

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	6
2. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ .....	16
3. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА И ИНСОЛЯЦИЯ.....	22
3.1. Естественное освещение помещений .....	22
3.2. Инсоляция помещений.....	33
4. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА.....	37
4.1. Принципы проектирования залов.....	37
4.2. Звукоизоляция ограждающих конструкций .....	42
Вопросы для самопроверки .....	53
Библиографический список.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Во второй части учебно-методического пособия «Физика среды» рассмотрены современные требования к комфортности проживания и деятельности людей в зданиях и сооружениях различного назначения, а также вопросы повышения нормативных требований по влажностному состоянию и воздухопроницаемости ограждающих конструкций, являющиеся важными факторами функционирования теплозащитной оболочки здания.

Предложены к изучению теоретические основы физики среды и практические методы формирования архитектуры ограждающих конструкций и помещений под воздействием влажности и движения воздуха, солнечного света, тепла и звука, а также природа их восприятия человеком с учетом оценки социологических, гигиенических, экологических и экономических факторов.

Учебно-методическое пособие представляет собой теоретические основы физических процессов, происходящих в ограждающих конструкциях, связанных с увлажнением, воздухопроницаемостью и звукоизоляцией ограждающей оболочки зданий, а также освещения, инсоляции помещений зданий и сооружений.

Главной задачей раздела «Физики среды» является обеспечение комфортной среды обитания человека в зданиях путем объемно-планировочных, архитектурно-конструктивных решений зданий с учетом внешних негативных и позитивных естественных климатических и антропогенных факторов среды.

## 1. ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Наиболее существенное влияние на теплозащитные характеристики ограждающих конструкций оказывает влажность. Теплофизические качества и долговечность ограждающих конструкций взаимосвязаны с температурно-влажностным режимом их эксплуатации и влажностью используемых материалов. Влага, проникающая из окружающей среды, резко ухудшает условия теплообмена между внутренней и внешней средами через ограждающие конструкции. Процессы совместного тепло- и влагообмена, включая фазовые превращения влаги, приводят к резкому увеличению теплопотерь, снижению прочности и преждевременному разрушению теплоизоляционного и конструктивных слоев ограждающих конструкций.

Увлажнение ограждающих конструкций приводит к ухудшению теплозащитных качеств, созданию благоприятных условий для развития в них грибков, плесени и прочих биологических процессов, а также к снижению долговечности самих конструкций.

Одним из важных эксплуатационных показателей ограждающих конструкций является их влажностное состояние, изменение которого в процессе эксплуатации зданий может происходить за счет гигроскопической влаги (влага, поглощаемая пористым материалом из окружающего его воздуха) и конденсационного увлажнения строительных материалов. При обследовании влажностного состояния ограждающих конструкций следует установить причины их увлажнения. В общем случае это, например, следующее:

- 1) строительная влага, которая вносится в конструкцию при ее производстве и возведении;
- 2) грунтовая влага, которая может проникнуть в ограждение из грунта вследствие капиллярного всасывания. В стенах здания эта влага может подниматься до высоты 2–2,5 м от уровня земли. Для предохранения ограждения от увлажнения в нем устраивают гидроизоляционные слои, препятствующие доступу влаги из грунта в ограждения;
- 3) метеорологическая влага, которая может проникнуть в конструкцию в связи с выпадением атмосферных осадков;
- 4) эксплуатационная влага, выделение которой связано с технологическим процессом в производственных зданиях;
- 5) гигроскопическая влага, накапливаемая в конструкции вследствие свойства гигроскопичности материала;
- 6) конденсация влаги из воздуха, что тесно связано с теплотехническим качеством и тепловым режимом ограждающей конструкции. Конденсация влаги может происходить как на поверхности ограждения, так и в его толще.

Степень насыщения воздуха водяным паром определяет относительная влажность (табл. 1).

Таблица 1

### Градации влажностного режима воздуха помещений в холодный период года

Влажностный режим	Относительная влажность воздуха, %	Абсолютная влажность воздуха, мм рт. ст.
Сухой	Менее 50	Менее 8
Нормальный	50–60	8–9,9
Влажный	61–75	10–12,5
Мокрый	Более 75	Более 12,5

**Точка росы** — температурный порог, при котором содержащаяся в воздухе влага конденсируется и превращается в капли воды. Участок конденсатообразования может располагаться как внутри капитальной стены, так и с наружной или внутренней части здания (рис. 1).

