179	276	265	237	229	221

7. Определяем действительное парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены и строим график распределения действительного парциального давления водяного пара (e – синий график рис. 6).

Для этого устанавливаем значения парциального давления снаружи конструкции по формулам:

$$e_{\text{int}} = \varphi_{\text{int}} \cdot E_{\text{int}} / 100 = 55 \cdot 2338 / 100 = 1286 \text{ Па};$$

$$e_{\text{ext}} = \varphi_{\text{ext}} \cdot E_{\text{ext}} / 100 = 85 \cdot 221 / 100 = 188 \text{ Па}.$$

Рассчитаем действительное парциальное давление e_1 на границах слоев по формуле $e_x = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{\text{xp}})$, нумеруя от внутренней поверхности к наружной:

- давление на внутренней поверхности ограждения:

$$e_1 = e_{\text{int}} = 1286 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности второго слоя:

$$\begin{aligned} e_2 &= e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{1p}) = \\ &= 1286 - \frac{1286 - 188}{21.159} \cdot (0.00266 + \frac{0.005}{0.11}) = 1283 \text{ Па}; \end{aligned}$$

- давление на внутренней поверхности третьего слоя:

$$\begin{aligned} e_3 &= e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}} \cdot (R_{\text{intp}} + R_{1p} + R_{2p}) = \\ &= 1286 - \frac{1286 - 188}{21.159} \cdot (0.00266 + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.1}{0.006}) = 423 \text{ Па}; \end{aligned}$$

- давление на внутренней поверхности четвертого слоя:

$$e_4 = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \cdot (R_{intp} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p}) =$$

$$= 1286 - \frac{1286 - 188}{21.159} \cdot (0.00266 + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.1}{0.03} + \frac{0.1}{0.006}) = 246 \text{ Па};$$

- давление на внутренней поверхности пятого слоя:

$$e_5 = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \cdot (R_{intp} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p} + R_{4p}) =$$

$$= 1286 - \frac{1286 - 188}{21.159} \cdot (0.00266 + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.1}{0.03} + \frac{0.1}{0.006} + \frac{0.12}{0.11}) = 190 \text{ Па};$$

- давление на внешней поверхности ограждения:

$$e_6 = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \cdot (R_{intp} + R_{1p} + R_{2p} + R_{3p} + R_{4p} + R_{5p}) =$$

$$= 1286 - \frac{1286 - 188}{21.159} \cdot (0.00266 + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.1}{0.03} + \frac{0.1}{0.006} + \frac{0.12}{0.11} + \frac{0.008}{0.43}) = 189 \text{ Па}.$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что есть величины e_i выше величин E_i , что указывает на возможность конденсации водяного пара в ограждающей конструкции.

Для наглядности расчета построим график распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и график изменения действительного парциального давления e_i водяного пара по толще стены в масштабе сопротивлений паропроницанию его слоев (рис. 6). Очевидно, что эти кривые пересекаются, что также доказывает возможность образования конденсата в ограждении.

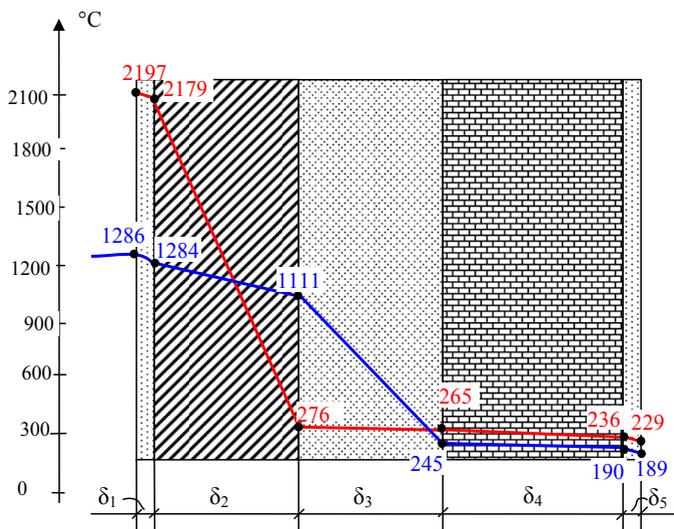


Рис. 6. Графики распределения действительного и максимального парциального давления водяного пара в толще ограждения

4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕРОВ 1 И 2

Чем резче падение температуры в отдельных слоях, тем большую роль они играют в общей теплоизолирующей способности конструкции. Вследствие наружного расположения слоя теплоизоляции (рис. 2) температура на поверхности кладки падает только до $+18,44^{\circ}\text{C}$. Это означает, что кладка всегда будет теплой. Пологая часть графика распределения температур в стене показывает, что при отключении отопления наружу будет передаваться небольшое количество тепловой энергии, т. к. ее передача будет задерживаться утеплителем. Поэтому не будет возникать трещин от температурных деформаций, внутренняя штукатурка и большая масса стены смогут выполнять важную задачу накопления тепла. Следствием является комфорт жилища летом и зимой.