При реконструкции зданий с целью повышения энергоэффективности ограждающих конструкций возможно устройство теплоизоляции с внутренней стороны при выполнении следующих условий: постоянный режим проживания; нормальная работа вентиляции; отсутствие внутренних температурных перепадов; стабильная работа системы отопления; утепление строительных конструкций; увеличенная толщина стен; расположение объекта в регионе с относительно теплым климатом.

Значение слоя теплоизоляции в повышении энергоэффективности велико. При этом расположение слоя утеплителя в слоях ограждения играет существенную роль в увлажнении ограждающих конструкций (рис. 2).

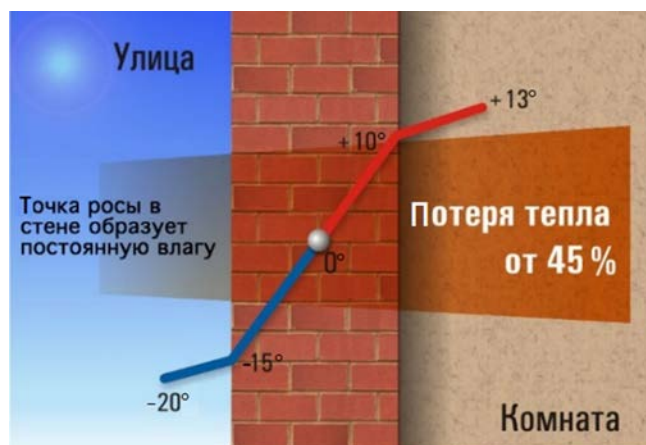


Рис. 1. Точка росы и процесс потери тепла стеной

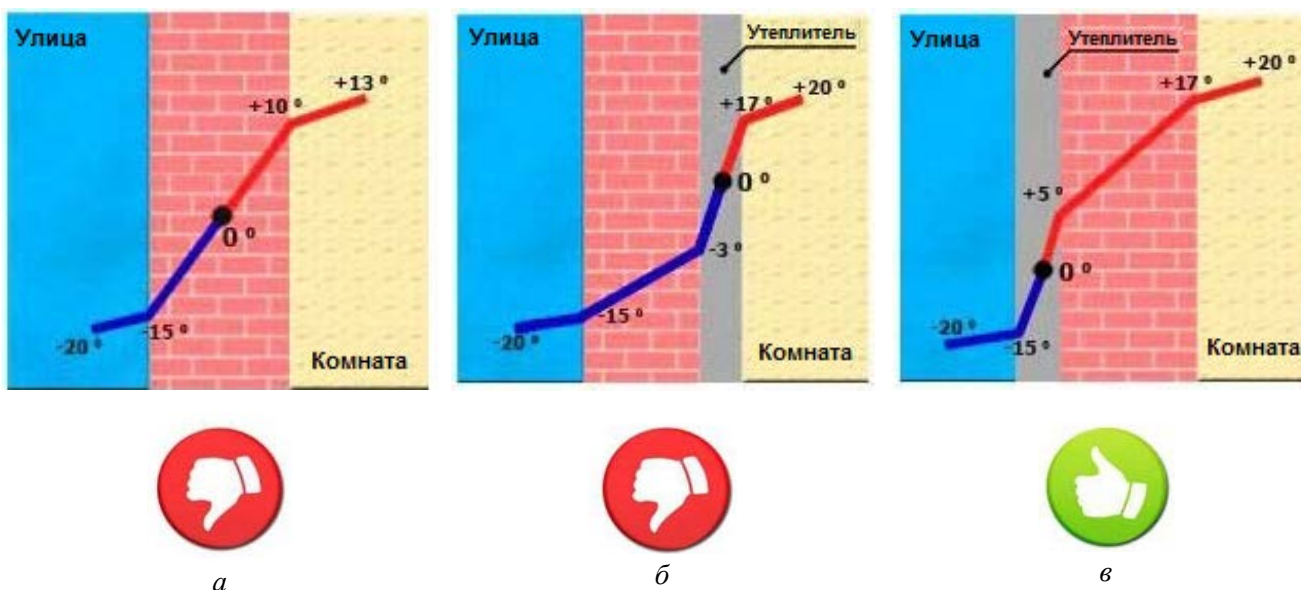


Рис. 2. Роль утепления в образовании конденсата:

*а* — стена без утепления: большие потери тепла; точка росы находится в стене и означает постоянную влагу, плесень и грибок; перепады внешних температур разрушают стену; *б* — стена с внутренним утеплением: несущая стена полностью промерзает и разрушается; все еще большие потери тепла; точка росы между стеной и утеплением ведет к накоплению конденсата; стена отсыревает изнутри, покрывается грибок или плесенью; *в* — стена с наружным утеплением (мокрый фасад): стена надежно защищена от атмосферных явлений; тепло хорошо сохраняется; точка росы в утеплителе; стена постоянно сухая; стена постоянно теплая; дополнительная звукоизоляция за счет отражения шумов

В зависимости от того, насколько в стене точка росы удалена от внутренней поверхности помещения, меняется состояние поверхности — она может быть мокрой или абсолютно сухой. Это связано с конденсацией влаги, возникающей при контакте холодной поверхности с теплым воздухом. Указанному параметру следует придавать большое значение, так как он неразрывно связан с вопросами теплоизоляции зданий и создания комфортного микроклимата.

При неправильном выполнении тепловых расчетов и нарушении требований по выбору теплоизоляционных материалов возможно увлажнение ограждающей конструкции. При этом происходит концентрация влаги и возникает ряд серьезных проблем: увлажнение поверхности стен; разрушение теплоизоляционного материала влагой; появление неприятных запахов; присутствие постоянной сырости; развитие грибковых образований; обильное образование плесени; отклеивание облицовочных материалов; гниение древесины; развитие микроорганизмов; повышение уровня заболеваемости.



Рис. 3. Образование зоны конденсата в толще ограждения

Отмечается, что отсутствие конденсации влаги на поверхности ограждения не гарантирует его от увлажнения, так как оно может происходить вследствие конденсации водяных паров в толще самого ограждения (рис. 3).

Для обеспечения предусмотренных нормами теплозащитных и санитарно-гигиенических параметров ограждений, а также их долговечности необходимо при проектировании путем расчета установить возможные изменения их влажностного состояния при эксплуатации здания и предусмотреть, какими мерами конструктивного характера можно предупредить возможность увлажнения ограждений выше допустимого предела. Из-за повышенной влажности материала ограждения, если она непредусмотрена теплотехническим расчетом, ограждения получаются неудовлетворительными

в теплотехническом отношении. Известно, что коэффициент теплопроводности материала  $\lambda$  резко возрастает с повышением влажности. Например, для кирпичной кладки на тяжелом растворе из обожженного глиняного кирпича имеем при весовой влажности  $W_b = 0,1\%$   $\lambda = 0,46$ , при  $W_b = 1,5\%$   $\lambda = 0,70$ , при  $W_b = 9,0\%$   $\lambda = 1,18$ .

Повышенная влажность ограждений также крайне неблагоприятно отражается на санитарно-гигиеническом состоянии помещений. Сырость в жилых зданиях часто приводит к заболеваниям проживающих в них людей. Общеизвестно: чем выше влажность материала ограждения, тем меньше его морозо-, влаго- и биостойкость. Стойкость против коррозии также связана с влажностным состоянием ограждения.

**Парциальное давление** — количество водяных паров, находящихся в воздухе, определяется уравнением Менделеева – Клапейрона, также оно называется упругостью водяного пара.

Парциальное давление, насыщенное водяным паром, называется **максимальной упругостью водяных паров** и обозначается буквой  $E$ .

При постоянной температуре воздуха  $t$  и постоянном барометрическом давлении давление водяного пара  $e$  может расти до определенного предела  $E$ . Чем больше  $t$ , тем больше  $E$ . Степень насыщения воздуха влагой определяется его **относительной влажностью** — отношением действительной упругости водяного пара к максимальной упругости водяного пара:

$$\varphi = \frac{e}{E}, \%$$

Обеспечение нормального влажностного состояния ограждающих конструкций достигается путем устройства слоя пароизоляции. Требуемое сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций определяют расчетом по методике, изложенной в нормах (СП 50.13330.2012).

Инженерные методы для расчета влажностного состояния ограждения используют постоянный коэффициент паропроницаемости.

**Паропроницаемость** — способность материала пропускать диффундирующий через себя водяной пар. Критерием, определяющим увлажнение ограждающих конструкций, является **коэффициент паропроницаемости  $\mu$** . Путем варьирования слоев ограждающих конструкций в зависимости от их степени паропроницаемости можно прогнозировать их увлажнение (рис. 4).

При проникании водяного пара через слой материала конструктивных слоев последний оказывает сопротивление.