Сравнение примеров 1 и 2 показывает

- Расположение слоя утеплителя внутри или снаружи не играет никакой роли для величины коэффициента теплопередачи и для температуры поверхности стены.
- Расположение слоя утеплителя с внутренней стороны ведет к температурным напряжениям, т. к. кладка в течение года подвергается воздействию больших колебаний температуры, чем при расположении утеплителя с наружной стороны. В случае бетонных стен и особенно в случае неventилируемых совмещенных плоских крыш расположение утеплителя с внутренней стороны ведет к появлению трещин от температурных напряжений, поскольку бетон имеет в два раза больший коэффициент температурного расширения, чем кирпичная кладка.
- Как видно из примера 1, расположенный снаружи утеплитель защищает железобетон зимой от слишком сильного охлаждения, а летом – от слишком сильного нагревания и обеспечивает тем самым хорошее теплонакопление. За счет отдачи накопленного тепла в воздух помещения зимой не возникает ощущения сквозняка вблизи стен. Летом бетон в течение дня принимает в себя избыточное тепло из воздуха помещения, а в ночное время он отдает это тепло в охлажденный воздух помещения. Теплонакопление таким образом обеспечивает баланс и выравнивание температуры в помещении днем и ночью. При внутреннем расположении утеплителя, наоборот,

только тонкий слой внутренней штукатурки служит тепловым аккумулятором, а железобетон находится в холодной части стены и не является накопителем тепла.

- Как видно из примера 2, где пересекаются графики E и e , в конструкции появляется зона возможного выпадения конденсата. Точкой выпадения конденсата будет являться наружная поверхность утеплителя. Во влагозащите (конденсационная влага внутри конструкции) внутреннее расположение утеплителя всегда имеет негативное действие. Следствием этого является сильное выпадение конденсата с соответствующими повреждениями конструкции, такими как образование плесневых грибков, гнили, коррозии.

Библиографический список

1. Блази, В. Справочник проектировщика. Строительная физика / В. Блази ; пер. А.К. Соловьева. – М. : Техносфера, 2005. – 535 с.
2. ГОСТ 34094-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 1999. – 9 с.
3. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2001. – 67 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2003.
5. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для различных значений температур при $B = 100,7$ кПа

Таблица 1.1

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до минус 41°C (над льдом)

$t, ^\circ\text{C}$	E														
0	611	-3,2	468	-6,4	356	-9,6	268	-12,8	203	-16,2	148	-19,6	107	-27,5	48
-0,2	601	-3,4	460	-6,6	351	-9,8	264	-13	199	-16,4	145	-19,8	105	-28	47
-0,4	592	-3,6	452	-6,8	344	-10	260	-13,2	195	-16,6	143	-20	103	-28,5	44
-0,6	581	-3,8	445	-7	338	-10,2	260	-13,4	191	-16,8	140	-20,5	99	-29	42
-0,8	573	-4	437	-7,2	332	-10,4	251	-13,6	188	-17	137	-21	93	-29,5	39
-1	563	-4,2	429	-7,4	327	-10,6	245	-13,8	184	-17,2	135	-21,5	89	-30	38
-1,2	553	-4,4	423	-7,6	321	-10,8	241	-14	181	-17,4	132	-22	85	-31	34
-1,4	544	-4,6	415	-7,8	315	-11	237	-14,2	179	-17,6	129	-22,5	81	-32	34
-1,6	535	-4,8	408	-8	310	-11,2	233	-14,4	175	-17,8	128	-23	77	-33	27
-1,8	527	-5	402	-8,2	304	-11,4	229	-14,6	172	-18	125	-23,5	73	-34	25
-2	517	-5,2	395	-8,4	299	-11,6	225	-14,8	168	-18,2	123	-24	69	-35	22
-2,2	509	-5,4	388	-8,6	293	-11,8	221	-15	165	-18,4	120	-24,5	65	-36	20
-2,4	400	-5,6	381	-8,8	289	-12	217	-15,2	163	-18,6	117	-25	63	-37	18
-2,6	492	-5,8	375	-9	284	-12,2	213	-15,4	160	-18,8	116	-25,5	60	-38	16
-2,8	484	-6	369	-9,2	279	-12,4	209	-15,6	157	-19	113	-26	57	-39	14
-3	476	-6,2	363	-9,4	273	-12,6	207	-15,8	153	-19,2	111	-26,5	53	-40	12
								-16	151	-19,4	109	-27	51	-41	11

Таблица 1.2

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до $+30^\circ\text{C}$ (над водой)

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1072	1080	1088	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1323
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3796	3758
28	3782	3801	3824	4846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466

**Расчетные теплотехнические показатели
строительных материалов и изделий**

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_{p0} , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
I	Теплоизоляционные материалы (ГОСТ 16381)											
A	Полимерные											
1	Пенополистирол	150	1,34	0,05	1	5	0,052	0,06	0,89	0,99	0,05	
2	То же	100	1,34	0,041	2	10	0,041	0,052	0,65	0,82	0,05	
3	Пенополистирол (ГОСТ 15588)	40	1,34	0,037	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49	0,05	
4	Пенополистирол ОАО «СП Радослав»	18	1,34	0,042	2	10	0,042	0,043	0,28	0,32	0,02	
5	То же	24	1,34	0,04	2	10	0,04	0,041	0,32	0,36	0,02	
6	Экструдированный пенополистирол «Стиродур 2500С»	25	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,28	0,31	0,013	
7	То же, 2800С	28	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,30	0,33	0,013	
8	То же, 3035С	33	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,32	0,36	0,013	
9	То же, 4000С	35	1,34	0,030	2	10	0,031	0,031	0,34	0,37	0,005	
10	То же, 5000С	45	1,34	0,030	2	10	0,031	0,031	0,38	0,42	0,005	
11	Пенополистирол «Стиропор PS15»	15	1,34	0,039	2	10	0,040	0,044	0,25	0,29	0,035	
12	То же, PS20	20	1,34	0,037	2	10	0,038	0,042	0,28	0,33	0,030	
13	То же, PS30	30	1,34	0,035	2	10	0,036	0,040	0,33	0,39	0,030	
14	Экструдированный пенополистирол «Стайрофоам»	28	1,45	0,029	2	10	0,030	0,031	0,31	0,34	0,006	
15	То же, «Руфмат»	32	1,45	0,028	2	10	0,029	0,029	0,32	0,36	0,006	
16	То же, «Руфмат А»	32	1,45	0,030	2	10	0,032	0,032	0,34	0,37	0,006	
16а	То же, «Флурмат 500»	38	1,45	0,027	2	10	0,028	0,028	0,34	0,38	0,006	
17	То же, «Флурмат 500А»	38	1,45	0,030	2	10	0,032	0,032	0,37	0,41	0,006	
18	То же, «Флурмат 200»	25	1,45	0,028	2	10	0,029	0,029	0,28	0,31	0,006	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_p , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
19	То же, «Флурмат 200А»	25	1,45	0,029	2	10	0,031	0,031	0,29	0,32	0,006
20	Пенопласт ПХВ-1 и ПВ1	125	1,26	0,052	2	10	0,06	0,064	0,86	0,99	0,23
21	То же	≤100	1,26	0,041	2	10	0,05	0,052	0,68	0,8	0,23
22	Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	0,7	0,05
23	То же	60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
24	То же	40	1,47	0,029	2	5	0,04	0,04	0,4	0,42	0,05
25	Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта	90	1,68	0,045	5	20	0,053	0,073	0,81	1,10	0,15
26	То же	80	1,68	0,044	5	20	0,051	0,071	0,75	1,02	0,23
27	То же	50	1,68	0,041	5	20	0,045	0,064	0,56	0,77	0,23
28	Перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008
29	То же	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008
30	Перлитофосфогелевые изделия	300	1,05	0,076	3	12	0,08	0,12	1,43	2,02	0,2
31	То же	200	1,05	0,064	3	12	0,07	0,09	1,1	1,43	0,23
32	Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука «Аэрофлекс»	80	1,806	0,034	5	15	0,04	0,054	0,65	0,71	0,003
33	То же, «К флекс»: ЕС	60-80	1,806	0,039	0	0	0,039	0,039	0,6	0,6	0,010
		60-80	1,806	0,039	0	0	0,039	0,039	0,6	0,6	0,009
		60-95	1,806	0,041	0	0	0,041	0,041	0,65	0,65	0,010
34	Экструзионный пенополистирол «Пеноплэкс», тип 35	35	1,65	0,028	2	3	0,029	0,030	0,36	0,37	0,018
35	То же, тип 45	45	1,53	0,030	2	3	0,031	0,032	0,40	0,42	0,015
Б	Минераловатные (ГОСТ 4640), стекловолокнистые, пеностекло, газостекло										
36	Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880)	125	0,84	0,044	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82	0,30
37	То же	100	0,84	0,044	2	5	0,061	0,067	0,64	0,72	0,49
38	То же	75	0,84	0,046	2	5	0,058	0,064	0,54	0,61	0,49