Сопротивление паропроницанию  $R_{по}$  однослойной конструкции или отдельного слоя многослойного ограждения вычисляют по формуле

$$R_{по} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

$$R_{по} = R_{п1} + R_{п2} + R_{п3} + \dots + R_{пn} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n}.$$

Общее сопротивление паропроницанию многослойного ограждения с учетом сопротивления влагообмену противоположных плоскостей конструкции вычисляют по формулам:

$$R_{по} = R_{пв} + R_{пн} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i};$$

$$R_{пв} = 0,133 \left(1 - \frac{\varphi_B}{100}\right);$$

$$R_{пн} = 0,133 \left(1 - \frac{\varphi_H}{100}\right).$$

Величину упругости водяных паров на грани каждого слоя определяют по формуле

$$e_n = e_B - \frac{e_B - e_H}{R_{по}} \sum R_{п(n-1)},$$

где  $e_n$  — упругость водяного пара на внутренней поверхности некоторого слоя;  $e_B$  — упругость водяного пара внутреннего воздуха,  $e_B = \varphi_B \cdot E_B / 100$ ;  $e_H$  — то же наружного воздуха,  $e_H = \varphi_H \cdot E_H / 100$ ;  $R_{по}$  — полное сопротивление паропроницанию всего ограждения;  $\sum R_{п(n-1)}$  — сумма сопротивления паропроницанию  $n-1$  слоев ограждения.

Расчет влажностного состояния ограждающих конструкций производят построением графиков  $E$  (максимальная упругость водяного пара) и  $e$  (действительная упругость водяного пара) в ограждающих конструкциях (рис. 5).

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждении принимают равным нулю независимо от расположения и толщины прослоек.

Требуемое значение сопротивления паропроницанию ограждающих конструкций:

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(e_B - E)R_{пн}}{E - e_H},$$

где  $e_B$  — упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па;  $E$  — упругость водяного пара, Па;  $R_{пн}$  — сопротивление паропроницанию,  $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ ;  $e_H$  — средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период.