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
39	Маты минераловатные на синтетическом связующем ГОСТ 9573	225	0,84	0,054	2	5	0,072	0,082	1,04	1,19	0,49
40	То же	175	0,84	0,052	2	5	0,066	0,076	0,88	1,01	0,49
41	“	125	0,84	0,049	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82	0,49
42	“	75	0,84	0,047	2	5	0,058	0,064	0,54	0,61	0,53
43	Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих (ГОСТ 9573)	250	0,84	0,058	2	5	0,082	0,085	1,17	1,28	0,41
44	То же	225	0,84	0,058	2	5	0,079	0,084	1,09	1,20	0,41
45	“	200	0,84	0,056	2	5	0,076	0,08	1,01	1,11	0,49
46	“	150	0,84	0,050	2	5	0,068	0,073	0,83	0,92	0,49
47	“	125	0,84	0,049	2	5	0,064	0,069	0,73	0,81	0,49
48	“	100	0,84	0,044	2	5	0,06	0,065	0,64	0,71	0,56
49	“	75	0,84	0,04	2	5	0,056	0,063	0,53	0,60	0,6
50	Плиты минераловатные ЗАО «Минеральная вата»	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3
51	То же	140-175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
52	“	80-125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
53	“	40-60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
54	“	25-50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
55	Плиты минераловатные повышенной жесткости на органофосфатном связующем	200	0,84	0,064	1	2	0,07	0,076	0,94	1,01	0,45
56	Плиты полужесткие минераловатные на крахмальном связующем	200	0,84	0,07	2	5	0,076	0,08	1,01	1,11	0,38

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_p , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
57	То же	125	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,70	0,78	0,38	
58	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499)	45	0,84	0,047	2	5	0,06	0,064	0,44	0,5	0,6	
59	Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные	150	0,84	0,061	2	5	0,064	0,07	0,8	0,9	0,53	
60	Маты из стеклянного штапельного волокна «URSA»	25	0,84	0,04	2	5	0,043	0,05	0,27	0,31	0,61	
61	То же	17	0,84	0,044	2	5	0,046	0,053	0,23	0,26	0,66	
62	“	15	0,84	0,046	2	5	0,048	0,053	0,22	0,25	0,68	
63	“	11	0,84	0,048	2	5	0,05	0,055	0,19	0,22	0,7	
64	Плиты из стеклянного штапельного волокна «URSA»	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5	
65	То же	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5	
66	“	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51	
67	“	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51	
68	“	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52	
69	“	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52	
70	“	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53	
71	“	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54	
72	“	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55	
73	Пеностекло или газостекло	400	0,84	0,11	1	2	0,12	0,14	1,76	1,94	0,02	
74	То же	300	0,84	0,09	1	2	0,11	0,12	1,46	1,56	0,02	
75	“	200	0,84	0,07	1	2	0,08	0,09	1,01	1,1	0,03	
В	Плиты из природных органических и неорганических материалов											
76	Плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные (ГОСТ 4598, ГОСТ 8904, ГОСТ 10632)	1000	2,3	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12	
77	То же	800	2,3	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ_s , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
78	“	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13	
79	“	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19	
80	“	200	2,3	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24	
81	Плиты фибролитовые и арболит на портланд-цементе ГОСТ 19222	500	2,3	0,095	10	15	0,15	0,19	3,86	4,50	0,11	
82	То же	450	2,3	0,09	1	15	0,135	0,17	3,47	4,04	0,11	
83	“	400	2,3	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26	
84	Плиты камышитовые	300	2,3	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45	
85	То же	200	2,3	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49	
86	Плиты торфяные теплоизоляционные	300	2,3	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34	0,19	
87	То же	200	2,3	0,052	15	20	0,06	0,064	1,6	1,71	0,49	
88	Пакля	150	2,3	0,05	7	12	0,06	0,07	1,3	1,47	0,49	
89	Плиты из гипса (ГОСТ 6428)	1350	0,84	0,35	4	6	0,50	0,56	7,04	7,76	0,098	
90	То же	1100	0,84	0,23	4	6	0,35	0,41	5,32	5,99	0,11	
91	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) (ГОСТ 6266)	1050	0,84	0,15	4	6	0,34	0,36	5,12	5,48	0,075	
92	То же	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075	
93	Изделия из вспученного перлита на битумном связующем (ГОСТ 16136)	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04	
94	То же	250	1,68	0,082	1	2	0,085	0,099	1,53	1,64	0,04	
95	“	225	1,68	0,079	1	2	0,082	0,094	1,39	1,47	0,04	
96	“	200	1,68	0,076	1	2	0,078	0,09	1,23	1,32	0,04	
Г	Засыпки											
97	Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23	
98	То же	500	0,84	0,14	2	3	0,15	0,165	2,25	2,41	0,23	
99	“	450	0,84	0,13	2	3	0,14	0,155	2,06	2,22	0,235	
100	“	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,145	1,87	2,02	0,24	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_p , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
101	“	350	0,84	0,115	2	3	0,125	0,14	1,72	1,86	0,245	
102	“	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25	
103	“	250	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26	
104	Гравий шунгизитовый (ГОСТ 9757)	700	0,84	0,16	2	4	0,18	0,21	2,91	3,29	0,21	
105	То же	600	0,84	0,13	2	4	0,16	0,19	2,54	2,89	0,22	
106	“	500	0,84	0,12	2	4	0,15	0,175	2,25	2,54	0,22	
107	“	450	0,84	0,11	2	4	0,14	0,16	2,06	2,30	0,22	
108	“	400	0,84	0,11	2	4	0,13	0,15	1,87	2,10	0,23	
109	Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578)	1000	0,84	0,21	2	3	0,24	0,31	4,02	4,67	0,21	
110	Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый (ГОСТ 9757)	900	0,84	0,19	2	3	0,23	0,3	3,73	4,36	0,21	
111	То же	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,21	
112	“	700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,22	
113	“	600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,7	2,98	0,23	
114	“	500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,23	
115	“	450	0,84	0,13	2	3	0,15	0,17	2,13	2,32	0,24	
116	“	400	0,84	0,122	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,24	
117	Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832)	500	0,84	0,09	1	2	0,1	0,11	1,79	1,92	0,26	
118	То же	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,095	1,5	1,6	0,3	
119	“	350	0,84	0,07	1	2	0,081	0,085	1,35	1,42	0,3	
120	“	300	0,84	0,064	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04	0,34	
121	Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,095	1,01	1,16	0,23	
122	То же	150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26	
123	“	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3	
124	Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°C	коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/м·°C	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ_s , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
Д	Строительные растворы (ГОСТ 28013)											
125	Цементно-шлаковый	1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11	
126	То же	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14	
127	Цементно-перлитовый	1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,3	4,64	5,42	0,15	
128	То же	800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16	
129	Гипсоперлитовый	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17	
130	Поризованный гипсо-перлитовый	500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43	
131	То же	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53	
II	Конструкционно-теплоизоляционные материалы											
А	Бетоны на природных пористых заполнителях (ГОСТ 25820, ГОСТ 22263)											
132	Туфобетон	1800	0,84	0,64	7	10	0,87	0,99	11,38	12,79	0,09	
133	“	1600	0,84	0,52	7	10	0,7	0,81	9,62	10,91	0,11	
134	“	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,11	
135	“	1200	0,84	0,29	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,12	
136	Пемзобетон	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,68	8,54	9,3	0,075	
137	“	1400	0,84	0,42	4	6	0,49	0,54	7,1	7,76	0,083	
138	“	1200	0,84	0,34	4	6	0,4	0,43	5,94	6,41	0,098	
139	“	1000	0,84	0,26	4	6	0,3	0,34	4,69	5,2	0,11	
140	“	800	0,84	0,19	4	6	0,22	0,26	3,6	4,07	0,12	
141	Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,84	0,52	7	10	0,64	0,7	9,2	10,14	0,075	
142	То же	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,083	
143	“	1200	0,84	0,33	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,09	
144	“	1000	0,84	0,24	7	10	0,29	0,35	4,9	5,67	0,098	
145	“	800	0,84	0,20	7	10	0,23	0,29	3,9	4,61	0,11	
Б	Бетоны на искусственных пористых заполнителях (ГОСТ 25820, ГОСТ 9757)											
146	Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09	
147	То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09	
148	“	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°C	коэффициент теплопро- водности λ_p , Вт/м·°C	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/ м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
149	“	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
150	“	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
151	“	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
152	“	600	0,84	0,16	5	10	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26
153	“	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3
154	Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
155	То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
156	“	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
157	Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
158	То же	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
159	Шунгизитобетон	1400	0,84	0,49	4	7	0,56	0,64	7,59	8,6	0,098
160	“	1200	0,84	0,3	4	7	0,44	0,5	6,23	7,04	0,11
161	“	1000	0,84	0,27	4	7	0,33	0,38	4,92	5,6	0,14
162	Перлитобетон	1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
163	“	1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19
164	“	800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
165	“	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3
166	Шлакопемзобетон (термозитобетон)	1800	0,84	0,52	5	8	0,63	0,76	9,32	10,83	0,075
167	То же	1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09
168	“	1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098
169	“	1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11
170	“	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11
171	Шлакопемзопено- и шлакопемзогазобетон	1600	0,84	0,47	8	11	0,63	0,7	9,29	10,31	0,09
172	То же	1400	0,84	0,35	8	11	0,52	0,58	7,9	8,78	0,098
173	“	1200	0,84	0,29	8	11	0,41	0,47	6,49	7,31	0,11
174	“	1000	0,84	0,23	8	11	0,35	0,41	5,48	6,24	0,11
175	“	800	0,84	0,17	8	11	0,29	0,35	4,46	5,15	0,13