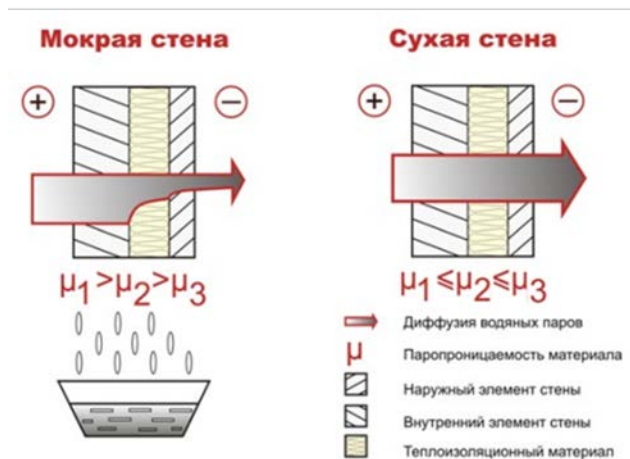


Рис. 4. Увлажнение ограждения в зависимости от степени паропроницаемости



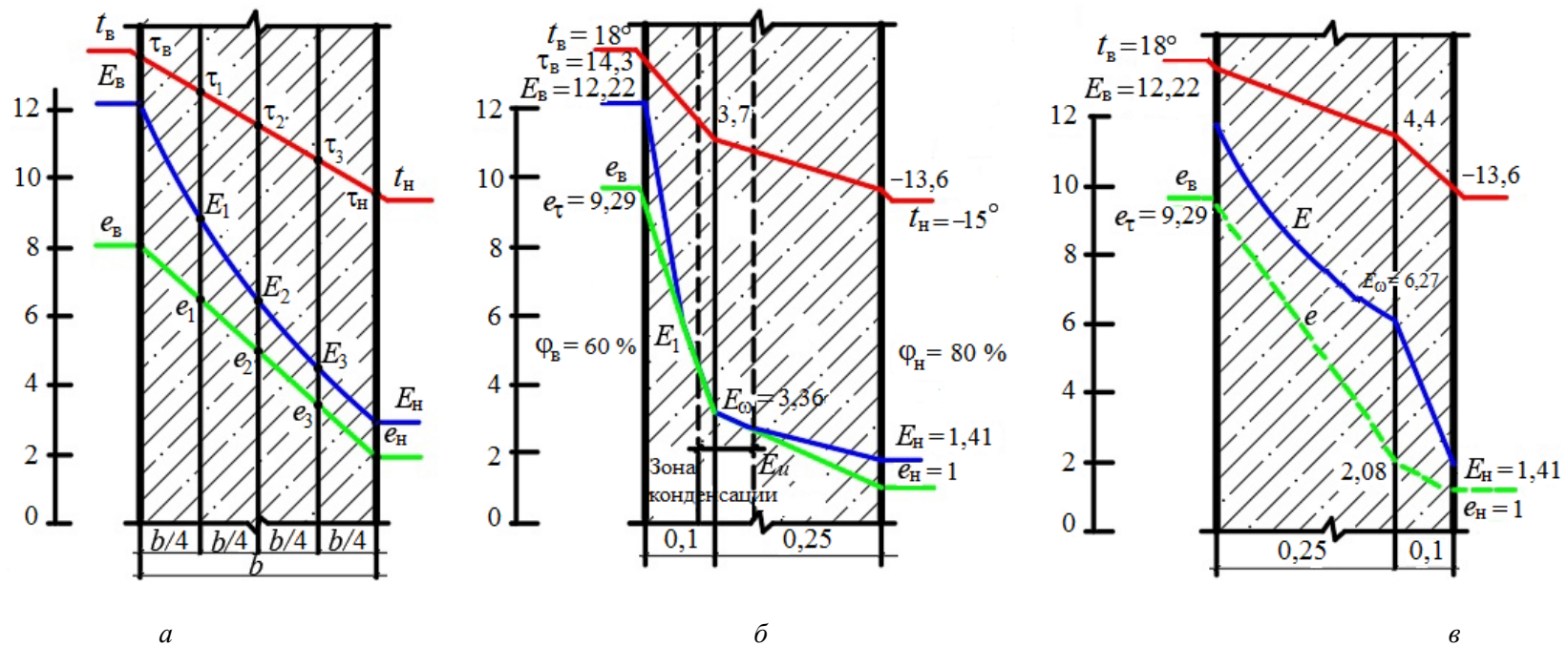


Рис. 5. Построение графиков распределения температур и парциальных давлений водяного пара:  
*a* — однослойной наружной стены; *b* — то же с утеплением снаружи; *v* — то же с утеплением изнутри

## РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ НА ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ

### А. Исходные данные:

район строительства — г. Саратов;

тип помещения — жилое;

расчетная температура внутреннего воздуха —  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

относительная влажность внутреннего воздуха —  $\varphi_b = 55 \%$ ;

среднемесячная температура воздуха за июль —  $t_n = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

продолжительность отопления со среднесуточной температурой наружного воздуха менее  $+8 \text{ }^\circ\text{C}$  — 188 сут (СП 131.13330.2012);

средняя температура отопительного периода —  $t_{от} = -3,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 3 СП 131.13330.2012);

температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью  $0,92 t_{н5}^{0,92} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ , принимается согласно СП 50.13330.2012;

$\alpha_b$  — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ , принимается согласно СП 50.13330.2012;

общее сопротивление теплопередаче многослойной стены принимают как в теплотехническом расчете:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_b} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,38}{0,64} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{1}{23} = 3,48 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Конструкция исследуемой четырехслойной стены представлена на рис. 6.

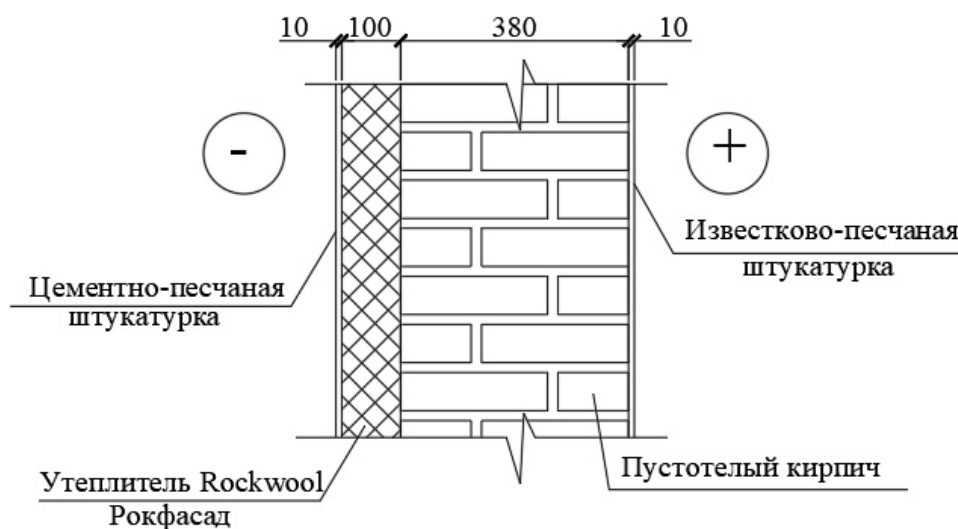


Рис. 6. Конструкция исследуемой четырехслойной стены

### Б. Пример расчета

1. Определение температуры внутренней поверхности ограждения  $\tau_b$ ,  $^\circ\text{C}$ .

$$\tau_b = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_o} (R_b + R_k) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \frac{1}{8,7} = 18,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2. Определение упругости водяного пара  $E_b$ , Па, в помещении, соответствующей температуре воздуха в помещении  $t_b$ ,  $^\circ\text{C}$ .