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°C	коэффициент теплопро- водности λ_0 , Вт/м·°C	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
176	Бетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,84	0,58	5	8	0,7	0,81	9,82	11,18	0,083
177	То же	1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09
178	“	1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098
179	“	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,57	7,31	0,11
180	Аглопоритобетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1800	0,84	0,7	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98	0,075
181	То же	1600	0,84	0,58	5	8	0,72	0,78	9,39	10,34	0,083
182	“	1400	0,84	0,47	5	8	0,59	0,65	7,92	8,83	0,09
183	“	1200	0,84	0,35	5	8	0,48	0,54	6,64	7,45	0,11
184	“	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,39	6,14	0,14
185	Бетон на зольном гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
186	То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,4	6,14	6,95	0,11
187	“	1000	0,84	0,24	5	8	0,3	0,35	4,79	5,48	0,12
188	Вермикулитобетон	800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	-
189	“	600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
190	“	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19
191	“	300	0,84	0,08	8	13	0,09	0,11	1,52	1,83	0,23
В	Бетоны ячеистые (ГОСТ 25485, ГОСТ 5742)										
192	Полистиролбетон	600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068
193	“	500	1,06	0,125	4	8	0,14	0,16	2,5	2,85	0,075
194	“	400	1,06	0,105	4	8	0,12	0,135	2,07	2,34	0,085
195	“	300	1,06	0,085	4	8	0,09	0,11	1,55	1,83	0,10
196	“	200	1,06	0,065	4	8	0,07	0,08	1,12	1,28	0,12
197	“	150	1,06	0,055	4	8	0,057	0,06	0,87	0,96	0,135
198	Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1000	0,84	0,29	10	15	0,41	0,47	6,13	7,09	0,11
199	То же	800	0,84	0,21	10	15	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
200	“	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_p , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
201	“	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23	
202	“	300	0,84	0,08	8	12	0,11	0,13	1,68	1,95	0,26	
203	Газо- и пенозолобетон	1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46	0,075	
204	То же	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,5	6,86	8,01	0,098	
205	“	800	0,84	0,17	15	22	0,35	0,41	5,48	6,49	0,12	
Г	Кирпичная кладка из сплошного кирпича											
206	Глиняного обыкновенного (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11	
207	Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12	
208	Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15	
209	Силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11	
210	Трепельного (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19	
211	То же	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23	
212	Шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,7	8,12	8,76	0,11	
Д	Кирпичная кладка из пустотного кирпича											
213	Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14	
214	Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м ³ (брутто) (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
215	Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м ³ (брутто) (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17	
216	Силикатного одинадцатипустотного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,64	2	4	0,7	0,81	8,59	9,63	0,13	
217	Силикатного четырнадцатипустотного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01	0,14	
Е	Дерево и изделия из него											
218	Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486, ГОСТ 9463)	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06	
219	Сосна и ель вдоль волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32	
220	Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462, ГОСТ 2695)	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05	
221	Дуб вдоль волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3	
222	Фанера клееная (ГОСТ 8673)	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02	
223	Картон облицовочный (ГОСТ 8740)	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06	
224	Картон строительный многослойный	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083	
III	Конструкционные материалы											
А	Бетоны (ГОСТ 7473, ГОСТ 25192) и растворы (ГОСТ 28013)											
225	Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03	
226	Бетон на гравии или щебне из природного камня (ГОСТ 26633)	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03	
227	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09	