По табл. 2 или по СП 50.13330.2012 определяют значение  $E$  в зависимости от  $t$ :

$$E_B = 15,95 \text{ Па.}$$

Таблица 2

**Максимальное парциальное давление водяного пара влажного воздуха**

Температура воздуха $t$ , °С	Парциальное давление водяного пара $E$ , Па	Температура воздуха $t$ , °С	Парциальное давление водяного пара $E$ , Па	Температура воздуха $t$ , °С	Парциальное давление водяного пара $E$ , Па
-25	63	-5	402	15	1705
-24	69	-4	437	16	1817
-23	77	-3	476	17	1937
-22	85	-2	517	18	2064
-21	93	-1	563	19	2197
-20	103	0	611	20	2338
-19	113	1	657	21	2488
-18	125	2	705	22	2644
-17	137	3	759	23	2809
-16	151	4	813	24	2984
-15	165	5	872	25	3168
-14	181	6	935	26	3363
-13	199	7	1001	27	3567
-12	217	8	1072	28	3782
-11	237	9	1148	29	4005
-10	260	10	1228	30	4243
-9	284	11	1312	—	—
-8	310	12	1403	—	—
-7	338	13	1497	—	—
-6	369	14	1599	—	—

*Примечания*

1. Максимальное парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, приведено при давлении воздуха 0,1 МПа.

2. Для промежуточных значений температуры максимальное парциальное давление следует определять интерполяцией.

3. Определение действительной упругости водяного пара внутреннего воздуха в помещении  $e_B$ , Па, при расчетной температуре и влажности этого воздуха.

$$e_B = E_B \frac{\varphi_B}{100} = 15,95 \frac{55}{100} = 8,7725 \text{ Па.}$$

4. Определение точки росы.

Температура, соответствующая найденному значению действительной упругости водяного пара внутреннего воздуха, будет являться точкой росы:

$$\tau_p = 10,8 \text{ °С.}$$

Так как  $\tau_B = 18,5 \text{ °С} > \tau_p = 10,8 \text{ °С}$ , следовательно, конденсации паров на поверхности ограждения не будет.

5. Определение температуры на поверхности отдельных слоев ограждения и в соответствии с полученными значениями вычисление значения упругости водяного пара.

Известково-песчаная штукатурка:

$$\tau_1 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} (R_B + R_K) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} \right) = 18,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E_1 = 15,75 \text{ Па}.$$

Кирпичная кладка из пустотелого керамического кирпича на цементно-песчаном растворе:

$$\tau_2 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} (R_B + R_K) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,64} \right) = 10,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E_2 = 9,65 \text{ Па}.$$

Утеплитель Rockwool Рокфасад:

$$\tau_3 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} (R_B + R_K) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \left( 0,723 + \frac{0,1}{0,037} \right) = -24,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E_3 = 0,55 \text{ Па}.$$

Цементно-песчаная штукатурка:

$$\tau_4 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} (R_B + R_K) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \left( 3,425 + \frac{0,01}{0,76} \right) = -24,45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E_4 = 0,5 \text{ Па}.$$

Внешний слой:

$$\tau_H = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} (R_B + R_K) = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,48} \left( 3,438 + \frac{1}{23} \right) = -25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E_H = 0,5 \text{ Па}.$$

6. Вычисление сопротивления паропрооницанию отдельных слоев ограждения.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

где  $\delta$  — толщина слоя ограждения, м;  $\mu$  — расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоев ограждения, мг/(м·ч·Па). Значение принимают по СП 50.13330.2012 в зависимости от вида материала.

Для известково-песчаной штукатурки:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0,01}{0,12} = 0,083, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

Для кирпичной кладки из пустотелого керамического кирпича на цементно-песчаном растворе:

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0,38}{0,14} = 2,71, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

Для утеплителя Rockwool Рокфасад:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,1}{0,56} = 0,179, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

Для цементно-песчаной штукатурки:

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,01}{0,09} = 1,111, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)