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_p , кг/м ³	удельная теплоемкость c_p , кДж/кг·°С	коэффициент теплопро- водности λ_p , Вт/м·°С	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/ м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
228	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
229	Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12
Б	Облицовка природным камнем (ГОСТ 9480)										
230	Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
231	Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
232	Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
233	“	1800	0,88	0,7	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
234	“	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
235	“	1400	0,88	0,49	2	3	0,56	0,58	7,42	7,72	0,11
236	Туф	2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
237	“	1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
238	“	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
239	“	1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098
240	“	1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
241	“	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11
В	Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов (ГОСТ 30547)										
242	Листы асбестоце- ментные плоские (ГОСТ 18124)	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
243	То же	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,8	0,03
244	Битумы нефтяные строительные и кро- вельные (ГОСТ 6617, ГОСТ 9548)	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008
245	То же	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
246	“	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
247	Асфальтобетон (ГОСТ 9128)	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008

№ п/п	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/кг·°C	коэффициент теплопро- водности λ_0 , Вт/м·°C	массового отношения влаги в материале w, %		теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
					А	Б	А	Б	А	Б	
248	Рубероид (ГОСТ 10923), перга- мин (ГОСТ 2697), толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	–
249	Линолеум поливинил- хлоридный на тепло- изолирующей подосно- ве (ГОСТ 18108)	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
250	То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002
251	Линолеум поливинил- хлоридный на тканевой основе (ГОСТ 7251)	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
252	То же	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
253	“	1400	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002
Г	Металлы и стекло										
254	Сталь стержневая ар- матурная (ГОСТ 10884, ГОСТ 5781)	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
255	Чугун (ГОСТ 9583)	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0
256	Алюминий (ГОСТ 22233, ГОСТ 24767)	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
257	Медь (ГОСТ 931, ГОСТ 15527)	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0
258	Стекло оконное (ГОСТ 111)	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

**Сопротивление паропрооницанию листовых материалов
тонких слоев пароизоляции**

№ п/п	Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , м ² ·ч·Па/мг
1	Картон обыкновенный	1,3	0,016
2	Листы асбестоцементные	6	0,3
3	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
4	Листы древесно-волокнистые жесткие	10	0,11
5	Листы древесно-волокнистые мягкие	12,5	0,05
6	Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
7	Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
8	Окраска масляная за два раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	—	0,64
9	Окраска эмалевой краской	—	0,48
10	Покрытие изольной мастикой за один раз	2	0,60
11	Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за один раз	1	0,64
12	Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за два раза	2	1,1
13	Пергамин кровельный	0,4	0,33
14	Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
15	Рубероид	1,5	1,1
16	Толь кровельный	1,9	0,4
17	Фанера клееная трехслойная	3	0,15

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НАРУЖНЫМ ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ.....	5
2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР И ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ.....	6
3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ.....	12
4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕРОВ 1 И 2.....	24
Библиографический список.....	26
Приложения.....	27

Учебное издание

Эвелина Рюриковна *ЕФИМЕНКО*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
ВОДЯНОГО ПАРА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям
по курсу «Строительная физика»

Технический редактор *З.М. Малявина*
Корректор *Г.В. Данилова*
Компьютерная верстка *Л.В. Сызганцева*
Дизайн обложки *Г.В. Карасёва*

Подписано в печать 27.08.2010. Формат 60×84/16.
Печать оперативная. Усл. п. л. 2,75. Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 100 экз. Заказ № 1-18-10.

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

